

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Кафедра технологии целлюлозы и композиционных материалов

В.Н. Лаптев

ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2009

УДК 676.02(07.07)

Лаптев В.Н. Производство древесной массы: учебное пособие / ГОУВПО СПбГТУРП. - СПб., 2009. - 48 с.

В учебном пособии изложены теоретические основы и технологические процессы производства древесной (механической) массы. Описаны основные типы применяемого оборудования.

Приведены сведения по свойствам различных видов древесной массы, технологические схемы дефибрирования и размола, сортирования, очистки, отбелики массы, позволяющие добиться улучшения качества продукции и экологической обстановки.

Настоящее учебное пособие предназначено для изучения курса «Технология древесной массы» студентами специальностей 240406, 220301, 150405, 140104.

Рецензенты: зав. кафедрой информационно-измерительных технологий и систем управления СПбГТУРП
д-р техн. наук, проф. Г.А. Кондрашкова;
член редакционной коллегии Всероссийского научно-исследовательского института ЦБП,
зав. кафедрой технологии бумаги и картона СПбГТУРП
д-р техн. наук, проф. А.С. Смолин

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия.

- © Лаптев В.Н., 2009
- © ГОУВПО Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных полимеров, 2009

Содержание

1. Основные виды древесной (механической) массы.....	4
2. Производство дефибрерной древесной массы (ДДМ).....	5
Сырье для производства ДДМ, подготовка и хранение.....	7
Характеристика и качество ДДМ.....	9
Технологическая схема производства ДДМ.....	13
3. Дефибрирование древесины.....	16
Теоретические основы процесса дефибрирования.....	16
Основные факторы процесса дефибрирования.....	18
Работа системы sprays и температура оборотной воды.....	22
Взаимосвязь отдельных факторов процесса дефибрирования.....	23
Механические зависимости процесса дефибрирования.....	24
4. Типы дефибреров и вспомогательное оборудование.....	29
Цепные дефибреры.....	29
Прессовые дефибреры.....	30
Дефибрирование под давлением (ДДМД).....	31
Термодефибрирование на цепных дефибрерах.....	33
Типы дефибрерных камней.....	34
5. Сортирование древесной массы.....	39
Грубое сортирование древесной массы.....	39
Тонкое сортирование древесной массы.....	40
Схемы сортирования.....	42
Переработка отходов сортирования.....	43
Очистка древесной массы.....	43
Сгущение древесной массы.....	45
Библиографический список.....	47

1. Основные виды древесной (механической) массы

В зависимости от способа получения и применяемых технологических режимов древесную (механическую) массу можно разделить на два основных вида.

К первому виду относится чисто механическая (древесная) масса, получаемая без использования химических реагентов с выходом 93-98 %:

ДДМ - традиционная дефибрируемая древесная масса, получаемая истиранием древесины на дефибрерном камне с выходом 95-98%.

ТДМ - термдефибрерная древесная (механическая) масса, получаемая в режиме термдефибрирования, при котором температура в зоне дефибрирования достигает точки кипения в конце зоны. Эта цель достигается дополнительным оборудованием цепных дефибреров системой контроля температуры массы и оборотной воды и ее регулированием, оснащения дефибреров уплотнением для обеспечения определенного уровня напора жидкости под зоной дефибрирования.

ДМД или ДДМ/Д - древесная (механическая) масса, получаемая дефибрированием древесных балансов на дефибрере под давлением до 300 кПа с выходом 93-96 %. Способ получения разработан финской фирмой "Тампелла". Качество ДМД выше, чем ДДМ, УРЭ (удельный расход энергии) одинаков с ДДМ. Возможна рекуперация тепла.

РММ или РДМ - рафинерная древесная (механическая) масса, получаемая путем механической переработки (размола) щепы в дисковых мельницах при атмосферном давлении.

ТММ - термомеханическая масса, получаемая путем термогидролитической обработки щепы ($P = 100-300$ кПа, $T = 100-135$ °С) и размола в две ступени на дисковых мельницах. Первая ступень размола проводится при повышенном давлении. Вторая - при атмосферном давлении. Термогидролитическая обработка аморфного лигноуглеводного комплекса древесины обеспечивает сохранность при размоле отдельных волокон.

Ко второму виду механической массы относится химико-механическая масса (ХММ), получаемая при использовании химических реагентов.

ХММ делится на три подвида:

Первый подвид включает механическую массу, получаемую с «легкой» обработкой химическими реагентами (до 5 % к массе а.с. волокна).

ХТММ - химико-термомеханическая масса, получаемая путем совместной химической и термогидролитической обработки и размола в две ступени под давлением. ХТММ, наряду с ТММ, является на наиболее перспективным видом древесной (механической) массы.

Второй подвид ХММ - химически модифицированная масса, к которой относятся полуфабрикаты или их отдельные фракции, подвергнутые обработке химическими реагентами:

ТМХМ - термомеханическая масса или «процесс ОПКО», как чаще его именуют, в котором химические реагенты добавляются после первой ступени размола под давлением в течение процесса размола или после окончания процесса размола. Процесс ОПКО можно использовать при переработке отходов сортирования или длинноволокнистой фракции всех видов древесной (механической) массы.

Обработка массы после первой или второй ступени размола производится сульфитом натрия при расходе 6-10 % к массе а.с. волокна при температуре 130-180 °С. Выход около 90 %. Возможна обработка по методу ОПКО отходов сортирования ДДМ, ТММ и ХТММ.

Химико-термомеханическая масса из отходов сортирования или длинноволокнистой фракции всех видов древесной (механической) массы.

Технология полуфабриката состоит в отделении отходов сортирования (длинноволокнистой фракции), обработке их химическими реагентами, размолу и смешивании с сортированной массой.

В третий подвид - ХММ включена механическая масса, полученная при интенсивной обработке химическими реагентами при расходе до 15 % УРЭ при производстве ХММ «высокой степени сульфонирования», как правило, превышает 1000 кВт·ч/т. Размол осуществляется при атмосферном давлении в 2 ступени.

Свойства различных видов древесной массы в сравнении с сульфатной целлюлозой приведены в табл. 1.

2. Производство дефибрерной древесной массы (ДДМ)

Общие сведения

Дефибрерная древесная масса (ДДМ) получается методом истирания балансовой древесины на вращающемся камне при его обильном орошении водой.

Изобретателем способа получения древесной массы на поверхности вращающегося абразивного камня считается немецкий ткач Келлер (1843 г.). Аппарат Келлера для истирания древесины получил наименование дефибрер. Этот термин состоит в основе из латинской приставки “*de*”, обозначающей отделение, и латинского слова “*fibra*” - волокно. Процесс разделения древесины на волокна получил наименование дефибрирования.

Первый промышленный дефибрер был изготовлен фирмой Фойт в 1852 году.

Таблица 1

Сравнение свойств различных видов древесной массы и сульфатной целлюлозы

Порода древесного сырья	Ель							Осина	
	ДДМ	ДДМ/Д	РДМ	ТММ	ХТММ	беленая ХТММ	беленая сульфатная целлюлоза	Беленая ХТММ	беленая сульфатная целлюлоза
Вид волокнистого полуфабриката	ДДМ	ДДМ/Д	РДМ	ТММ	ХТММ	беленая ХТММ	беленая сульфатная целлюлоза	Беленая ХТММ	беленая сульфатная целлюлоза
Свойства полуфабрикатов									
Выход, %	96	95	94	94	92	90	46	85	57
Садкость, мл кан.ст.	100	100	100	100	100	400	400	400	400
(степень помола, °ШР)	(68)	(68)	(68)	(68)	(68)	(32)	(32)	(32)	(32)
Пухлость, см ³ /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 раздиранию мН·м ² /г	4,4	5,1	7,4	8,0	8,8	1,3	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

Сырье для производства ДДМ, подготовка и хранение

Дефибрерная древесная масса вырабатывается в основном из хвойных пород древесины - ели, пихты и реже сосны. Из ели получается светлая масса высокого качества с повышенной прочностью, из пихты получается масса удовлетворительного качества, но при этом удельное давление при дефибрировании должно быть ниже, чем для ели. Из сосны получается масса красноватого оттенка и также с пониженной прочностью.

Из лиственных пород находят применение осина и тополь. Однако масса, получаемая из этих пород, отличается низкими показателями прочности с повышенной садкостью и пухлостью. Повышение прочностных показателей массы может быть достигнуто только счет снижения нагрузки дефибрера и повышения удельного расхода энергии.

Для получения ДДМ наиболее пригодна свежая и влажная древесина. Древесную массу хорошего качества можно получить и из выдержанного баласа, но с влажностью не ниже 30 %, так как с уменьшением влажности резко изменяются упруговязкие свойства древесины.

Большое влияние на качество древесной массы оказывает соотношение ранней и поздней древесины. Балас, богатый поздней (летней) древесиной с высоким содержанием сухого вещества, обеспечивает больший выход древесной массы, но волокна поздней древесины толстостенные, жесткие и выработанная из них бумага и пониженную прочность. Весенние (ранние) волокна имеют тонкие стенки, они легче фибриллируются и полученная из такой массы бумага отличается высокой плотностью, прочностью и гладкой поверхностью.

Количество смолистых веществ в древесине ели составляет 1-3 %. После рубки древесины свойства смолы изменяются и после трехмесячного хранения смоляные затруднения не возникают.

Выход древесной массы из 1 скл. м³ баласа зависит от условной плотности древесины, фаутиности и сучковатости балансовой древесины.

В табл. 2 приведен выход ДДМ из различных пород окоренной древесины в зависимости от ее качества (по данным К.Г.Клемма).

Таким образом, к древесине для дефибрирования предъявляются более высокие требования, чем к древесине, предназначенной для производства целлюлозы. Поэтому при производстве древесной массы необходимо учитывать не только физические и механические свойства древесины, но и пороки, которые непосредственно влияют на качество древесной массы.

Основные характеристики качества балансов установлены ГОСТом. Для хвойных пород ГОСТ 9463-72 «Лесоматериалы круглые хвойных пород» и лиственных - ГОСТ 9462-71 «Лесоматериалы круглые лиственных пород».

Таблица 2

Выход ДДМ из различных пород окоренной древесины

Показатели	Ель*	Пихта*	Сосна**	Тополь**
Условная плотность древесины, кг/пл.м ³ а.с. древесины	420	400	480	370
Коэффициент полнодревесности	0,72	0,72	0,675	0,72
Выход а.с. древесной массы, кг/скл.м ³ (с учетом потерь 5 %)	287	273	318	253
То же, воздушно-сухой массы	326	310	361	288

* - смесь баланса нормальной сучковатости и баланса без сучков;

** - смесь балансов нормальной сучковатости и баланса с повышенной кривизной и сучковатостью.

Требования к качеству балансов при производстве древесной массы применительно к условиям Соликамского ЦБК приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика балансов для производства древесной массы на Соликамском ЦБК

Наименование сырья	ГОСТ или ТУ	Показатели, обязательные для проверки перед использованием в производстве	Примечание
Балансы хвойных пород - ель, пихта	ГОСТ 9463-72 СТП 4.0231-026-82	Диаметр 10-38 см Длина 115-124 см Диаметр наибольший 40 см Длина 118-123 см	Баланс должен быть чистоокоренным

При производстве ДДМ характерны следующие особенности подготовки балансов.

Перед подачей на дефибрирование древесина распиливается на отрезки необходимой длины в зависимости от ширины дефибрерного камня и подвергается тщательной окорке. Длина готового баланса должна быть на 50-100 мм меньше ширины камня во избежание повышенного образования мелкой щепы-спичек.

В штабелях и в воде древесину хранят в виде длинника, распиловку и окорку проводят перед подачей в производство.

В кучах древесина хранится в виде готового окоренного баланса требуемой длины.

Характеристика и качество ДДМ

Дефибрерная древесная масса представляет собой смесь разнообразных волокнистых и неволокнистых фракций: мелкие щепочки и спички, пучки из нескольких неразделенных волокон, длинные волокна с разделенными или отрезанными концами, короткие нарезанные части, отщепленные вдоль волокон раздавленные частицы, мелочь фибриллированная и нефибриллированная.

В процессе сортирования из массы после дефибреров отделяются мелкие щепочки, спички, пучки волокон, минеральные примеси и получается полуфабрикат - древесная масса, применяемая для производства бумаги и картона.

Требования к качеству товарной древесной массы определяются ГОСТ 10014-73, в соответствии с которым вырабатываются следующие марки (табл. 4):

А - беленая древесная масса для частичной замены белой целлюлозы в композиции печатной и писчей бумаги;

Б - белая древесная масса для типографской и писчей бумаги в композиции с белой целлюлозой, а также для отдельных видов бумаги в композиции с небеленой целлюлозой - типографской № 3, обоевой;

В - белая древесная масса для писчей цветной, обложечной, курительной, афишной бумаги и картона, а также для бумаги и картона с покровным слоем;

Г - белая древесная масса для пачечной шпульной, оберточной и других видов бумаги в композиции с небеленой целлюлозой;

К - белая древесная масса для коробочного картона марок Б, В, Г, Д, переплетного картона и других видов.

Таблица 4

Показатели качества товарной ДДМ

Показатели	Марка				
	А	Б	В	Г	Д
Степень помола, °ШР	72	72	72	не нормируется	
Разрывная длина, м	2900	2900	1600	2200	1900
Состав древесной массы по длине волокон:					
содержание 1 фракции, %	20±3	20±3	20±3		
Сорность - число соринок на 1 м ² :					
площадью 0,1 до 0,5 мм ² , не более	500	800	1200	не нормируется	
площадью свыше 0,5 мм ²	не допускается				
Белизна, % не менее	72	не нормируется			

На предприятиях, перерабатывающих древесную массу в жидком потоке, ее качество должно удовлетворять требованиям технических условий, которые отличаются от требований стандарта на товарную древесную массу. В табл. 5 приведены технические условия на древесную массу предприятий, выпускающих газетную бумагу.

Таблица 5

Технические требования на древесную массу для газетной бумаги

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

Степень помола характеризует способность массы к обезвоживанию и является важнейшим показателем, характеризующим поведение массы на сетке бумагоделательной машины. Определение степени помола производится в основном по двум методам: Шоппер-Риглера (°ШР) и канадскому стандарту (°КС). Принцип определения степени помола массы по этим методам основан на изменении скорости фильтрации воды через слой волокна, образующийся на сетке аппарата. В таблице 6 приведены рекомендуемые по данным В.М. Клопова степени помола массы для бумаг и картона различного назначения. В табл. 7 указаны соотношения степеней помола по двум основным методам.

Таблица 6

Степень помола массы, предназначенной для различных видов бумаги и картона

Наименование древесной массы	Степень помола массы	
	°ШР (жирность)	°КС (садкость)
Для картона различных видов	20-55	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 печатной	80-85	50-38

Соотношение степеней помола массы
по методу Шоппер-Риглера и канадскому стандарту

Метод определения степени помола	Степень помола									
Шоппер-Риглера, °ШР	12	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Канадский стандарт, °КС	785	725	600	430	310	212	140	90	50	25

По характеру размола различают жирную и садкую древесную массу. Жирная масса содержит большое количество фибрилл, расщепленных вдоль волокон с разработанными в виде бахромы концами. Садкая масса состоит из неразработанных волокон, поперечно разрезанных, с малым количеством фибрилл.

Плотность древесной массы в значительной степени зависит от степени помола. Для определения плотности (г/см^3) или обратной величины - удельного объема ($\text{см}^3/\text{г}$) изготавливают отливки массой 100 г/м^2 при удельном давлении прессования $0,05 \text{ МПа}$ и проводят вычисления, исходя из следующего соотношения:

$$g = V \cdot h \text{ или } V = \frac{g}{h}, \text{ г/см}^3,$$

где g - масса квадратного метра отливки, г/м^2 ;

V - плотность отливки, г/см^3 ;

h - толщина отливки, мм.

Для древесной массы характерна ооольшая размерная неоднородность составляющих ее волокнистых элементов. Эту неоднородность волокон определяют путем фракционирования (сортирования) через сита разных номеров. Наибольшее распространение для этого получили аппараты-классификаторы ФДМ (фракционатор древесной массы).

Кроме процентного соотношения - фракционного состава, на качество древесной массы оказывает влияние структура мелочи. Различают по структуре мелочь фибриллированную, тонкую - фибриллплазму и мелочь грубую садкую - мельштофф. Удельная поверхность мелочи в несколько раз больше удельной поверхности волокнистой части древесной массы и, соответственно, оказывает большее влияние на обеспечение необходимой связи между волокнами в полотне бумаги.

В табл. 8 приведены размеры волокон и удельная поверхность различных фракций древесной массы, по данным К.Г. Клемма.

Таблица 8

Характеристика составных частей древесной массы

Наименование показателей	Характер волокон					
	длин- ные	корот- кие	фибриллплазма		мельштофф	
			А	Б	А	Б
Средняя длина l , мкм	2650	500	110	12,5	180	40
Средний диаметр D , мкм	51,50	15,25	0,75	0,75	15,70	3,0
Отношение средней длины к среднему диаметру, K	51	33	147	17	12	13
Число волокон N в 1 г фракции, $\times 10^6$	0,15	9,3	17000	150000	19,3	2950
Удельная поверхность S в 1 г фракции, $\text{см}^2/\text{г}$	653	2220	44600	45800	2000	11500

Число волокон N в 1 г каждой фракции и удельная поверхность S определяются по формулам

$$N = \frac{4}{\pi D^2 l \rho} \cdot 10^{12}, \text{ г}^{-1};$$

$$S = \frac{4}{\rho} \left(\frac{1}{2l} + \frac{1}{D} \right) \cdot 10^4, \text{ см}^2/\text{г},$$

где l - средняя длина волокон, мкм;

D - средний диаметр волокон, мкм;

ρ - плотность волокна, $1,2 \text{ г}/\text{см}^3$.

Из табл. 8 следует, что фибриллплазма А имеет наиболее гибкие и тонкие волокнистые элементы, у которых отношение длины к диаметру примерно в 3 раза больше, чем у длинных волокон, а количество их в несколько десятков тысяч раз больше, чем длинных и коротких волокон. Тонкие волокна фибриллплазмы А, переплетаясь между собой и обволакивая волокна древесной массы, выполняют роль связующего и обеспечивают высокие прочностные свойства древесной массы.

Фибриллплазма Б состоит также из тонких, но более коротких в 8-10 раз волокнистых элементов, чем в фибриллплазме А, они определяют, главным образом, плотность бумажного полотна и в некоторой степени выполняют роль связующего.

Мельштофф А состоит из более длинных волокнистых элементов, чем в фибриллплазме А, но примерно в 20 раз более толстых. Присутствие их в древесной массе нежелательно, так как они снижают прочность и плотность полотна бумаги.

Мельштофф Б состоит из более коротких волокнистых элементов, чем мельштофф А, но сравнительно тонких и поэтому гибких, они в определенной степени повышают плотность полотна и создают дополнительную связь между волокнами.

Длинные волокна древесной массы, по определению П.Д. Ласкеева, имеют наибольшее отношение длины к диаметру и, очевидно, выполняют роль волокнистого скелета бумажного полотна, прочности которому придает фибриллплазма А, плотность - фибриллплазма Б, мельштофф А - нежелательная примесь, а мельштофф Б допустим в древесной массе для выработки пухлых бумаг.

Практически получить древесную массу, состоящую только из длинных тонких волокон и фибриллплазмы, невозможно, всегда будут присутствовать короткие волокна и мелкие мельштоффовидные элементы.

Технологическая схема производства ДДМ

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.

Балансовая древесина в окоренном виде влажностью 40-45 % со склада подается при помощи системы транспортеров (механизированная загрузка балансов) на дефибреры. Балансы с помощью механизма подачи прижимаются к дефибрерному камню, обильно орошаемому через систему sprays оборотной водой. В зоне контакта балансов и поверхности камня (зона дефибрирования) происходит разделение древесной ткани на волокна и их необходимая разработка.

При выходе из зоны дефибрирования масса смывается оборотной водой с поверхности дефибрерного камня в расположенную под ним ванну. Концентрация массы в зоне дефибрирования составляет 10-12 %, после смыва ее с поверхности камня концентрация массы в ванне - 1,7-2,0 %.

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.

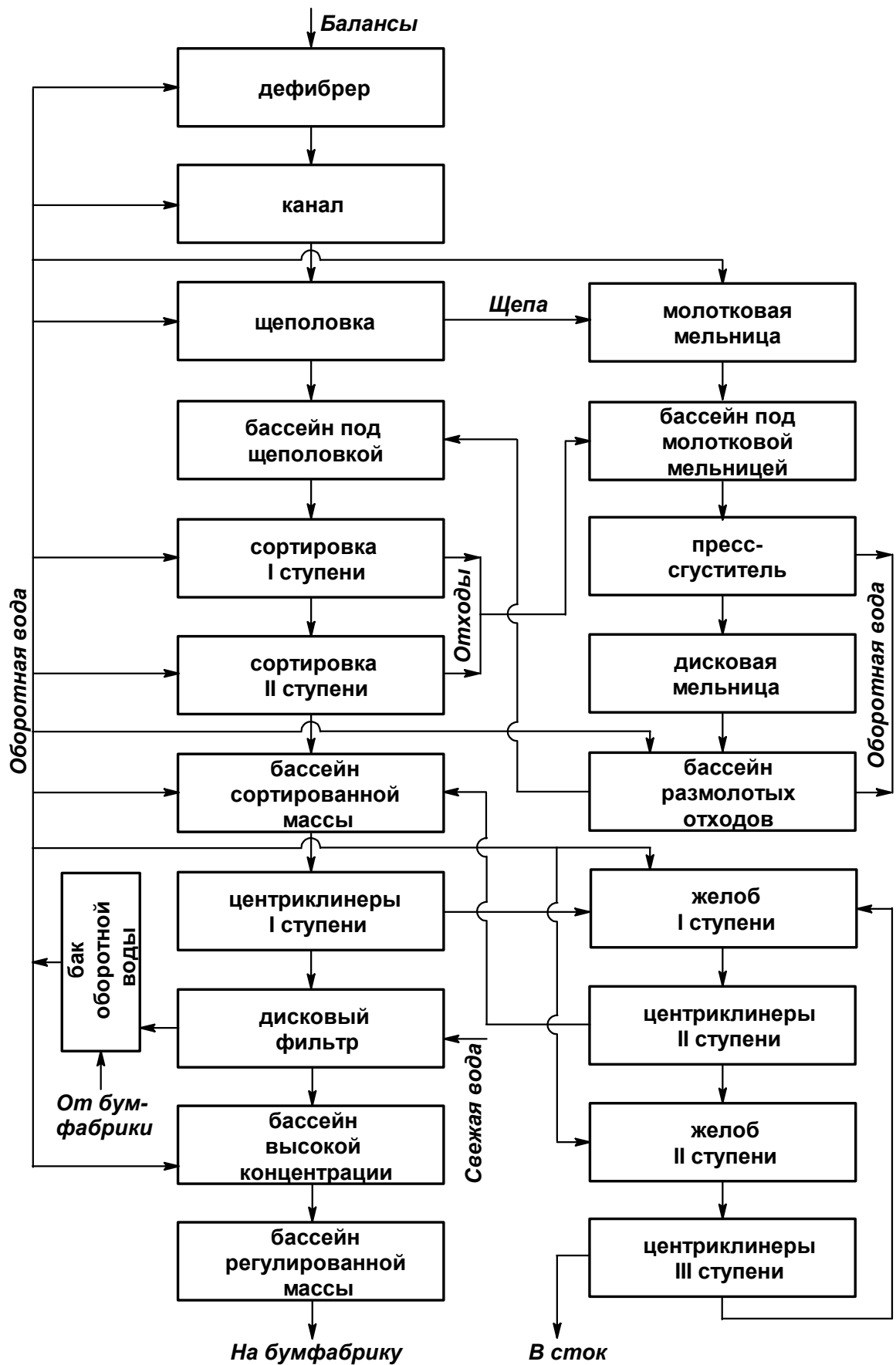


Рис. 1. Структурная схема древесно-массного производства.

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 щепы чаще с помощью системы ленточных транспортеров подается на предварительное измельчение в молотковую мельницу, куда также поступает обратная 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 щепы 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 обратной 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 спреями 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 обратной 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 фильтрации (400 м²). Сгущенная масса поступает для аккумуляции в

бассейн высокой концентрации. Масса от этого бассейна после разбавления и регулирования концентрации до 3,5-4,0 % поступает в бассейн регулируемой массы, из которого направляется на бумажную фабрику.

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

Свежая вода используется для промывки сеток сгущающих фильтров, для приготовления отбеливающих химикатов, для смывки пола.

3. Дефибрирование древесины

Процесс дефибрирования состоит в расщеплении древесной ткани зернистой поверхностью вращающегося камня. Несмотря на кажущуюся простоту этого процесса механизм его очень сложен, так как зависит от большого количества взаимосвязанных и практически трудно определяемых факторов.

Первоначально дефибрирование рассматривалось как процесс трения (Брехт и Мюллер). Несколько позже Брехт и Шустер развили эту гипотезу и предложили рассматривать дефибрирование как двухстадийный процесс. Первая стадия - расщепление древесной ткани на волокна, вторая - размол отделившихся волокон. Эта гипотеза была разработана К.Г. Клеммом, он связал двухстадийность процесса с физико-химическими процессами пластификации древесного вещества в условиях высокой температуры в зоне дефибрирования.

В конце 1950-х годов получил развитие процесс дефибрирования с большой окружной скоростью до 33 м/с и механизм дефибрирования в таких условиях не согласовывался с некоторыми положениями теории Клемма.

В настоящее время большинством исследователей процесс дефибрирования рассматривается как одноступенчатый, состоящий из изменения упруговязких свойств древесного вещества в контактном слое в зоне дефибрирования и отделения от этого слоя разработанных волокон и удаление их с поверхности камня.

Теоретические основы процесса дефибрирования

В процессе дефибрирования в контактном слое волокна подвергаются сжатию восходящей стороной абразивного зерна вращающегося дефибрерного камня. Общая равнодействующая сила от зерна на древесину в точке контакта может быть разделена на тангенциальную и радиальную составляющие. Волокна, лежащие в направлении вращения камня, сжимаются тангенциальной силой, а радиальной деформируются и впрессовываются в слой древесины. Благодаря чему становится возможным проскальзывание абразивного зерна относительно волокна. После прохождения зерна камня сжатое волокно стремится принять свое прежнее положение, но снятие напряжения задерживается во времени, так как упругая деформация

в древесине замедлена. В момент волокна подвергаются воздействию следующих зерен камня, в результате этого в контактном слое происходит накопление внутренней энергии и, соответственно, повышение его температуры.

При повышении температуры древесины лигнин начинает пластифицироваться при достижении температуры около 70 °С, что понижает прочность межволоконных связей древесины.

Концы волокон, расположенные под небольшим углом к образующей камня, начинают расчесываться зернами камня. При этом концы волокон расщепляются, а стенки волокна начинают разрушаться. В результате волокна интенсивно фибриллируются. Небольшие отрезки волокон образуют мелкую фракцию - мельштофф, а срезанные и разделенные частицы клеточных стенок - фибриллплазму. Свисающие волокна, еще закрепленные одним концом в слое древесины, играют роль защитного покрытия, предохраняющие следующий слой волокон от царапающего воздействия зерен дефибрерного камня. Этот слой подвергается только воздействию переменных сжимающих нагрузок.

В зависимости от глубины размягчаемого слоя, высоты и рисунка насечки и угла направления тангенциальной силы на волокна отделение их будет происходить по циклам «сжатие – скольжение» или «сжатие - царапание». В результате получается разработанная, богатая фибриллплазмой, или жестковолокнистая мельштоффного характера древесная масса.

По данным П.Х. Ласкеева, при окружной скорости камня 19,3 м/с частота воздействия зерен камня на волокно составляет около 12000 периодов в секунду.

При этом время перехода горизонтальной грани зерна из зоны сжатия в свободную зону определяется по формуле

$$T = \frac{60 \cdot l}{\pi \cdot D \cdot n}, \text{ с,}$$

где l - расстояние между зонами, мм;

D - диаметр камня, мм;

n - частота вращения камня, об/мин,

и составляет $1,0 \cdot 10^{-5}$ - $5,3 \cdot 10^{-5}$ с. Время упругого запаздывания древесины в этих условиях не меньше $7,0 \cdot 10^{-5}$ с.

Таким образом, при дефибрировании скорость приложения нагрузки в виде непрерывно повторяющихся сжимающих циклов примерно в 1,5-3,0 раза выше скорости упругого запаздывания древесины. Это приводит к накоплению в ней внутреннего напряжения, сопровождаемого повышением температуры, размягчением лигнина, разрывом поперечных связей в волокнах, гидролитическими процессами.

В конечном итоге, все это приводит к частичному нарушению природной структуры древесины с соответствующим повышением пластично-

сти волокон. Поскольку на каждое волокно приходится около 12000 циклов, превращение природного древесного волокна в технологическое происходит до его отделения от слоя древесины.

Исходя из этого следует выделить три характерных направления процесса дефибрирования:

1) резкое снижение жесткости волокон древесины и повышение их пластичности. Так, динамический модуль упругости древесной массы значительно ниже, чем исходной древесины. Для древесной массы из ели он снижается в 2 раза, для волокнистой фракции из этой же массы - в 12 раз. Одновременно время упругого запаздывания возрастает, соответственно, в 3 и 8 раз;

2) увеличение массы за счет роста доступных гидроксильных групп в фибриллированной мелкой фракции (фибриллаплазме) в 1,5 раза по сравнению с исходной древесиной. В волокнистой части древесной массы количество доступных гидроксильных групп остается на уровне исходной древесины;

3) одновременно с изменением свойств волокон протекают химические процессы. Так, небольшая часть гемицеллюлоз - 1,5-2,0 % подвергается гидролизу и переходит в раствор. Общее количество органических веществ, переходящих в раствор при дефибрировании еловой древесины, составляет 2,5-3,5 % от исходной древесины.

Основные факторы процесса дефибрирования

Фундаментальные исследования, выполненные в 1970-х годах, помогли уточнить взаимную связь между отдельными факторами механизма дефибрирования. Это позволило внедрить наиболее современную технологию и автоматическое управление процессом, увеличить производительность дефибреров, улучшить качество древесной массы и снизить удельный расход энергии.

Мощность, потребляемую дефибрерным камнем, можно выразить уравнением

$$N_K = \frac{F_K \cdot \mu \cdot P_K \cdot V}{102}, \text{ кВт},$$

где F_K - фактическая площадь контакта древесины с абразивными зернами, м²;

P_K - фактическое удельное давление древесины на фактическую поверхность контакта, (кгс/см²) Па;

V - окружная скорость камня, м/с;

μ - коэффициент трения.

Произведение $\mu \cdot P_K$ является фактором, определяющим качество древесной массы. Следовательно, при прочих равных условиях дефибрирова-

ния мощность, потребляемая камнем, находится в прямой зависимости от его окружной скорости.

Разделив обе стороны приведенного уравнения на часовую производительность, получим

$$E = \frac{F_K \cdot \mu \cdot P_K \cdot V}{102 \cdot q}, \text{ кВт},$$

где E - удельный расход энергии, кВт·ч/т;

q - часовая производительность, т/ч.

Из приведенных уравнений следует, что повышение окружной скорости при одинаковых прочих условиях непосредственно связано с увеличением фактической площади контакта, в результате возрастает часовая производительность.

Практически, как показывает опыт эксплуатации дефибреров, повышение мощности дефибрера и окружной скорости по техническим причинам ограничено. Так, увеличение окружной скорости ограничено механической прочностью дефибрерного камня. Верхним пределом применяемых в настоящее время кварцево-цементных камней является 25-30 м/с, для керамических - 40 м/с.

Другим важным направлением увеличения потребляемой дефибрером мощности и производительности является увеличение коэффициента трения μ . Величина его колеблется в пределах 0,15-0,20. Увеличить значение этого показателя можно за счет более острой насечки камня, но при этом возрастает фактическое давление дефибрирования и снижается качество массы. Основным путем повышения коэффициента трения является чистота поверхности камня. Для этого необходима тщательная работа системы спрысков и работа камня без погружения его в массу.

В результате разработки проекта Кэмел на канадских предприятиях под руководством Д.К. Александра было показано, что в работающем дефибрере фактическое давление - это не давление в цилиндрах, распределенное на площади прессовой коробки, это не математически связанное давление, распределенное на абразивной поверхности контакта с древесиной; это, очевидно, математически связанное давление, распределенное на некоторых эффективных абразивных поверхностях или на нескольких зернах, соприкасающихся с древесиной. В работающем дефибрере такое фактическое давление не поддается измерению. Этим были подтверждены два положения процесса дефибрирования, предложенные проф. М.И. Койфманом:

1. При увеличении фактического давления дефибрирования степень разработки волокна уменьшается, но производительность дефибрера увеличивается.

2. Фактическое удельное давление дефибрирования пропорционально суммарному давлению балансов на площадь дефибрирования, но является переменным и зависит от состояния поверхности камня.

Качество балансов. Лучшие результаты получаются при дефибрировании малосмолистых хвойных пород ели и пихты. Важное значение имеет влажность древесины, от этого показателя зависит величина модуля упругости, который резко падает при увеличении влажности от 0 до 30%. При дальнейшем повышении влажности модуль упругости практически не меняется. Так, при влажности 15 % модуль упругости в радиальном направлении составляет $5,9 \cdot 10^8$ Па, при влажности 30 % - $2,8 \cdot 10^8$ Па.

При низкой влажности и высоком значении модуля упругости древесины волокна жесткие, при дефибрировании величина деформации слоя будет небольшой и при продвижении зерна камня из сжатой зоны в свободную действие его на волокна оудет царапающим, а не скалывающим. Следовательно, при дефибрировании балансов с влажностью менее 30 % качество древесной массы получается низким. Наиболее приемлемыми для дефибрирования следует считать балансы с влажностью 40-45 %.

Сучковатость древесины отрицательно сказывается на качестве древесной массы. Удельный расход энергии при дефибрировании очень сучковатого баланса может повыситься на 15-20 %.

Диаметр баланса изменяется в очень широких пределах. Если средний диаметр составляет около 19-20 см, то его наименьший диаметр может составлять 5-6 см, а наибольший - 30-35 см.

На цепных дефибрерах с шириной шахты 1220-1350 мм заклинивание баланса наблюдается очень редко лишь при среднем диаметре баланса 28-30 см, на цепных дефибрерах с шириной шахты 1000 мм при диаметре баланса 22-23 см, на двухпрессовых дефибрерах с шириной прессовой камеры 830 мм - при диаметре 16-17 см.

Длина баланса при заданной 125 см (на большинстве отечественных предприятий) составляет 122-123 см, что снижает коэффициент заполнения шахты, который при ручной загрузке шахты равен $0,70 \pm 0,03$.

Изменение температуры в зоне дефибрирования практически затруднено. Повышение температуры в зоне дефибрирования при контролируемой нагрузке компенсируется давлением древесины, в результате чего увеличивается производительность и количество добавляемой оборотной воды. При контролируемом давлении древесины с ростом температуры в зоне снижается нагрузка и уменьшается производительность дефибрера. Повышение температуры в обоих случаях объясняется изменением фактической (истинной) поверхности контакта в связи с износом насечки или изменением условия дефибрирования.

Поскольку основная теплопередача протекает в направлении древесины к камню, а затем к охлаждающей воде, можно предположить, что температура в зоне дефибрирования будет зависеть от температуры камня.

В процессе дефибрирования в контактном слое древесины происходит повышение температуры в очень короткий промежуток времени (20-50 мс) до высоких значений. По данным Д. Атака, температур в зоне дефибрирования достигает 140 °С.

В зависимости от температуры оборотной воды можно выделить следующие режимы дефибрирования: с погружением камня в массу с соответствующей температурой и концентрацией массы. Холодное дефибрирование: температура оборотной воды 25-30 °С, температура массы в ванне 35-40 °С, концентрация массы в ванне 3,5-4,0 %. Горячее густое дефибрирование: температура оборотной воды 20-30 °С температура массы в ванне 70-75 °С, концентрация массы в ванне 4,0-6,0 %. Горячее жидкое дефибрирование: температура оборотной воды 50-60 °С, температура массы в ванне 70-75 °С, концентрация массы в ванне 1,5-2,0 %.

Для получения массы заданного качества большое значение имеет средняя зернистость камня и характер насечки камня (способ обработки его поверхности). Между этими двумя факторами существует тесная связь.

Крупнозернистые камни (0,50-0,55 мм) дают при прочих равных условиях более садкую массу, чем среднезернистые (0,40-0,45 мм) и мелкозернистые (0,25-0,35 мм). Однако насечкой камня можно сильно изменить свойства древесной массы.

Зернистость камней подбирают в зависимости от вида вырабатываемой древесной массы. Крупнозернистые камни применяются обычно при выработке древесной массы для газетной бумаги, на таких камнях получается длиноволокнистая масса, при этом увеличивается производительность дефибрера и срок службы камня.

Камни со средней зернистостью применяются для выработки массы для типографской, писчей и тонких бумаг.

Большое значение на свойства древесной массы оказывает глубина насечки камня. По данным К.Г. Клемма, с увеличением глубины насечки садкость массы повышается, прочность снижается, удельный расход энергии уменьшается.

Практика эксплуатации камней показывает, что при выработке тонковолокнистой массы средняя глубина насечки керамических камней не должна превышать 0,2 мм, кварцево-цементных - 0,3-0,4 мм.

В период между насечками качество древесной массы изменяется. Сразу после насечки прочность массы снижается, так как в этот период резко проявляется режущее действие камня, температура в зоне дефибрирования снижается. Затем наступает период самокондиционирования, который для керамического камня составляет в зависимости от его твердости 24-72 ч. В этот период разрывная длина, несмотря на снижение степени помола массы, непрерывно возрастает. После этого наступает главный период, который характеризуется сначала медленным, а затем более быстрым повышением степени помола массы с одновременным ростом прочно-

сти массы. Третий период характеризуется резким повышением жирности массы и, стабилизацией разрывной длины, что указывает на необходимость новой насечки камня.

Работа системы sprысков и температура оборотной воды

Перенос массы из одной зоны в другую в прессовых дефибрерах или повторный занос массы в зону на цепном дефибрере нежелателен. Повторное дефибрирование дает массу разной степени разработки. Следовательно, поверхность камня перед входом в зону дефибрирования должна тщательно очищаться sprысками.

При работе дефибрера с низкой нагрузкой до 2000 кВт температура воды не может быть высокой. По данным Д. Александера, при температуре оборотной воды 60 °С дефибрер работает в оптимальных условиях. Температура 70 °С уже может быть высокой при дефибрировании с нагрузкой около 3000 кВт. При нагрузке 5000 кВт и окружной скорости до 33 м/с, температура воды 60 °С оказывается слишком высокой для эффективного охлаждения камня. В таких условиях наиболее оптимальной будет температура около 50 °С. Если в состав предприятия входит бумажная фабрика, то более холодная вода от бумагоделательной машины может быть использована на sprысках дефибреров. При этом необходимо поддерживать температуру воды постоянной.

Диаметр sprысковых труб составляет 50-100 мм, давление в около 0,7 мПа, скорость воды 3-6 м/с. Сопла должны располагаться так, чтобы из них выходили клиновидные струи в нахлестку. В прессовом дефибрере sprыск перед второй зоной представляет собой сопло типа "Флейтджет" - плоская струя. Струи направляются по углом 37° к торцам камня, и масса смывается ими к краям камня

Sпрысковые трубы расположены близко к поверхности камня 10-125 мм. Чаше sprыски направлены к поверхности камня под углом около 15°. Скорость воды в соплах при давлении 0,7 мПа равна примерно 25 м/с при диаметре отверстий 6,0 мм. При окружной скорости камня 30 м/с сила струи обеспечивает эффективную очистку поверхности камня.

Погружение камня в массу. При дефибрировании с погружением камня в массу создаются затруднения в связи с недостаточным и неравномерным поступлением воды в зону дефибрирования вместе с захваченной массой и загрязнением ею рабочей поверхности. По этой причине ограничено повышение окружной скорости камня выше определенного предела.

Для достижения более высокой окружной скорости применяется наиболее совершенный метод дефибрирования без погружения камня в древесную массу. При этом охлаждение и очистка его рабочей поверхности происходит за счет оборотной воды, подаваемой из системы sprысков под необходимым давлением. В таких условиях в зону дефибрирования

поступает достаточное количество воды и улучшаются условия дефибрирования.

Этот метод получил наименование безванного дефибрирования. Основным преимуществом безванного способа является более эффективное использование площади контакта, что обеспечивает повышение производительности дефибрера и улучшение качества получаемой древесной массы, увеличение цикла между насечками камня.

Безванный способ впервые был внедрен Х. Анкером на норвежском предприятии "Ризор" в 1960-х годах. В процессе внедрения способа была осуществлена модернизация цепных дефибреров мощностью привода 800 кВт. Модернизированный дефибрер с новым двигателем мощностью 4000 кВт и увеличенной окружной скоростью до 36,7 м/с при средней нагрузке 3800-3900 кВт вырабатывал в среднем около 90 т/сут древесной массы при среднем удельном расходе энергии 1030 кВт·ч/т.

В результате Анкером было показано, что с увеличением окружной скорости выше 28 м/с дефибрер продолжает дефибрирование после износа насечки на естественной структуре рабочей поверхности камня в течение длительного срока.

Взаимосвязь отдельных факторов процесса дефибрирования

При управлении работой дефибрера необходимо учитывать взаимосвязь между отдельными факторами процесса дефибрирования. Из многочисленных систем управления работой дефибрера наиболее проста разработана по проекту Кэмел Д.А. Александером. Поскольку измерение давления и температуры непосредственно в зоне дефибрирования невозможно, для автоматического контроля за их изменением были внесены косвенные параметры. Специфическим параметром давления является отношение производительности дефибрера к давлению древесины на площадь дефибрирования – Q/P - (параметр давления).

Для регулирования температуры принято аналогичное отношение производительности к количеству охлаждающей воды - Q/W - (параметр температуры), но наиболее эффективным для регулирования температуры является комплексный параметр – $(Q/W)/\Delta t$ - где Δt является перепадом температур между температурой массы и оборотной воды.

Математическая модель дефибрера была получена при обработке статистических данных на ЭВМ в следующем виде

$$\lg E = 2482 - 0.5804 \lg \frac{Q}{P} - 0.2930 \frac{Q/W}{\Delta t}.$$

Постоянные коэффициенты регрессии получены при измерении отдельных параметров, среди которых размеры прессовых камер, площадь

прессовых поршней, окружная скорость, зернистость и твердость камня, качество древесины и др.

Основное преимущество предложенной математической модели заключается в том, что переменные величины, входящие в комплексные параметры, можно измерить, поэтому их можно регулировать в двух точках: гидравлическое давление в цилиндрах и расход охлаждающей воды.

Механические зависимости процесса дефибрирования

1. Окружная скорость камня

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}, \text{ м/с,}$$

где D - диаметр камня, м;

n - частота вращения камня, об/мин.

2. Длина истирания пресса

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot \alpha}{360}, \text{ мм,}$$

где D - диаметр камня, мм;

α - число угловых градусов дуги образующей камня между гребенками пресса.

Значение α определяется из равенства

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{S}{D},$$

где D - диаметр камня, мм;

S - длина пресса по хорде, мм.

3. Эффективная площадь истирания

$$F_e = l \cdot b \cdot \beta, \text{ см}^2,$$

где l - длина дуги окружности камня, ограниченная гребенками, см;

b - ширина пресса (длина баланса), см;

β - коэффициент использования рабочей поверхности камня (для цепных и винтовых дефибреров $\beta = 0,90$, для прессовых - $0,75$).

4. Эффективное удельное давление в гидравлических дефибрерах

$$P_e = \frac{P \cdot \pi \cdot (d^2 - d_1^2) \cdot k}{4 \cdot F_e}, \text{ МПа,}$$

где P - манометрическое давление в гидравлическом цилиндре, МПа;

d - диаметр гидравлического цилиндра, см;

d_1 - диаметр штока поршня, см;

k - коэффициент потери давления на трение в прессе, возникающее от бокового распора (для прессовых дефибреров $k = 0,75-0,80$);
 F_e - эффективная площадь истирания, см^2 .

Эффективное удельное давление в цепных дефибрерах

$$P_e = \frac{102 \cdot M_e}{\mu \cdot b \cdot l \cdot V \cdot \beta}, \text{ МПа},$$

Практически применяется следующее эффективное удельное давление, МПа:

в двухпрессовых дефибрерах	0,38-0,45
в цепных дефибрерах	0,28-0,36

5. Эффективная мощность

$$N_e = \frac{\mu \cdot P_e \cdot F_e \cdot V}{102}, \text{ кВт},$$

где P_e - эффективное удельное давление, МПа;

F_e - эффективная площадь истирания, см^2 .

Энергетические зависимости процесса дефибрирования

Мощность на валу дефибрера

$$N_g = N_e + N_m, \text{ кВт},$$

где N_e - эффективная мощность, кВт;

N_m - мощность, расходуемая на преодоление дополнительных сил трения (в подшипниках, сопротивление массы в ванне и др.), кВт.

Механический КПД дефибрера

$$\eta_1 = \frac{N_e}{N_g}.$$

Для определения η_1 измеряется мощность, потребляемая дефибрером во время работы, но при отсутствии давления в прессах. При подшипниках скольжения η_1 приблизительно равен 0,90.

Мощность, подводимая к двигателю дефибрера,

$$N = \frac{N_g}{\eta_2}, \text{ кВт},$$

где η_2 - КПД двигателя (по паспорту).

Тепловой КПД дефибрера

$$\eta_t = \frac{Q_0}{Q_e},$$

где Q_0 - количество тепла, поглощаемое массой в час, кДж;

Q_e - количество тепла, получаемое в час при дефибрировании, кДж.

$$Q_0 = g \cdot c \cdot (t_2 - t_1) + \frac{g \cdot a}{100 - a} \cdot c_1 \cdot (t_2 - t_1) + \left(\frac{g}{k} - g - \frac{g \cdot a}{100 - a} \right) \cdot c_1 \cdot (t_2 - t), \text{ кДж/т абс. сух. массы,}$$

где Q - количество абс.сухой древесины, истираемой в час, кг;

c - теплоемкость древесины, равная 1,63 кДж/кг·град;

c_1 - теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/кг·град;

a - относительная влажность древесины, %;

k - концентрация массы в ванне дефибрера, %;

t_2 - температура массы в ванне дефибрера, °С;

t_1 - температура древесины, °С;

t - температура воды, поступающей в ванну дефибрера, °С.

$$Q_e = N'_e \cdot 3603,4, \text{ кДж,}$$

где N'_e - эффективная мощность, затрачиваемая в час, кВт·ч;

3603,4 - тепловой эквивалент 1 кВт·ч.

Распределение тепла и энергии при дефибрировании в расчете на 1 т абс. сухой древесной массы ($g = 1000$ кг).

Для расчета принимаем:

относительную влажность древесины	$a = 40 \%$;
концентрацию массы в ванне дефибрера	$k = 2,5 \%$;
температуру массы в ванне дефибрера	$t_2 = 78 \text{ }^\circ\text{C}$;
температуру древесины	$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
температуру воды, поступающей в ванну дефибрера	$t = 55^\circ\text{C}$

$$Q_0 = 1000 \cdot 1,63 \cdot (78 - 20) + \frac{1000 \cdot 40}{100 - 40} \cdot 4,19 \cdot (78 - 20) + \left(\frac{1000}{0,25} - 1000 - \frac{1000 \cdot 40}{100 - 40} \right) \cdot 4,19 \cdot (78 - 55) = 3934212 \approx 3934000 \text{ кДж/т абс. сух. массы.}$$

По данным К.Г. Клемма $Q_0 = 3771000$ кДж/т абс.сухой массы без потерь тепла в процессе дефибрирования).

Потери тепла при дефибрировании (по данным Сэтрэ) составл 4-10 %, в среднем 7 %. Следовательно, общее количество тепла с учетом потерь

$$Q'_0 = 3934000 \cdot \frac{100 + 7}{100} = 4209380 \approx 4209000 \text{ кДж/т абс. сух. массы.}$$

Энергия, превращаемая в тепло,

$$N'_0 = \frac{Q'_0}{3603,4} = 1167, \text{ кВт} \cdot \text{ч/т абс. сух. массы.}$$

Удельный расход энергии на дефибрирование для массы среднего качества составляет 1150-1200 кВт·ч/т воздушно сухой или 1300-1360 кВт·ч/т абс.сухой массы.

Расход электрической энергии на образование тепла составляет примерно 85 % от удельного расхода энергии на дефибрирование (по данным К.Г. Клемма, 80 % без учета потерь тепла)

$$\frac{1167 \cdot 100}{1360} = 85 \%$$

Тепловой баланс дефибрера с учетом погружения камня в массу (по В.М. Клопову)

Уравнение теплового баланса:

$$Q_T + Q_D + Q_B = Q_M + Q_{II};$$
$$Q_3 + Q_B = Q_M + Q_K.$$

где Q_T - количество тепла, образующегося при истирании древесины, кДж/мин;

$$Q_T = N_e + B_D \cdot 3603,4,$$

где N_e - удельный расход энергии, кВт·ч/кг;

B_D - количество истертой абс.сухой древесины, кг/мин;

Q_D - количество тепла, вносимого древесиной, кДж/мин,

$$Q_D = (B_D \cdot c + W_D \cdot c_1) \cdot t_2,$$

где c - теплоемкость древесины, равная 1,63 кДж/кг·град;

W_D - количество воды, вносимой древесиной, кг/мин;

c_1 - теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/кг·град;

t_2 - температура древесины, °С;

Q_B - количество тепла, вносимого оборотной водой, кДж/мин,

$$Q_B = (B_B \cdot c + W_B \cdot c_1) \cdot t_B,$$

где B_B - количество волокна, вносимого оборотной водой, кг/мин;

W_B - количество воды, кг/мин;

t_B - температура оборотной воды, °С;

Q_M - количество тепла, уносимого массой из ванны дефибрера, кДж/мин,

$$Q_M = (B_M \cdot c + W_M \cdot c_1) \cdot t_M,$$

где B_M - количество волокна, уносимого из ванны дефибрера, кг/мин;

W_M - количество воды, уходящей из ванны дефибрера, кг/мин;

t_M - температура массы, уходящей из ванны дефибрера, °С;

Q_{II} - количество тепла, теряемого в процессе дефибрирования, кДж/мин,

$$Q_{II} = Q_T + Q_D + Q_B - Q_M,$$

Q_K - количество тепла, передаваемого массой из ванны в зону дефибрирования, кДж/мин,

$$Q_K = (B_K \cdot c + W_K \cdot c_1) \cdot t_K,$$

где B_K - количество волокна, уносимого камнем из ванны в зону дефибрирования, кг/мин;

W_K - количество воды, уносимой камнем из ванны в зону дефибрирования, кг/мин;

$t_K = t_M$ - температура массы в ванне дефибрера, °С;

$$B_K = \frac{(K_D - K_3) \cdot K_K}{(K_3 - K_K) \cdot K_D} \cdot B_D, \text{ кг/мин,}$$

где B_D - количество истертой абс.сухой древесины, кг/мин;

K_D - сухость истертой древесины, %;

K_3 - концентрация массы, выходящей из зоны истирания, %;

K_K - концентрация массы, уносимой камнем в зону истирания, %.

При расчете принимаем K_K равной концентрации массы в ванне, а K_3 определяют путем отбора проб массы, выходящей из зоны дефибрирования

Q_3 - количество тепла, передаваемого массой из зоны дефибрирования в ванну дефибрера, кДж/мин

$$Q_3 = Q_M + Q_K - Q_B; \quad Q_3 = (B_3 \cdot c + W_3 \cdot c_1) \cdot t_3,$$

где B_3 - количество волокна, выходящего из зоны дефибрирования, кг/мин;

W_3 - количество воды, выходящей из зоны дефибрирования, кг/мин;

t_3 - температура массы в зоне дефибрирования, °С,

$$t_3 = \frac{Q_3}{B_3 \cdot c + W_3 \cdot c_1} = \frac{Q_M + Q_K - Q_B}{B_3 \cdot c + W_3 \cdot c_1}, \text{ °С.}$$

4. Типы дефибреров и вспомогательное оборудование

По принципу действия дефибреры можно разделить на две группы: непрерывного дефибрирования и периодического. По конструктивным признакам в зависимости от способа прижима древесины к камню дефибрера делятся на прессовые (гидравлические), у которых прижим древесины к камню осуществляется с помощью прессов с гидравлическим приводом; цепные, прижимающие древесину к камню движущимися в вертикальной шахте цепями; винтовые, у которых механизмом прижима древесины к камню являются вращающиеся вертикальные валы с винтовой нарезкой; кольцевые, у которых прижим балансов к камню осуществляется вращающимся зубчатым кольцом.

Прессовые дефибреры относятся к дефибрерам периодического действия, так как в них в момент загрузки прессовой камеры балансами прекращается процесс дефибрирования. Цепные, винтовые и кольцевые дефибреры - непрерывного действия. За последние годы получили наибольшее развитие и распространение в промышленности только два типа дефибреров: цепные и двухпрессовые.

Ценные дефибреры

На отечественных предприятиях установлены цепные дефибреры фирмы Фойт V величины типа "2В-Европа" и отечественные дефибреры типа ДЦ.

На отечественных предприятиях установлены цепные дефибреры марок ДЦ-01, ДЦС-02, ДЦ-03, ДЦ-04 (табл. 9). Производительность этих дефибреров 40-55 т/сут для одиночных и 80 т/сут - для спаренных.

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, мин ⁻¹	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

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 sprays. Это обеспечивает производительность дефибрера ДЦ-04-1 на 35-40% большую, чем дефибрера ДЦ-03 и "2В-Европа" при одинаковой массе и занимаемой производственной площади.

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 (табл. 10).

Таблица 10

Характеристика двухпрессовых дефибреров фирмы Тампелла

Тип дефибрера	Мощность двигателя, кВт	Длина баланса, м	Диаметр камня, мм	Частота вращения камня, мин ⁻¹	Окружная скорость, м/с	Площадь дефибрирования, м
1510	1690	1,0	1575	250	20,6	1,79
				300	24,7	
1512	2060	1,2	1575	250	20,6	2,18
				300	24,7	
1515	2430	1,5	1575	250	20,6	2,68
				300	24,7	
1810	2950	1,0	1800	250	23,5	2,10
				300	28,2	
1812	3540	1,2	1800	250	23,5	2,55
				300	28,5	
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

Для подачи воды в поршневые цилиндры прессовых дефибреров применяются водонапорные установки.

Вода перед поступлением в эти установки и в гидравлические цилиндры должна быть отфильтрована для удаления из нее песка и других примесей, наличие которых вызывает быстрое изнашивание гидравлических поверхностей.

Для поддержания постоянного давления в системе и его выравнивания применяются водяные аккумуляторы с воздушными подушками в верхней части. Такие установки бывают двух типов:

1. с аккумулятором воды как высокого, так и низкого давления;
2. с аккумулятором воды низкого давления и многоступенчатым центробежным насосом для воды высокого давления.

В отечественной промышленности спроектирован двухпрессовый дефибрер ДП-03.

Характеристика двухпрессового дефибрера ДП-03:

мощность главного двигателя, кВт	6300
длина баланса, мм	1500
диаметр камня, мм	1800
частота вращения камня, мин ⁻¹	300
окружная скорость камня, м/с	28
производительность по воздушно-сухой массе, т/сут	100
масса, т	152,0

К недостаткам в работе прессовых дефибреров относится низкая удельная производительность (производительность в тоннах на 1 м² поверхности дефибрирования). Это объясняется неравномерной укладкой баланса в прессовых дефибрерах, что приводит к уменьшению поверхности дефибрирования. 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.

Дефибрирование под давлением (ДДМД)

Промышленное внедрение процесса производства древесной массы ДДМД, разработанного фирмой Тампелла, началось в 1979 г и в настоящее время годовое производство её составляет около 2 млн.т.

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 фибриллирования волокна обладают повышенной способностью к сцеплению, в результате чего прочностные показатели массы ДДМД повышены по сравнению с обычной массой ДДМ (табл. 11).

Таблица 11

Сравнение качественных показателей древесной массы ДДМД и ДДМ
(на заводе А/О Мюллюкоски)

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 раздираия, мН·м ² /г	4,05	5,35	+32
Индекс продавливания, кПа·м ² /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 м³/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. Причем 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 передувается в молотковый измельчитель щепы, где щепы измельчается 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 1В. 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 полубеленой 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 %.

В последние годы фирма Тампелла проводит исследования по повышению давления в процессе ДДМР до 0,45 МПа и температуры оборотной воды до 140 °С (так называемая супермасса). Оказалось, что повышение температуры значительно снижает степень белизны масс и для компенсации потери белизны в горячий spryskovyy контур вводится отбеливающий перекисный раствор в количестве около 0,5 %.

По данным фирмы Тампелла, такая масса обладает повышенной прочностью, но удельный расход энергии повышается примерно на 5 %.

Повышение прочностных показателей супермассы по сравнению с ДДМД составляет: для показателя продавливания – 32 %; для показателя предела прочности при разрыве – 16 %; для показателя раздираания – 11 %; для показателя предела прочности при разрыве – 7 %; для плотности – 2 %.

Термодефибрирование на цепных дефибрерах

Фирма Фойт с 1985 года осуществляет внедрение процесса термодефибрирования на предприятиях, сохранивших производство дефибрерной массы на цепных дефибрерах. Основным положением этого процесса является строгий контроль температуры в зоне дефибрирования и поддержание ее на оптимальном уровне, способствующему лучшему разделению древесины на волокна. Температура в зоне дефибрирования изменяется неравномерно: при входе камня в зону она ниже, при выходе выше.

По характеру изменения температуры в зоне можно выделить три процесса:

- температура по всей длине зоны ниже температуры кипения воды;

- температура кипения воды достигается внутри зоны;
- температура кипения воды достигается в конце зоны.

Для достижения хорошей пластификации лигнина температура в зоне дефибрирования должна быть максимально высокой. Однако при достижении температуры кипения внутри зоны создаются неблагоприятные условия, нарушающие нормальную работу дефибрера, при этом повышается удельный расход энергии, ход дефибрера становится неравномерным.

Целью перехода в режим термдефибрирования является достижение температуры кипения воды в конце зоны дефибрирования. Это достигается дополнительным оборудованием цепных дефибреров системой дополнительного контроля температуры массы в ванне и оборотной воды, дополнительной системой уплотнения шахты для поддержания определенного уровня воды над зоной дефибрирования. Подпор в шахте служит только для конденсации паров вскипания.

Для контроля и регулирования температуры в зоне дефибрирования применяется система стабилизации, т.н. стабилизатор. Принцип работы стабилизатора заключается в том, что ему задаются предельные значения температуры массы в ванне дефибрера и удельного расхода энергии на дефибрирование. Между температурой массы в ванне и удельным расходом энергии существует четкая математическая зависимость. Превышение предельных значений температуры массы в ванне и удельного расхода энергии сигнализирует о возрастании температуры в зоне дефибрирования выше оптимальной. За счет включения подачи охлажденной оборотной воды в зону дефибрирования температура ее снижается, количество воды, подаваемой на дефибрер, остается постоянным.

Масса, полученная методом термдефибрирования, занимает по прочности промежуточное положение между ДДМ и ДДМР. При получении массы для газетной бумаги отмечают снижение расхода энергии на 8 %, для иллюстрационной бумаги - на 12 %.

Метод термдефибрирования рекомендуется только при использовании керамических дефибрерных камней.

Типы дефибрерных камней

Камень - основной рабочий орган дефибрера. Для производства дефибрерной древесной массы применяются следующие виды камней:

- кварцево-цементные,
- электрокорундовые,
- керамические.

Дефибрерный камень имеет форму полого цилиндра, закрепляется на валу дефибрера с помощью торцевых шайб. Камни выпускают различных размеров, типаж их приведен в табл. 12.

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
6-40-40-00-00	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	-

Марка камня расшифровывается следующим образом.

Первая цифра характеризует наружный диаметр камня в сотнях миллиметров без первой цифры. Если диаметр камня равен 1800 или 1700 мм, то число в марке будет 8 или 7 и т.д.

Второе число определяет ширину рабочей поверхности камня в сантиметрах без первой единицы. Если ширина рабочей поверхности равна 1400 или 1370 мм, то число в марке будет 40 или 37 и т.д.

Третье число определяет наибольшую ширину под шайбу. При ширине под шайбу 1460 или 1400 мм число в марке будет 46 или 40 и т.д.

Четвертая цифра (буква) определяет вид камня: П – кварцево-цементный; Э - электрокорундовый, К - керамический.

Полное число характеризует зернистость камня. При зернистости камня 1,2; 1,0; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,45; 0,40; 0,35; 0,30; 0,25 мм число в марке будет 120, 100, 80, 70, 60, 50, 45, 40, 35, 30, 25.

Пример полного обозначения марки камня - 8-37-46-П-40.

Кварцево-цементные и электрокорундовые камни

В качестве абразивного материала в кварцево-цементных камнях применяется дробленый кварц, в электрокорундовых камнях - электрокорунд. В качестве связующего вещества для этих видов камней применяется портланд-цемент марки 500.

Керамические камни

Сердечник камня изготавливается из кварцевого песка в основном с размером зерен от 0,6 до 5 мм с добавками около 15 % более мелких зерен. Для связки применяется портланд-цемент марок 500 или 600. Для изготовления керамических сегментов применяется абразивный материал природ-

ного 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.

Хранение и транспорт дефибрерных камней

Условия хранения цементных и керамических камней достаточно близкие, так как сердечник тех и других железобетонный. Выдержка цементных камней после изготовления не менее 9 месяцев, керамических 3-6 месяцев.

Отгрузка камней заказчику осуществляется на железнодорожных платформах с апреля по ноябрь. По согласованию с заказчиком допускается отгрузка камня в зимний период. Погрузочно-разгрузочные работы с камнями должны выполняться при помощи грузоподъемных механизмов и галочных приспособлений, исключающих повреждение камней. Перекатка камней и удары не допускаются.

На предприятиях камни должны храниться в крытых складских помещениях при температуре не ниже +2 °С.

Крепление камня на валу и пуск нового камня в работу

Камень крепится на валу между двумя шайбами из литой стали. Методы крепления камня различаются видом базирования камня по отношению к шайбам, а следовательно, и от вала. При этом можно выделить следующие методы:

- центрирование камня с помощью установочных болтов;

- центрирование камня и шайбы по металлическому кольцу в отверстии камня;
- центрирование шайбы непосредственно по бетонному сердечнику камня;
- центрирование шайбы непосредственно по сердечнику камня, но с обратным уклоном контактных поверхностей шайб;
- центрирование камня по шайбе по расточке металлического сердечника керамического камня (при конструкции камня с чугунным сердечником).

Установка камня на вал производится в следующей последовательности.

1. Производится тщательный осмотр подшипниковых шин, резьбы и галтелей вала, гаек, шайб, шпонок и других деталей.
2. Камень устанавливается на деревянные брусья, вал заводится в отверстие камня и укладывается на стойки станка для сборки камня.
3. Осуществляется центровка вала относительно неподвижного камня до совпадения их осей. Соответствующее перемещение вала обычно производится забиванием в промежуток между бочкой вала и отверстием камня деревянных клиньев.

Контроль совместного положения камня и вала осуществляется с помощью линейки, укладываемой на наружную поверхность камня, Замеряется расстояние от ее плоскости до шейки вала в четырех или шести точках по окружности. Отклонение в замерах не должно превышать $\pm 0,1$ мм.

4. Для кварцево-цементных камней после центровки полости около клиньев забиваются мокрой бумагой, а затем на вал навинчиваются шайбы с гайками. Между камнем и шайбой оставляется зазор 6-7 мм, в который заливается цементный раствор в соотношении компонентов (песок-цемент 500) 1:3. После заливки камень выдерживается не менее 3 суток до полного схватывания раствора.
5. При сборке керамических камней заливка цементным раствором не применяется, а между камнем и шайбой ставится прокладка из фанеры или фибры.
6. Затяжка шайб осуществляется, как правило, на станке для сборки камня. Для этого на приводной конец вала заводится ключ, с помощью которого осуществляется затяжка шайб. На Балахнинском ЦБК, например, для затяжки шайб применяется устройство, предназначенное для обрезания отработанных камней при освобождении шайб. Камень при этом зачаливается тросом, на конец вала ставится ключ, поворот которого при затяжке производится пятидесятитонным гидравлическим домкратом.

При затяжке шайба перемещается (считая по наружному диаметру) примерно на 60-70 мм. Плотность прилегания камня к шайбе при установке фанерных или фибровых прокладок проверяется щупом через отверстия шайбы. При нормальной сборке соединения щуп толщиной 0,1 мм не должен проходить между сопряженными деталями.

Ввод камня в работу

При вводе камня в работу осуществляется его нагрев до температуры массы в ванне дефибрера. Прогрев камня осуществляется в специальной камере или непосредственно в ванне дефибрера. При подогреве в закрытой камере с циркуляцией воды прогрев камня происходит равномерно - разность температур в контрольных точках ванны (трех) не превышает 1,5 °С.

Камни дефибреров "2В-Европа" и ДЦ прогреваются примерно 5 суток до 80 °С с постепенным подъемом температуры по 1 °С. Прогретый камень перед установкой на дефибрер обертывается бумагой или отработанным сукном, при этом камень в процессе установки на дефибрер охлаждается не более чем до 70-75 °С. После установки камня дефибрер пускается на холостой ход, в это время выравнивается поверхность камня шарошкой № 3. Примерно через 5-10 мин выравнивания на дефибрер дается нагрузка для дополнительной затяжки шайб. Вначале дается нагрузка 15-25 %, после 4 часов работы 35 %, затем через каждые 4 часа добавляется по 10 %. При хорошо смонтированном камне выравнивание поверхности камня шарошкой № 3 не превышает 30 мин. Затем в течение 5-10 мин поверхность камня выравнивается шарошкой № 6. Нормальный температурный режим при предварительном прогреве камня устанавливается примерно в течение 4 часов.

При вводе в эксплуатацию камня без предварительного подогрева должно выполняться основное требование - постепенный подъем рабочей температуры камня до 70-75 °С. Обычно для кварцево-цементных камней температура поднимается с 25 °С до 45 °С по 0,5 °С в час, затем по 1 °С в час. На керамических камнях по 1 °С в час до 70 °С. Фирма "Нортон" рекомендует поднимать температуру на керамических камнях в среднем на 2,5 °С в час, чтобы достигнуть температуры 75 °С и полной нагрузки в течение 24 часов.

Обработка поверхности камня

Насечка камня - важнейший фактор дефибрирования, в значительной степени определяющий производительность дефибрера, расход энергии и качество массы. Для насечки дефибрерных камней применяются шарошки различных типов и номеров. Шарошки подбирают в зависимости от вида вырабатываемой массы, состояния исходной древесины, марки камней, их твердости, типа дефибрера. Однако следует отметить, что при правильном выборе глубины насечки камня можно компенсировать до некоторой степени влияние на качество массы типа шарошки.

Кварцево-цементные камни насекаются 3-5 раз в сутки на глубину 0,5-0,8 мм, керамические - раз в 3-10 суток при глубине 0,4-0,5 мм.

Как было отмечено выше, при применении метода безванного дефибрирования с очисткой поверхности камня системой sprays количество насечек резко сокращается до 1 раза в месяц. При этом камень работает на естественной структуре.

В зарубежной практике для древесной массы, предназначенной для газетной и печатной бумаги применяются спиральные шарошки №№ 8-12 (табл. 13), причем шарошки более высокого номера (12) используются при сплавленном балансе, более грубые (8) - при сухом балансе железнодорожной поставки.

Таблица 13

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

Скорость поступательного движения шарошки вдоль камня оказывает значительное влияние на качество насечки. Для получения нормальной насечки шарошка должна за время одного оборота камня переместиться вдоль его образующей на ширину шарошки, b мм.

Время τ , необходимое для насечки камня, составляет

$$\tau = \frac{B \cdot 60}{b \cdot n \cdot 0,75}, \text{ с,}$$

где B - ширина камня, мм;

b - ширина шарошки, мм;

n - частота вращения камня, мин^{-1} , мин.

5. 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. 14). Сортировки этого типа отличаются друг от друга, в основном формой ситового лотка, конструкцией вибрационного механизма и амортизаторов.

Таблица 14

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
	ширина	1,55
	высота	1,00
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.

Сортирование массы предназначено не только для удаления костры и пучков волокон, но и для сохранения в массе длинных волокон. В связи с этим при сортировании древесной массы необходимо отделить максимальное количество костры и пучков и сохранить наибольшее количество длинных волокон в массе.

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 15

Техническая характеристика напорных сортировок с цилиндрическим ротором

Наименование параметров	СВД-04	СВД-0,9	СЦН-2,0	
Площадь сита, м ²	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 ⁻¹	1460-1820	1035-1160	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	

Схемы сортирования

В процессе сортирования волокнистой массы, по данным Стненберга, должны соблюдаться следующие принципы.

- Принцип двойного сортирования: ни один поток готовой массы не выходит из системы, пока он не будет минимум дважды подвергнут сортированию и, по возможности, различными средствами.
- Принцип возвращения массы: сортированная масса каждой последующей ступени возвращается в поток массы, поступающей на предыдущую ступень.
- Принцип смешения: к главному массному потоку подводятся только такие потоки, которые содержат равное или меньшее количество щепочек и имеют равную или несколько более высокую концентрацию.
- Принцип циркуляции части готовой массы для того, чтобы обеспечить постоянно равномерную нагрузку сортировки.

Следует различать два метода сортирования.

Прямое сортирование - при этом очищенная масса с разных ступеней сортирования направляется непосредственно на сгущение. Непрямое сортирование - при этом очищенная масса возвращается с последующей ступени на предыдущую для повторного сортирования.

В зависимости от требований к качеству массы на практике применяются различные схемы сортирования, при этом можно выделить следующие тенденции.

- Грубое сортирование проводится в одну, реже в две ступени.
- Тонкое сортирование осуществляется, как правило, в две ступени.
- Отходы тонкого и грубого сортирования подвергаются дополнительной разработке и возвращаются в общий поток массы.
- Количество отходов сортирования, направляемых на дополнительную обработку, составляет от 10 до 40 % от массы, поступающей на первую ступень сортирования.
- Очистка массы на вихревых очистителях осуществляется в 3-4 ступени.

Для обозначения потоков на принципиальных схемах приняты условные обозначения:

щ – щеполовка	Б – бассейн
C_1 - сортировка I ступени	Ж - молотковая мельница
C_2 - сортировка II ступени	Ц - вихревые очистители
C_0 - сортировка отходов	Ж - желоб массы
С – сгуститель	ДК - дренирующий конвейер
М - дисковая мельница	

На рис. 1 (стр. 14) приведена схема двухступенчатого сортирования на сортировках типа СЦ (безнапорных) с возвращением массы после второй ступени в общий поток сортированной массы. На том же рисунке при-

ведена схема двухступенчатого сортирования на напорных сортировках типа СЦН с последовательным сортирова массы.

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 ступени;

- 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 размолу с концентрацией массы 20-30 % длина волокон уменьшается незначительно, но увеличивается удельный расход энергии.

В настоящее время все возрастающее значение для повышения эффективности обработки отходов сортирования приобретает использование тепловой и химической обработки в дополнение к механической.

На рис. 1 (стр. 14) приведена схема переработки отходов сортирования с возвращением размолотых отходов в общий поток сортирования (в бассейн под щеполовкой).

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 осуществляет 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. 16).

Таблица 16

Техническая характеристика очистителей ОК-01, ОК-02

Параметры	ОК-01	ОК-02
Диаметр очистителя, мм	80	160
Пропускная способность, л/мин	125	400
Эффективность очистки массы от коры размером 0,5-1 мм, %	60 ,	50
Оптимальный перепад давления, МПа	0,26	0,24
Давление разбавительной воды на последней ступени установок, МПа	-	0,30
Наибольшее давление на входе в очиститель, МПа	-	0,32
Концентрация поступающей массы, %	до 1,0	до 1,0

Комплектные установки с очистителями ОК-02 - УВК-02 (табл. 17) выполнены по трехступенчатой схеме и на последней ступени оснащены устройствами для отмыва волокна и регулирования количества отходов.

Таблица 17

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	УВК-700-02
Производительность по воздушно сухому волокну, т/сут	50	120	180	300	400	500	700
Кол-во очистителей, шт:							
I ступень	20	46	70	114	160	184	266
II ступень	6	12	18	28	32	34	76
III ступень	2	4	3	8	16	18	20

Установленная мощность, кВт	90	327	555	610	945	1495	2037
Габаритные размеры, мм							
длина	5,84	12,95	6,34	8,72	19,34	7,39	14,92
ширина	2,94	2,14	6,79	5,93	7,89	5,48	5,63
высота	2,46	2,65	3,15	3,20	3,20	2,82	3,66
Масса, т	4,69	10,45	17,89	24,70	35,95	74,40	74,64

Сгущение древесной массы

Масса после очистки имеет концентрацию 0,3-0,6 %. Необходимо обезводить эту массу до такого состояния, при котором обеспечиваются удобства её хранения и транспортировки.

При использовании древесной массы в системе предприятия она подвергается сгущению на шаберных сгустителях до концентрации 5-7 % и вакуум-фильтрах - до 8-12 % (табл. 18, 19).

Наиболее удобной концентрацией для перекачивания массы насосами и перемешивания её в мешальных бассейнах является концентрация 3-4 %. Однако массу сгущают до возможно более высокой концентрации с целью использования теплой оборотной воды в пределах древесномассного завода. Для окончательного разбавления массы в мешальных бассейнах перед подачей её на бумажную фабрику используется избыточная оборотная вода от бумагоделательной машины.

Фильтрующий эффект при сгущении древесной массы зависит не от вида сетки сгущающего аппарата, а от образующегося на ней волокнистого слоя, который для древесной массы со степенью помола около 70° ШР представляет очень плотную фильтрующую среду. Плотность волокнистого слоя увеличивается с повышением концентрации поступающей волокнистой суспензии, с уменьшением скорости вращения цилиндра или с увеличением глубины погружения цилиндра в массу при одинаковой скорости его вращения. Степень помола поступающей массы определяет не только плотность слоя, но и его фильтрующую способность. Поэтому для каждого сгущающего аппарата существует своя оптимальная скорость вращения цилиндра при определенной глубине его погружения в массу, её концентрации и степени помола.

Условия сгущения древесной массы
на обезвоживающих аппаратах различного типа

	Частота вращения цилиндра, мин ⁻¹	Диаметр цилиндра, м	Окружная скорость, м/мин	Производительность, т/м ² ·сут
Шаберный сгуститель	18,5	0,91	53,2	1,47
	23,0	0,91	66,0	1,64
	20,0	1,22	76,0	1,56
	24,0	1,22	92,0	1,08
Барабанный фильтр	5,0	2,44	38,5	0,98
	6,0	2,44	46,0	1,39
	7,5	2,44	57,6	1,51
Дисковый фильтр	1,0	3,75	11,77	0,5
	1,5	3,75	17,66	0,75
	2,0	3,75	23,55	1,0

Таблица 19

Техническая характеристика дисковых фильтров
производства зарубежных фирм

Параметры	Фирма Энсо-Эймко	Хедемура
Диаметр диска, мм	3800	3660
Поверхность фильтрации, мм при количестве дисков:		
6	123	116
10	205	193
12	246	232
20	-	386
Концентрация поступающей массы, %	0,5-0,7	0,5-0,7
Концентрация сгущенной массы, %	8-12	4-8
Частота вращения диска, мин ⁻¹	0,5-3	0,5-2,5
Мощность двигателя, кВт	15	-

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., Бельский 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.

Владимир Николаевич Лаптев

ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ

Учебное пособие

Редактор и корректор Н.П.Новикова
Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2009 г., поз. 33

Подп. к печати 06.07.2009. Формат 60x84/16. Бумага тип. №1.
Печать офсетная. Объем 3,25 уч.-изд. л. 3,25 усл.-печ. л. Тираж 100 экз.
Изд. № 33. Цена "С". Заказ

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.