

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**Методические указания
для выполнения курсовых работ по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-48 01 05 «Химическая
технология переработки древесины» специализации
1-48 01 05 04 «Технология целлюлозно-бумажных производств»
очной и заочной форм обучения**

Минск 2007

УДК 676 (075.8)
ББК 35.77я7
О-22

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:

Н. В. Черная, Н. В. Жолнерович

Рецензент

профессор кафедры информационных систем и технологий БГТУ,
доктор технических наук *В. Л. Колесников*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2007 год. Поз. 44.

Для студентов специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины» специализации 1-48 01 05 04 «Технология целлюлозно-бумажных производств» очной и заочной форм обучения.

© УО «Белорусский государственный

технологический университет», 2007

ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Составители: **Черная** Наталья Викторовна
Жолнерович Наталья Викторовна

Редактор *О. Г. Борисова*

Подписано в печать 23.03.2007. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 2,9. Уч-изд. л. 3,0.
Тираж 85 экз. Заказ .

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курсовое проектирование является важным составляющим элементом процесса обучения и служит для того, чтобы имеющиеся у студентов теоретические знания реализовывались в виде практических навыков проектирования и расчета оборудования.

Цель проектирования заключается в закреплении теоретических и специальных знаний и умений, необходимых будущим инженерам-химикам-технологам для правильного выбора оборудования, его установки и рациональной эксплуатации.

Для машин и аппаратов целлюлозно-бумажной промышленности характерно многообразие происходящих в них физико-механических и химических процессов, обуславливающих большое число принципиально различных видов применяемого оборудования. При этом, например, бумагоделательные машины и аппараты непрерывной варки целлюлозы представляют собой уникальные агрегаты, включающие сотни тысяч деталей и обладающие массой в тысячи тонн. Поэтому при проектировании оборудования целлюлозно-бумажного производства перед студентами возникают достаточно сложные задачи, решению которых и призвано служить данное пособие.

Настоящие методические указания отражают сущность и основные задачи курсового проектирования по дисциплине «Оборудование целлюлозно-бумажных производств» для студентов специальности

1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины» специализации 1-48 01 05 04 «Технология целлюлозно-бумажных производств» очной и заочной форм обучения. Они содержат методику и примеры расчета оборудования для окорки балансовой древесины, рубительных машин для измельчения древесного сырья в технологическую щепу, оборудования для сортирования щепы, а также оборудования для подготовки волокнистых полуфабрикатов. В зависимости от задания на проектирование студенту необходимо выбрать методику расчета оборудования.

Все эти сведения позволяют разрабатывать современные технологические схемы и обоснованно выбирать оборудование, используемое для производства массовых и специальных видов бумажной и картонной продукции с применением различных видов

волокнистых полуфабрикатов и вспомогательных химических добавок.

СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа по дисциплине «Оборудование предприятий целлюлозно-бумажных производств» является самостоятельной работой учащихся. Основная цель выполнения курсовой работы – обобщение и систематизация теоретических знаний, полученных в процессе обучения и применение их в решении практических задач, а также подготовка студентов к выполнению дипломного проекта.

Тематика курсовой работы должна соответствовать требованиям учебной программы и предусматривать проектирование нового технологического оборудования или модернизацию оборудования, находящегося в эксплуатации на предприятиях. Тема и объем курсовой работы должны отвечать требованиям технического прогресса и соответствовать по сложности теоретическим знаниям и практическим навыкам учащихся, а также времени, отведенному на курсовое проектирование.

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

Введение.

1. Назначение и краткий обзор аналогичного оборудования.
2. Обоснование выбора конкретного оборудования.
3. Устройство и принцип действия выбранного оборудования.
4. Техническая характеристика и правила безопасной эксплуатации выбранного оборудования.
5. Технологическая схема с установкой выбранного оборудования.
6. Производственный контроль основных параметров при эксплуатации оборудования.

Заключение.

В разделе «Введение» следует отразить современное состояние целлюлозно-бумажной промышленности, а также перспективы ее развития и задачи, которые необходимо решить. Целесообразно увязать тему курсовой работы с основными перспективами развития и показать пути решения данных задач. Источниками для написания этой части курсовой работы являются научно-периодические издания «Бумажная промышленность», «Целлюлоза. Бумага. Картон» и др. Объем раздела – 1–2 страницы.

В разделе «Назначение и краткий обзор аналогичного оборудования» необходимо по литературным источникам провести обзор имеющегося на данный момент оборудования, аналогичного проектируемому, а также рассказать о его назначении и особенностях конструкций. В конце раздела сделать выводы о возможных направлениях совершенствования конструкции и условий эксплуатации данного вида оборудования.

В разделе «Обоснование выбора оборудования» надо указать достоинства и недостатки конкретной марки машины в сравнении с имеющимися аналогами и пути повышения эффективности работы выбранного оборудования.

В разделе «Устройство и принцип действия выбранного оборудования» необходимо описать основные элементы конструкции выбранного оборудования и принцип работы установки.

В разделе «Техническая характеристика и правила безопасной эксплуатации выбранного оборудования» в соответствии с исходными данными на проектирование следует рассчитать основные элементы конструкции и параметры работы выбранного оборудования, привести его техническую характеристику и правила безопасной эксплуатации.

В разделе «Технологическая схема с установкой выбранного оборудования» в соответствии с видом вырабатываемой продукции необходимо привести технологическую схему процесса и ее описание с установкой выбранного оборудования.

В разделе «Производственный контроль основных параметров при эксплуатации оборудования» необходимо описать основные параметры, по которым осуществляется контроль и управление работой выбранного оборудования.

В «Заключении» необходимо отразить конкретные результаты, достигнутые при выполнении курсовой работы.

Графическая часть курсовой работы выполняется на листах чертежной бумаги в объеме 1–2 листа формата А1 и содержит чертеж общего вида проектируемой машины с наиболее характерными разрезами, сечениями и видами. На общем виде указываются габаритные и присоединительные размеры.

1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОКОРКИ ДРЕВЕСИНЫ

Необходимость снятия коры с древесины в целлюлозно-бумажном производстве объясняется ее строением и химическим составом. Содержание коры составляет от 6 до 30% от объема древесины, при этом часть коры имеет неволокнистое строение, что снижает механические свойства готового продукта при использовании неокоренной древесины.

Требования к качеству окорки древесины определяются видом вырабатываемой продукции, техническим оснащением предприятия и применяемым способом варки. При грубой окорке снимается корка и частично луб, при чистой – корка и луб. Чистой окорке подвергаются балансы, предназначенные для выработки высококачественной растворимой целлюлозы, целлюлозы для электроизоляционных бумаг. Газетная бумага допускает содержание луба до 10–15% от первоначального объема. При выработке крафт-целлюлозы для мешочной бумаги, полуцеллюлозы, бурой древесной массы могут использоваться балансы с полностью оставленным лубом.

Качество окорки древесины характеризуется процентом окоренной поверхности, т. е. степенью окорки, определяемой по формуле

$$M = \frac{S - S_1}{S} \cdot 100,$$

где M – степень окорки, %; S – площадь всей боковой поверхности баланса, m^2 ; S_1 – неокоренная площадь боковой поверхности баланса, m^2 .

Степень окорки зависит от назначения древесины и определяется показателями засоренности щепы корой, % по массе, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Показатель засоренности щепы корой

Назначение древесины	Степень засоренности щепы корой, % по массе
1. Сульфитная целлюлоза и древесная масса для бумаг с регламентируемой сорностью	1,0
2. Сульфитная целлюлоза и древесная масса для бумаг с нерегламентируемой сорностью, сульфатная и	

бисульфитная целлюлоза для бумаги и картона с регламентируемой сорностью	1,5
--	-----

Назначение древесины	Степень засоренности щепы корой, % по массе
3. Сульфатная целлюлоза и различные виды полуцеллюлозы для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью	3,0
4. Спирт, дрожжи, глюкоза, фурфурол	11,0
5. Древесно-волокнистые и древесно-стружечные плиты	15,0

Степень окорки M , %, в зависимости от засоренности щепы может быть вычислена по формуле

$$M = \frac{k_n - k_k}{k_n} \cdot 100,$$

где k_n – содержание коры на древесине, %; k_k – содержание коры в щепе, %.

Содержание коры на древесине зависит от породы, возраста и условий произрастания дерева. Средние данные по содержанию коры приведены в табл. 2 [6].

Таблица 2

Содержание коры на древесине

Порода древесины	Содержание коры на древесине, %	
	по объему	по массе
Сосна	9,1–9,2	6,3–6,5
Ель	9,7–14,2	8,1–11,5
Береза	12,6	13,5
Осина	14,4	15,5
Лиственница	16,4–19,9	12,6–13,4

Процесс окорки древесины зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются: порода древесины, ее температура и влажность. С понижением температуры силы сцепления коры с древесиной возрастают в 3–5 раз. В летнее время существенное влияние на силы сцепления оказывает влажность древесины. При ее увеличении существенно снижается предел прочности коры на скалывание по камбиальному слою вдоль волокон. Прочность сцепления коры с древесиной зависит от

времени года. Сопротивление окорки резко снижается в период вегетации, а затем снова возрастает.

1.1. Классификация окорочных барабанов

Наибольшее распространение из всего многообразия окорочных механизмов получили корообдирочные барабаны, представляющие собой полый цилиндр, при вращении которого каждый из находящихся в нем балансов подвергается разнообразным динамическим воздействиям, приводящим к отделению коры. На процесс окорки решающее влияние оказывают силы сцепления коры с древесиной, зависящие от камбиального слоя, способа транспортировки, длительности хранения и температуры в момент подачи на окорку. Сокращение продолжительности обработки сырья в барабане достигается интенсификацией окорки.

По способу интенсификации окорки корообдирочные барабаны разделяются на четыре типа: барабаны мокрой, полусухой, сухой окорки и комбинированные барабаны.

В барабанах *мокрой окорки* в качестве интенсификатора используется горячая вода, которой заполняется корпус барабана. Кора удаляется вместе с потоком воды и выходящими из барабана балансами. Барабаны *полусухой окорки* разделены на две равные части. В первой части окорка осуществляется в водной среде, а во второй – без применения воды. Барабаны полусухой окорки вследствие меньшего расхода воды и более высокой производительности практически вытеснили барабаны мокрой окорки. В барабанах *сухой окорки* используют механические интенсификаторы в виде ножей для предварительного разрушения коры или пар. Барабаны с механическими интенсификаторами получили распространение для окорки низкокачественного древесного сырья. В комбинированных барабанах в зависимости от влажности сырья может осуществляться как сухая окорка с использованием пара, так и полусухая. В первой секции барабана, составляющей одну треть его длины, обеспечивается увлажнение сырья, достаточное для осуществления эффективной окорки в перфорированных секциях.

Основные технические характеристики окорочных барабанов приведены в табл. 3.

1.2. Расчет производительности окорочных барабанов

Различают транспортную и технологическую
производительности корообдирочных барабанов непрерывного
действия.

Таблица 3

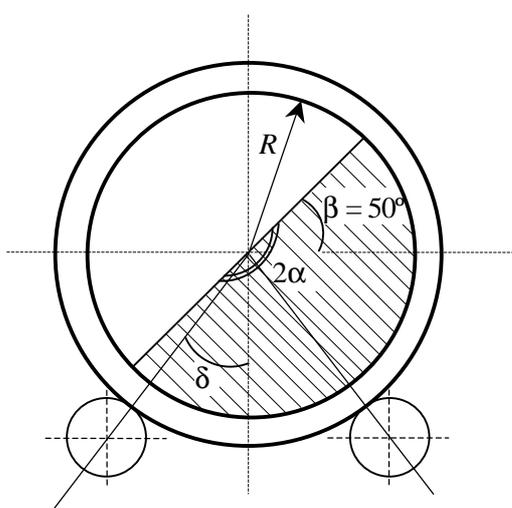
Технические характеристики корообдирочных барабанов

Наименование показателей	Барабаны								
	полусухой окорки			сухой окорки с паром		сухой окорки с механическими интенсификаторами			комбинированной окорки
	КБ-40К	КБ-60	КБ-100-01	КБС-420	КБС-425	КБ-3	КБ-6А	КБ-12	КБ-530М
Внутренний диаметр, м	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,0	3,0	3,0	5,0
Длина корпуса, м	15,0	20,5	24,0	20,5	24,0	3,5	7,5	15,0	30,0
Число секций, шт.	2	2	2	2	2	1	1	2	3
в том числе перфорированных	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Частота вращения, мин ⁻¹	6,3	6,3	6,3	9,0	9,0	10,5	10,5	10,5	до 8,0
Установленная мощность, кВт	220	244	352	375	375	42	57	112	953
Производительность при 95%-ной окорке еловой талой свежесрубленной древесины, м ³ /ч, не менее	45	75	95	60	75	3	7,5	15	175
Масса, т	165	190	205	233	245	26	39	58	453
Габаритные размеры, м:									
длина	14,8	21,4	25,5	23,0	26,5	14,3	12,3	27,0	36,5
ширина	6,3	6,5	6,5	6,5	6,5	4,2	5,5	5,5	8,1
высота	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,2	5,5	5,5	7,5

Транспортная производительность определяется средней скоростью продвижения балансов или эквивалентным углом наклона плоскости обрушения и задается интенсивностью загрузки барабана (рис. 1):

$$Q_T = \frac{300D^3 \omega \cdot \sin\alpha \cdot \sin\gamma \cdot \left(1 - \frac{180\sin 2\alpha}{\pi \cdot 2\alpha}\right) \cdot k \cdot k_1}{\left(\frac{180\omega}{\pi \cdot 2\alpha} \sqrt{\frac{4D \cdot \sin\alpha}{3g(\sin\beta - f\cos\beta)}} + 1\right) \cdot \operatorname{tg}\beta},$$

где Q_T – транспортная производительность окорочного барабана, м³/ч;
 D – внутренний диаметр барабана, м; ω – угловая частота вращения барабана, с⁻¹;



α – половина центрального угла сегмента заполнения, °; γ – угол наклона поверхности обрушения в продольной плоскости сечения барабана, °; k – коэффициент полндревесности укладки балансов в барабане, определяемый по табл. 4; k_1 – коэффициент использования машинного времени ($k_1 = 0,90-0,95$); g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$); β – угол динамического обрушения балансов, ° ($\beta = 50^\circ$); f – усредненный коэффициент трения балансов друг о друга ($f = 0,4$).

Рис. 1. Схема окорочного барабана

Таблица 4

Значение коэффициента полндревесности

Значение параметра d/D	Значение коэффициента полндревесности в зависимости от отношения l/D			
	0,13	0,26	0,39	0,52
0,035	0,46	0,44	0,36	0,33
0,057	0,48	0,45	0,38	0,35
0,077	0,50	0,47	0,41	0,37

Примечание. d и l – диаметр и длина окашиваемых балансов.

Для барабанов с механическими интенсификаторами значения k принимаются с коэффициентом 0,85.

Технологическая производительность барабанов непрерывного действия определяется средней продолжительностью пребывания балансов в барабане, необходимой для обеспечения требуемой средней степени окорки. Вследствие большой изменчивости сырьевых факторов (породы, размеров, состояния древесины) и вероятностного характера процесса перемещения балансов в барабане технологическая производительность колеблется в широких пределах и не поддается теоретическому расчету. Для ориентировочных расчетов технологической производительности барабанов непрерывного действия может быть использована эмпирическая формула, значения коэффициентов которой установлены на основе анализа результатов исследований барабанов:

$$Q = k_w \cdot k_l \cdot k_s \cdot k_n \cdot Q_0 \cdot L,$$

где Q – технологическая производительность окорочных барабанов непрерывного действия, м³/ч; k_w , k_l , k_s – эмпирические коэффициенты, учитывающие соответственно состояние древесины, ее размеры и требуемую степень окорки (табл. 5–7); k_n – коэффициент, учитывающий частоту вращения барабана; Q_0 – удельная базовая производительность, м³/(ч · м) (табл. 8–9); L – длина барабана, м.

Таблица 5

Значение коэффициента k_w

Температура коры	Относительная влажность, %		
	75–90	45–70	30–40
Положительная	1,3	1,1	0,6*
Отрицательная	0,7	1,0	0,5*

* Для полусухой окорки.

Таблица 6

Значение коэффициента k_l

Средний диаметр балансов, м	Диаметр барабана, м		k_l
	4	5	
	Средняя длина балансов, м		
0,14	1,0	1,5	1,07
	1,5	2,0	0,86
	2,0	2,5	0,81
0,22	1,0	1,5	1,10
	1,5	2,0	0,93
	2,0	2,5	0,86

0,30	1,0 1,5 2,0	1,5 2,0 2,5	1,14 1,00 0,95
------	-------------------	-------------------	----------------------

Таблица 7

Значение коэффициента k_s

Степень окорки, %	Порода древесины		
	Ель, пихта	Сосна, осина	Береза, лиственница
98	0,88	0,80	0,85
95	1,00	1,00	1,00
90	1,12	1,15	1,20
80	1,25	1,25	1,53

Таблица 8

Удельная базовая производительность Q_0 барабанов с механическими интенсификаторами окорки, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$

Диаметр барабана, м	Порода древесины	Период заготовки древесины		
		Весна, лето	Осень	Зима
3	Ель, сосна, осина	1,5	1,1	0,3
	Береза, лиственница	1,4	1,1	0,5
4	Ель, сосна, осина	2,0	1,4	0,4
	Береза, лиственница	1,8	1,5	0,7

Таблица 9

Удельная базовая производительность Q_0 барабанов с интенсификацией окорки водой и паром, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$

Диаметр барабана, м	Вид теплоносителя	Температура теплоносителя, °С	Порода древесины		
			Ель, пихта	Сосна, осина	Береза, лиственница
4	Вода	20	3,5	3,6	2,3
		40	3,8	4,1	2,5
		60	4,1	4,4	2,8
	Пар	140	3,6	4,0	2,4
5	Вода	20	6,7	6,8	4,4
		40	7,2	7,8	4,8
		60	7,8	8,4	5,3
	Пар	140	7,0	8,0	5,0

Наилучший результат эксплуатации барабанов непрерывного действия достигается тогда, когда транспортная и технологическая производительности совпадают. Превышение транспортной производительности над технологической влечет за собой снижение степени окорки, а занижение ее значения увеличивает потери древесины и, естественно, уменьшает объем окоренного сырья.

1.3. Расчет мощности привода окорочных барабанов

Мощность привода корообдирочного барабана складывается из мощности, расходуемой на преодоление трения в опорно-приводных устройствах, и полезной мощности, потребляемой на окорку и перемещение балансов. Полезная мощность определяется работой сил динамического взаимодействия балансов и практически не зависит от их состояния и продолжительности пребывания в барабане, т. е. с производительностью связана лишь косвенно.

$$N_{\text{уст}} > N = \frac{1}{\eta} \cdot (N_{\text{тр}} + N_{\text{пол}}),$$

где $N_{\text{уст}}$ – установленная мощность привода, кВт; N – потребляемая мощность, кВт; η – коэффициент полезного действия привода; $N_{\text{тр}}$ – мощность, расходуемая на преодоление трения, кВт; $N_{\text{пол}}$ – полезная мощность.

$$N_{\text{тр}} = \frac{n \cdot v \cdot \sum G}{975 g \cdot D_p \cdot \cos \delta} \cdot \left[(D_6 + D_p) \cdot \mu + f \cdot D_6 \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2} \right],$$

где n – частота вращения барабана, мин⁻¹; v – коэффициент, учитывающий точность сборки и монтажа барабана ($v = 1,05$); $\sum G$ – общий вес корпуса секций и древесины, Н; D_6 , D_p , $d_{\text{ц}}$ – диаметры, соответственно, бандажа, опорного ролика и цапфы оси опорного ролика, м; μ – коэффициент трения качения бандажа по роликам ($\mu = 0,0015$); f – коэффициент трения в подшипниках опорных роликов ($f = 0,0125$); δ – угол между вертикальной осью сечения барабана и осью опорного ролика, ° ($\delta = 34^{\circ}15'$).

$$N_{\text{пол}} = \frac{0,88 \cdot 10^{-2} \cdot k \cdot \rho \cdot n \cdot D^3 \cdot L \cdot \sin^3 \alpha \cdot \sin \beta}{g},$$

где ρ – плотность окариваемой древесины, кг/м³ (табл. 10).

Таблица 10

Плотность основных древесных пород при влажности 50%

Порода древесины	Плотность, кг/м ³
Ель	780
Пихта	650
Сосна	840
Осина	750
Береза	1060

1.4. Порядок расчета основных параметров окорочных барабанов

Исходными данными для расчета являются:

- часовая потребность предприятия в древесном сырье;
- характеристики окоряемой древесины (порода, диаметр балансов и способ их доставки);
- вид вырабатываемой продукции;
- метод интенсификации окорки.

Расчет окорочного барабана проводится в следующем порядке.

1. В зависимости от вида продукции принимается допустимое содержание коры в щепе и рассчитывается необходимая степень окорки древесины.

2. Задается диаметр окорочного барабана и степень его заполнения (оптимальная степень заполнения окорочного барабана, при которой достигается максимальная производительность оборудования, составляет 70–75%).

3. При заданных параметрах работы барабана определяется его производительность.

4. Исходя из заданной часовой потребности предприятия в древесном сырье, рассчитывается необходимое количество единиц устанавливаемого оборудования.

5. Определяется мощность привода окорочного барабана и суммарное количество мощности, затрачиваемое на обеспечение предприятия заданным количеством продукции.

2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ЩЕПУ

К этой группе древесно-подготовительного оборудования относятся рубительные машины и дезинтеграторы. Рубительные машины предназначены для производства щепы из балансов, технологических дров, отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки.

Дезинтеграторы используются для измельчения крупной щепы после сортирования и кусковых отходов деревообработки.

2.1. Классификация дисковых рубительных машин

По кинематике процесса резания и форме рабочего органа рубительные машины делятся на барабанные, конические и дисковые. В барабанных и конических рубительных машинах подача древесного сырья осуществляется в направлении перпендикулярном оси рабочего органа. Вследствие циклического изменения углов встречи ножей с древесиной в процессе рубки щепы, вырабатываемая на этих машинах, имеет разный угол среза, большое содержание слишком крупных и мелких фракций и очень неоднородна по длине. Поэтому барабанные и конические машины не получили широкого распространения. Первые используются в основном для приготовления топливной щепы и щепы для производства древесноволокнистых и древесностружечных плит. Конические машины привлекают внимание специалистов лесопильной и деревообрабатывающей промышленности возможностью одновременного получения на них бруса заданного размера и щепы.

Наиболее высокий выход технологической щепы и лучшие энергетические показатели обеспечивают дисковые рубительные машины, что и обусловило их преимущественное распространение для приготовления щепы в производстве волокнистых полуфабрикатов.

Классификационные признаки дисковых рубительных машин определяются технологической схемой древесно-подготовительного производства, т. е. способом подачи сырья и способом удаления щепы. По способу подачи древесины различают машины с наклонным и горизонтальным направляющим патроном. В машинах с наклонным патроном, предназначенных для измельчения короткомерных

сортиментов, подвод их к диску осуществляется под действием силы тяжести. Машины с горизонтальным патроном используются преимущественно для длинномерного сырья, которое к диску подводится конвейером или специальным загрузочным устройством.

По способу удаления щепы различают машины с верхним и нижним выбросом. Первый осуществляется принудительно лопатками, установленными на ободу диска, второй – за счет силы тяжести щепы. Машины с верхним выбросом проще и экономичнее komponуются со смежным сортирующим оборудованием, но из-за дополнительного дробления дают меньший выход технологической щепы. В то же время в машинах с верхним выбросом при дроблении отпадают не полностью отделившиеся в процессе щепообразования волокна, и качество щепы после сортирования меньше подвержено изменениям при хранении и последующем транспортировании.

Нижний выброс предпочтителен при выработке высококачественных видов целлюлозы, где особенно нежелательно повреждение щепы. Достоинство этого метода состоит в снижении на 15–20% необходимой мощности по сравнению с машинами для верхнего выброса. Недостатком является большая запыленность помещения. При нижнем выбросе необходим глубокий приямок для конвейера щепы и дополнительный конвейер для подачи щепы к сортировкам.

Технические характеристики дисковых рубительных машин представлены в табл. 11–12.

Таблица 11

Технические характеристики дисковых рубительных машин

Наименование параметров	МРН-10	МРН-30, МРН-30Н	МРН-50	МРН-100
1	2	3	4	5

Диаметр диска, мм	1270	1270	2140	2440
Число ножей, шт.	16	16	10	10
Частота вращения диска, мин ⁻¹	590	740	365	365
Угол примыкания патрона, °:				
в вертикальной плоскости	52	52	52	52
в горизонтальной плоскости	18	18	18	18
Максимальный размер перерабатываемого сырья, см:				
диаметр балансов	22	22	35	50
ширина обапола	–	–	–	–
Расчетная длина щепы, мм	18	18	20	20
Расчетные размеры сырья, см:				
диаметр	12	12	20	22
длина	220	220	220	220

Окончание табл. 11

1	2	3	4	5
Установленная мощность, кВт	55	90	320	500
Производительность, м ³ /ч, при рубке свежесрубленного елового сырья:				
расчетного диаметра	10	30	50	100
максимального диаметра	3,5	10,4	18	30
Масса, т	5,7	5,7; 5,4	32,8	40
Габаритные размеры, м				
длина	2,7	2,7	6,0	6,1
ширина	1,7	1,7	3,4	3,4
высота	1,8	1,8; 1,5	4,2	4,4

Таблица 12

Технические характеристики дисковых рубительных машин

Наименование параметров	МРН-150	МРН-300	МРГ-20Н	МРГ-40, МРГ-40Н	МРГ-100Н
1	2	3	4	5	6
Диаметр диска, мм	3000	3000	1270	1600	2440
Число ножей, шт.	12	16	12	10	10
Частота вращения диска, мин ⁻¹	375	250	740	590	365
Угол примыкания патрона, °:					
в вертикальной плоскости	52	53	–	–	–
в горизонтальной плоскости	15	18	52	49	52
Максимальный размер перерабатываемого сырья, см:					
диаметр балансов	70	70	20	30	50
ширина обапола	–	–	42	50	–
Расчетная длина щепы, мм	20	18	18	18	20
Расчетные размеры сырья, см:					
диаметр	27	30	12	20	22
длина	220	220	220	220	220
Установленная мощность, кВт	1600	1600	90	160	500
Производительность, м ³ /ч, при рубке свежесрубленного елового сырья:					
расчетного диаметра	250	300	20	40	100
максимального диаметра	75	80	7,3	15	30
Масса, т	55	50	5,5	14,0; 13,5	40
Габаритные размеры, м					
длина	6,8	9,8	2,7	3,6	6,0
ширина	3,6	4,2	1,7	4,3	3,4
высота	6,8	6,4	1,4	2,2; 2,1	2,4

2.2. Расчет производительности дисковых рубительных машин

Наиболее высокий выход технологической щепы и лучшие энергетические показатели имеют дисковые рубительные машины, рабочий орган которых – ножевой диск. Ножи закреплены на лицевой стороне диска радиально или под некоторым углом к радиусу, таким образом, что режущие лезвия несколько выступают над диском. К лицевой стороне диска с некоторым зазором примыкает направляющий патрон, по которому баланс подводится к ножам.

На стенках, образующих днище патрона, установлены контрножи. В теле диска вдоль режущей кромки каждого ножа выполнены сквозные подножевые щели. Диск огражден кожухом. Балансы по направляющему патрону подаются к ножам вращающегося диска. Каждый нож отрубает шайбу толщиной равной величине выступа ножа. При этом подача сырья под следующий нож осуществляется затягивающим усилием предыдущего ножа. Под действием скалывающих или сдвигающих усилий на передней грани ножа отрубаемая шайба распадается на отдельные элементы – щепу. Через подножевую щель щепка поступает на приводную сторону диска и затем удаляется из корпуса.

По способу подачи древесины различают машины с наклонным и горизонтальным направляющим патроном; по способу удаления щепы – с верхним и нижним выбросом.

Производительность рубительной машины Q , м³/ч, плотной древесины определяется по формуле

$$Q = 47,1 d_p^2 \cdot n_{cp} \cdot l_{щ} \cdot z \cdot k_n \cdot k_l,$$

где d_p – среднеквадратичный диаметр перерабатываемых балансов, м; n_{cp} – средняя частота вращения вала рубительной машины, мин⁻¹; $l_{щ}$ – длина получаемой щепы, м; z – количество ножей на диске, шт.; k_n – коэффициент, учитывающий эффективность использования машинного времени (для тихоходных малоножевых машин принимается равным 0,7–1,0; для быстроходных многоножевых – 0,4–0,7 [6]); k_l – коэффициент неравномерности длины щепы (для малоножевых – 0,80–0,85; для многоножевых – 0,93–1,00).

Измельчению часто подвергаются балансы различного диаметра. Поэтому вводится понятие среднеквадратичного или эквивалентного диаметра. Среднеквадратичный (эквивалентный) диаметр перерабатываемых балансов d_p , м, определяется из выражения

$$d_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot d_i^2},$$

где λ_i – относительное содержание балансов диаметром d_i .

Среднюю частоту вращения вала рубительной машины n_{cp} , мин⁻¹, рассчитывается по формуле

$$n_{cp} = \frac{n_n + n_k}{2},$$

где n_n – номинальная (начальная) частота вращения вала до начала рубки, мин⁻¹; n_k – конечная частота вращения вала после рубки ($n_k = 0,9n_n$), мин⁻¹.

$$n_n = \frac{V_p}{\pi \cdot D_p},$$

где V_p – окружная скорость резания на среднем диаметре, проходящем через середину ножа, м/с (для малоножевых машин составляет 15–18 м/с, для многоножевых – 20–30 м/с); $D_p = 0,6D$ – средний диаметр резания (диаметр центра ножей), м.

Длина получаемой щепы $l_{щ}$, м, определяется как

$$l_{щ} = \frac{h}{\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2},$$

где h – расстояние от плоскости диска до режущей кромки ножа, м; α_1 – угол наклона загрузочного патрона в вертикальной плоскости; α_2 – угол наклона загрузочного патрона в горизонтальной плоскости.

Продолжительность рубки одного баланса τ_p , мин⁻¹, длиной L рассчитывается по формуле

$$\tau_p = \frac{L}{k_l \cdot n_{cp} \cdot l_{щ} \cdot z}.$$

При получении щепы из отходов деревообработки или при одновременной рубке нескольких балансов малого диаметра рекомендуется задаваться площадью поперечного сечения измельчаемой древесины. В этом случае

$$Q = 60F_p \cdot n_{\text{ср}} \cdot l_{\text{щ}} \cdot z \cdot k_{\text{п}} \cdot k_l,$$

где F_p – площадь поперечного сечения измельчаемой древесины, м².

В случае переработки нескольких балансов площадь поперечного сечения измельчаемой древесины определяется

$$F_p = 0,785m \cdot d_p^2,$$

где m – число одновременно измельчаемых балансов.

2.3. Расчет мощности привода рубительных машин

Мощность привода рубительной машины складывается из мощности холостого хода и полезной мощности. Мощность холостого хода расходуется на преодоление трения качения в роликоподшипниках, а в машинах с верхним выбросом щепы и на создание вентиляционного напора. Полезная мощность расходуется на рубку древесины, а в машинах с верхним выбросом щепы и на механическое выбрасывание щепы.

$$N = \frac{M_c \cdot n_n}{9554} = \frac{(M_x + M_{\text{пол}}) \cdot n_n}{9554},$$

где N – мощность привода рубительной машины, кВт; M_c – полный момент сил сопротивления, Н · м; n_n – номинальная частота вращения диска, мин⁻¹; M_x – мощность холостого хода, кВт; $M_{\text{пол}}$ – полезная мощность, кВт.

$$M_c = M_{\text{тр}} + M_{\text{в}} + M_{\text{р}} + M_{\text{м}},$$

где $M_{\text{тр}}$ – крутящий момент на преодоление сил трения в опорах, Н · м; $M_{\text{в}}$ – крутящий момент на создание вентиляционного напора, Н · м; $M_{\text{р}}$ – крутящий момент на преодоление сил сопротивления резанию, Н · м; $M_{\text{м}}$ – крутящий момент, затрачиваемый на механический выброс щепы, Н · м.

$$M_{\text{тр}} = f \cdot G \cdot g \cdot \frac{d_{\text{к}}}{2},$$

где f – коэффициент трения качения равный 0,02; G – вес ротора рубительной машины, кг; $d_{\text{к}}$ – диаметр окружности качения роликов, м.

$$M_{\text{тр}} = 1,8z_{\text{л}} \cdot F_{\text{л}} \cdot D_{\text{л}}^3 \cdot \left(\frac{n_{\text{н}}}{2}\right)^2 \cdot \chi,$$

где $z_{\text{л}}$ – количество лопаток на ободе диска; $F_{\text{л}}$ – площадь одной лопатки, м²; $D_{\text{л}}$ – диаметр, описываемый при вращении центром тяжести лопатки, м; χ – коэффициент сопротивления, учитывающий радиальное расположение лопаток ($\chi = 0,7$).

Крутящий момент на преодоление сил сопротивления резанию

$$M_{\text{р}} = \frac{d_{\text{р}}^2 \cdot z \cdot R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{8 \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2},$$

где $d_{\text{р}}$ – среднеквадратичный диаметр перерабатываемых балансов, м; z – число ножей; R_0 – удельное сопротивление резанию, определяемое по табл. 13, Н/м; k_1 , k_2 , k_3 – коэффициенты, учитывающие степень затупления ножей, влажность и температуру древесины (для острых ножей $k_1 = 1$, для затупленных – $k_1 = 1,25$; при влажности древесины 50–60% $k_2 = 1$, при влажности древесины 20–30% $k_2 = 1,1$; при переработке в щепу незамороженной древесины $k_3 = 1$, при переработке в щепу замороженной древесины $k_3 = 1,4$) [6].

Таблица 13

Значение удельного сопротивления резанию R_0

Порода древесины	Удельное сопротивление резанию, Н/м
Сосна	85 000–105 000
Ель	70 000–90 000
Береза	110 000–140 000
Осина	70 000–90 000
Бук	150 000–165 000

Крутящий момент, затрачиваемый на механический выброс щепы M_m , Н · м, рассчитывается по формуле

$$M_m = 0,27 \cdot 10^{-3} \cdot d_p^2 \cdot z \cdot l_{щ} \cdot \rho_{щ} \cdot D_l^2 \cdot n_n^2 \cdot \frac{1}{\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2},$$

где $\rho_{щ}$ – плотность щепы (древесины), кг/м³ [6].

2.4. Порядок расчета рубительных машин

1. Средний диаметр перерабатываемой древесины задается или вычисляется на основании заданного распределения балансов по размерам.

2. Из заданной производительности по табл. 11–12 принимается диаметр ножевого диска. Определяется средний диаметр резания. Принимается скорость резания на среднем диаметре и рассчитывается частота вращения вала рубительной машины.

3. Из формулы для определения производительности рубительной машины рассчитывается число ножей на диске рубительной машины, полученное значение округляется до целых чисел.

4. Определяется продолжительность рубки одного баланса максимального диаметра с длиной L .

5. Рассчитывается мощность привода рубительной машины, затрачиваемая на обеспечение бесперебойной работы предприятия.

3. ОБОРУДОВАНИЕ ДРЕВЕСНО-МАССНЫХ ЗАВОДОВ

3.1. Классификация дефибреров

Дефибреры предназначены для производства древесной массы – одного из наиболее распространенных полуфабрикатов, входящих в композицию массовых видов бумаг и картонов. Дефибрер состоит из камня, шахты и ванны. В шахту подаются определенной длины балансы, которые размещаются в ней параллельно оси вала. Древесина прижимается механизмами подачи к вращающемуся камню с абразивной поверхностью, частично погруженному в ванну с массой и орошаемому оборотной водой.

Сущность процесса дефибрирования заключается в расщеплении древесины на волокна и размоле волокон. По принципу действия дефибреры бывают периодического и непрерывного действия. В зависимости от способа прижима древесины к камню дефибреры делятся на гидравлические (прижим осуществляется с помощью гидропрессов); винтовые (прижим осуществляется вращающимся винтом); цепные (прижим осуществляется движущимися цепями); кольцевые (прижим осуществляется вращающимся зубчатым колесом). Из них прессовые относятся к дефибрерам периодического действия, остальные – к дефибрерам непрерывного действия.

Конструкции дефибреров характеризуются большим разнообразием и принципиально отличаются в части организации подачи балансов к рабочему органу – камню. Однако в ходе технического прогресса наибольшее развитие и распространение в промышленности получили только два типа дефибреров – цепные и двухпрессовые (табл. 14–15).

Таблица 14

Технические характеристики дефибреров

Наименование параметров	ДЦ-06	ДЦ-03А	ДЦ-04-1	ДП-03
1	2	3	4	5

Производительность по воздушно-сухой белой древесной массе при степени помола 65–70°ШР и разрывной длине 2900 м, т/сут.	20	40	55	100
Диаметр камня, м	1,5	1,8	1,8	1,8
Размеры балансов, мм:				
длина	1200±20	1200±20	1200±20	1500±20
диаметр	60–230	60–350	60–350	60–400

Окончание табл. 14

1	2	3	4	5
Мощность главного двигателя, кВт	1250	2500	3200	6300
Частота вращения вала, мин ⁻¹	300	250	300	300
Давление воды для sprысков, МПа	0,3–0,4	0,3–0,4	0,5–0,6	0,8–0,9
Габаритные размеры, м:				
длина (по оси вала)	7,85	8,74	8,86	13,34
ширина	4,40	6,82	6,82	9,45
высота (от уровня пола)	4,08	9,61	9,61	4,40
Масса, т	60,0	123,8	125,0	152,0

Таблица 15

**Технические характеристики дефибреров,
изготовленных фирмой Тампелла (Финляндия)**

Наименование параметров	Тип дефибрера						
	1510	1512	1515	1810	1812	1815	1816
Частота вращения камня, мин ⁻¹	250; 300	250; 300	250; 300	250; 300	250; 300	250; 300; 375	375
Диаметр камня, м	1575	1575	1575	1800	1800	1800	1800
Наибольшая окружная скорость камня, м/с	20,6; 24,7	20,6; 24,7	20,6; 24,7	23,5; 28,2	23,5; 28,2	23,5; 28,2; 35,3	35,3
Длина баланса, м	1,0	1,2	1,5	1,0	1,2	1,5	1,6
Площадь дефибрирования, м ²	1,79	2,18	2,68	2,10	2,55	3,15	3,35
Мощность двигателя, кВт	1690; 2060	2060; 2430	2430; 2950	2500; 2950	2950; 3540	3700; 4800; 5900	7400

**3.2. Расчет дефибреров. Определение
производительности дефибреров**

Исходной величиной для определения производительности дефибрера является удельный съём, который показывает количество древесной массы в граммах, снимаемой с 1 см^2 поверхности камня при его перемещении на 1 см. При повышении температуры в зоне дефибрирования и, следовательно, удельного расхода энергии удельный съём уменьшается в соответствии с уравнением

$$q = \alpha - 1,75 \cdot 10^6 \cdot (U - 800),$$

где q – удельный съём древесной массы, г/(см² · см); α – опытный коэффициент, зависящий от условий дефибрирования (для цепного дефибрера в зимних условиях $\alpha = 0,00276$; для двухпрессового в зимних условиях $\alpha = 0,0031$, в летних – $\alpha = 0,00285$); U – удельный расход энергии на дефибрирование кВт · ч/т воздушно-сухой древесной массы (для белой древесной массы $U = 1100 - 1300$ кВт · ч/т; для бурой древесной массы $U = 700 - 800$ кВт · ч/т).

С учетом геометрии поверхности камня производительность дефибрера составит

$$Q = 0,864 \cdot 10^5 \cdot q \cdot F_r \cdot V_k \cdot l \cdot m \cdot D_k \cdot \arcsin\left(\frac{B}{D_k}\right),$$

где Q – производительность дефибрера, т/сут; F_r – удельная радиальная проекция площади контакта абразивных зерен с древесиной, см²/см²; V_k – окружная скорость камня, м/с; l – длина балансов, м; m – количество подающих устройств; D_k – диаметр камня, м; B – ширина шахты дефибрера, м; $\arcsin\left(\frac{B}{D_k}\right)$ – дуга контакта балансов и камня, рад.

Используя данную формулу можно также по заданной производительности определить необходимую длину перерабатываемых балансов.

Абсолютная величина F_r может быть получена из табл. 16 в зависимости от относительной глубины погружения абразивных зерен в древесину (z/r) с учетом параметров насечки камня:

$$\text{– для спиральной шарошки } F_r = \left(\frac{F_r}{r^2 \cdot i_p}\right) \cdot 0,205 \cdot (1 - 0,326h \cdot N_n);$$

– для пирамидальной $F_r = \left(\frac{F_r}{r^2 \cdot i_p} \right) \cdot 0,205 \cdot (1 - 0,106h^2 \cdot N_n^2)$,

где $\left(\frac{F_r}{r^2 \cdot i_p} \right)$ – относительная величина проекции поверхности контакта абразивных зерен с древесиной; h – глубина насечки, см; N_n – номер шарошки.

Таблица 16

Относительная величина проекции поверхности контакта абразивных зерен с древесиной в зависимости от глубины погружения зерна в древесину

z/r	Относительная радиальная проекция $\frac{F_r}{r^2 \cdot i_p}$
0,067	0,00029
0,133	0,00086
0,200	0,00226
0,267	0,00472
0,333	0,00879
0,400	0,01558
0,467	0,02578
0,500	0,03200
0,533	0,04030

Окружная скорость камня V_k , м/с, определяется по формуле

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n}{60},$$

где n – частота вращения вала электродвигателя, мин⁻¹.

Для дефибреров периодического действия при расчете производительности необходимо учитывать периодичность его работы

$$Q_{пр} = Q \cdot k_{\tau},$$

где $Q_{пр}$ – производительность дефибрера периодического действия, т/сут; k_{τ} – коэффициент использования рабочего времени ($k_{\tau} = 0,98$).

3.3. Расчет мощности привода дефибрерного камня

Эффективная мощность расходуется на преодоление сопротивления относительно перемещению абразивов в зоне дефибрирования.

С учетом геометрии поверхности камня эффективная мощность составляет

$$N_{\text{эф}} = 0,9 \cdot 10^{-3} \cdot k_{\text{д}} \cdot F_r \cdot V_{\text{к}} \cdot l \cdot m \cdot D_{\text{к}} \cdot \arcsin\left(\frac{B}{D_{\text{к}}}\right),$$

где $N_{\text{эф}}$ – эффективная мощность, кВт; $k_{\text{д}}$ – сопротивление дефибрированию, Н/м².

Величина $k_{\text{д}}$ определяется прочностными свойствами древесины и зависит от температуры в зоне дефибрирования. В летний период при более высокой температуре $k_{\text{д}} = (900 - 950) \cdot 10^4$ Па, в зимний период $k_{\text{д}} = (1010 - 1060) \cdot 10^4$ Па.

Мощность дефибрирования может определяться также с использованием удельного расхода энергии, затрачиваемой на производство 1 т древесной массы:

$$N_{\text{эф}} = \frac{Q \cdot U}{24} \cdot \eta,$$

где Q – суточная производительность дефибрера, т/сут, воздушно-сухой древесной массы; U – удельный расход энергии, кВт · ч/т; η – коэффициент потерь мощности ($\eta = 0,94-0,96$).

3.4. Порядок расчета дефибреров

1. Определяется диаметр, тип и марка камня исходя из вида вырабатываемой продукции и рекомендаций, приведенных в [6, 7], а также из данных, представленных в табл. 17.

Таблица 17

Зависимость диаметра камня от производительности дефибрера

Производительность дефибрера, т воздушно-сухого волокна в сут.	Диаметр камня, мм
до 40	1500–1800
60–40	1800
60–100	1800–2200

Тип и номер шарошки, параметры насечки дефибрерного камня в зависимости от вида древесной массы выбираются по [5, 6].

2. Окружная скорость и частота вращения камня определяются из следующих рекомендаций (табл. 18).

Таблица 18

Зависимость окружной скорости камня от производительности дефибрера

Производительность дефибрера, т воздушно-сухого волокна в сут.	Окружная скорость нового камня, м/с (не менее)
20	20
40	23,5
40–100	28

Рассчитанная частота вращения камня n , мин^{-1} , округляется до ближайшего стандартного значения частоты вращения синхронного двигателя (обычно 250; 275; 300 мин^{-1}).

3. Принимается ширина шахты дефибрера: для цепного – не должна превышать 1200–1300 мм, для двухпрессового – 1000–1200 мм.

4. Исходя из заданной производительности определяется длина перерабатываемых балансов. Расчетная длина балансов должна быть 1250 мм при производительности 60 т/сут и 1500 мм при производительности 80–100 т/сут.

5. Далее рассчитывается эффективная мощность в зоне дефибрирования.

4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОРТИРОВАНИЯ ЩЕПЫ

4.1. Классификация оборудования для сортирования щепы

Известны различные типы сортировок щепы: пневматические каскадные сепараторы, обеспечивающие фракционирование щепы по объемному весу частиц, гидровакуумные – по плотности древесины, механические – по геометрическим размерам частиц. Механические сортировки подразделяются на барабанные и плоские, последние, в свою очередь, – на вибрационные (с круговыми или эллиптическими колебаниями сит в вертикальной плоскости) и гирационные (с круговыми колебаниями сит в горизонтальной плоскости). В целлюлозно-бумажном производстве преимущественное распространение получили гирационные сортировки как наиболее компактные, обеспечивающие стабильное качество сортирования и относительно высокую производительность в расчете на 1 м² просеивающей поверхности. Техническая характеристика гирационных сортировок представлена в табл. 19.

Таблица 19

Технические характеристики сортировок щепы

Наименование параметров	СЦМ-60 (СЦ-1М)	СЦ-120	СЦ-500-1	СЦ-800
1	2	3	4	5
Площадь верхнего сита, м ²	2,7	7,5	12,0	18,0
Размер отверстий сит				
верхнего	35	39	39; 55	39; 55
среднего	10	14	–	14; 14
нижнего	10	6	6/10; 6/10	6/8; 6/8
Коэффициент перфорации сит, %				
верхнего	73	75	75; 72	75; 72
среднего	57	57	–	57; 57
нижнего	48	50	50/48; 50/48	50/41; 50/41
Угол наклона сит, °				
верхнего	3	2	5	5
среднего	3	2	–	8
нижнего	3	2	10	10
Частота колебаний, мин ⁻¹	180	150	180	180
Амплитуда колебаний, мм	50	50	45–55	40–50
Объем циклона, м ³	–	–	20	28
Производительность (по насыпному объему)	60	120	450; 750	800; 1200

щепы), м ³ /ч				
--------------------------	--	--	--	--

Окончание табл. 19

1	2	3	4	5
Установленная мощность, кВт	3,0	5,5	15,0	22,5
Точность отсева фракций, %				
крупной (свыше 30)	45	55	55; 80	55; 80
мелочи (от -10 до +5)	30	25	15/25; 12/20	15/20; 12/18
опилок (от -5 до 0)	75	60	60/70; 55/65	60/70; 55/65
Масса, т	1,3	3,5	15,5	21,9
Габаритные размеры, м:				
длина	2,8	4,9	5,3	8,4
ширина	2,5	2,7	6,0	7,1
высота	1,7	2,0	8,7	11,0

Сущность процесса сортирования заключается в следующем. Щепа распределяется на сите слоем некоторой толщины. При круговых колебаниях сита элементарные слои скользят относительно друг друга и относительно сита, также совершая круговые колебания. Радиус абсолютной траектории слоев щепы убывает по мере удаления от сита вследствие уменьшения коэффициента сухого трения, который является функцией веса вышележащих слоев. Одновременно элементарные слои движутся в направлении наклона сита, поэтому траектории их движения приобретают петлеобразную форму. Относительные смещения элементарных слоев обеспечивают процесс самосортирования, т. е. опускание мелких частиц в нижние зоны.

Скольжение нижнего слоя относительно сита обуславливает процесс непосредственного прохождения мелких частиц через отверстия сит.

4.2. Расчет производительности и подбор оборудования для сортирования щепы

Часовая производительность сортировки щепы по насыпному объему определяется по формуле

$$Q = 3600 B \cdot H \cdot v,$$

где Q – часовая производительность сортировки щепы, м³/ч; B – ширина сортируемого слоя, м; v – скорость скольжения щепы по ситам, м/с.

Скорость скольжения щепы по ситам сортировок с углом наклона до 8° v , м/с, рассчитывается по эмпирической формуле

$$v = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 \cdot r \cdot \sin \alpha,$$

где n – частота колебаний ситового короба, мин⁻¹; r – амплитуда колебаний, м; α – угол наклона сит, °.

Качество сортирования щепы определяется точностью отсева отходных фракций, которая вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \frac{x}{X} \cdot 100,$$

где ε – точность отсева фракций, %; x – объем фракции в подрешетном продукте сортирования; X – объем фракции в исходной щепе.

4.3. Пример расчета сортировки гирационного типа

Вначале осуществляется расчет скорости скольжения щепы по ситам. При этом частота колебаний ситового короба принимается 180 мин⁻¹, амплитуда колебаний – 50 мм, угол наклона верхнего сита – 5°, нижнего сита – 5°.

$$v = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 180^2 \cdot 0,05 \sin 5^\circ = 0,212 \text{ м/с.}$$

Затем рассчитывается производительность сортировки. Ширина сортируемого слоя принимается 3 м, толщина – 0,20 м. Следовательно,

$$Q = 3600 \cdot 3 \cdot 0,2 \cdot 0,212 = 457,9 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Далее в соответствии с табл. 19 определяется, что требуемую производительность обеспечит сортировка типа СЩ-500-1.

5. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОРТИРОВАНИЯ БУМАЖНОЙ МАССЫ

5.1. Классификация оборудования для сортирования бумажной массы

Обеспечение необходимого качества продукции предполагает очистку целлюлозы и бумажной массы от разного рода загрязнений – минеральных и металлических включений, сучков, непровара, костры, сгустков и комков волокон. Существует множество видов и типоразмеров сортирующего оборудования. Для грубого сортирования массы, когда удалению подлежат включения большого размера: сучки, непровар, а также сорные включения применяют плоские сортировочные установки с вибрирующим ситом – сучко- и щеполовители, а также центробежные сортировочные установки (сучколовители) с цилиндрическим ситом. Тонкое сортирование массы имеет целью удаление пучков и узелков из бумагообразующих волокон, а также небольших частиц костры, луба. Тонкое сортирование осуществляется на центробежных, напорных и вибрационных цилиндрических сортировочных установках.

Для тонкого сортирования волокнистой массы выпускаются центробежные, напорные и вибрационные цилиндрические сортировки.

Центробежные сортировки типа СЦ обеспечивают высокую эффективность сортирования и применяются для тонкого сортирования практически всех видов волокнистой массы. Сортировки этого типа работают при относительно низком давлении на входе массы (0,015–0,030 МПа) и со свободным (без подпора) выходом сортированной массы и отходов. Поэтому регулирование работы центробежных сортировок может осуществляться только по потоку поступающей массы. Техническая характеристика центробежных сортировок представлена в табл. 20.

Таблица 20

Технические характеристики центробежных сортировок

Наименование параметра	СЦ-0,4-01	СЦ-1,0-01	СЦ-1,6-01	СЦ-2,6-01
1	2	3	4	5
Площадь сита, м ²	0,4	1,0	1,6	2,6
Максимальная концентрация сортируемой массы, %	2,5	2,5	2,5	2,5
Давление сортируемой	0,012–0,024	0,012–0,024	0,012–0,024	0,012–0,024

массы, МПа				
------------	--	--	--	--

Окончание табл. 20

1	2	3	4	5
Производительность по воздушно-сухому волокну, т/сут.:				
сульфитная целлюлоза при диаметре отверстий сита 2,2 мм (концентрация 1,2–1,4%)	25–30	60–80	90–125	150–200
древесная масса при диаметре отверстий сита 1,8 мм (концентрация 1,2–1,4%)	20–28	50–70	80–100	130–170
Давление разбавительной воды, МПа	0,035–0,040	0,035–0,040	0,035–0,040	0,035–0,040
Количество разбавительной воды, % от количества сортированной массы	10–30	10–30	10–30	10–30
Количество лопастей, шт.	6	8	8	10
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	1250	600	690	480
Мощность электродвигателя, кВт	22	30	75	100
Габаритные размеры, м				
длина	1,12	2,53	2,66	3,21
ширина	0,59	1,22	1,35	1,54
высота	1,04	1,70	2,05	2,28
Масса электродвигателем, т	0,51	2,20	2,80	3,77

В напорных сортировках истечение суспензии через сито происходит под действием перепада давления на нем. Отходы и сортированная масса из напорных сортировок выходят под давлением. Отечественное машиностроение выпускает следующие конструкции напорных сортировок: односитовые типа УЗ-01 с гидродинамическими лопастями на роторе, расположенными в зоне сортируемой массы, эти сортировки используются в основном перед бумаго- и картоноделательными машинами и именуется узлоловителями;

двухситовые типа УЗ-12 и СЗ-12 с гидродинамическими лопастями, расположенными в зоне сортируемой массы; односитовые типа УЗШ с гидродинамическими лопастями на роторе, расположенными в зоне сортированной массы, эти сортировки предназначены для сортирования загрязненной массы перед картоноделательной машиной и имеют ограниченное применение; односитовые типа СЦН с цилиндрическим ротором, предназначенные для сортирования различных видов массы при концентрации до 3%. Техническая характеристика сортировок представлена в табл. 21–23.

Таблица 21

Технические характеристики односитовых напорных сортировок

Наименование параметров	УЗ-01	УЗ-02
Площадь сита, м ²	0,64	1,17
Производительность по воздушно-сухому волокну, т/сут.	10–20	25–50
Максимальная концентрация сортируемой массы, %	1,3	1,3
Перепад давления, МПа	0,015–0,035	0,015–0,035
Наибольшее расчетное давление, МПа	0,5	0,5
Число лопастей ротора, шт.	2	2
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	300	300
Диаметр сита, мм	610	610
Высота сита, мм	335	610
Диаметр отверстий сита, мм	1,2–2,4	1,2–2,4
Мощность электродвигателя, кВт	5,5	10,0
Габаритные размеры, м		
длина	1,43	2,00
ширина	1,04	1,28
высота	1,50	1,99
Масса с электродвигателем, т	1,1	1,8

Таблица 22

Технические характеристики двухситовых напорных сортировок

Наименование параметров	УЗ-09	УЗ-12	УЗ-13	УЗ-15
1	2	3	4	5

Площадь сита, м ²	0,90	1,60	2,92	5,60
Производительность по воздушно-сухому волокну, т/сут.	30–60	45–110	60–200	100–400
Концентрация сортируемой массы, %	1,3	1,3	1,3	1,3
Перепад давления, МПа	0,02–0,05	0,02–0,05	0,02–0,05	0,02–0,05
Число лопастей ротора, шт.	4	4	4	6
Максимальное давление поступающей массы, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5
Расход разбавительной воды, л/мин	–	–	–	–
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	478	424	310	210

Окончание табл. 22

1	2	3	4	5
Диаметр отверстий сит, мм	1,4–2,4	1,4–2,4	1,4–2,4	1,4–2,4
Мощность электродвигателя, кВт	10	17	30	75
Габаритные размеры, м				
длина	1,58	2,20	2,60	4,01
ширина	1,30	1,32	1,74	3,03
высота	1,38	1,42	1,74	2,65
Масса, т	0,88	1,87	3,00	8,30

Таблица 23

Технические характеристики напорных сортировок с цилиндрическим ротором

Наименование параметров	СЦН-0,4	СЦН-0,9	СЦН-2,0
Площадь сита, м ²	0,45	0,9	2,00
Производительность по воздушно-сухому волокну, т/сут.	30–160	75–300	150–600
Максимальная концентрация сортируемой массы, %	до 3,0	до 3,0	до 3,0
Перепад давления в сортировке, МПа	до 0,04	до 0,04	до 0,04
Давление поступающей массы, МПа	0,07–0,40	0,07–0,60	0,07–0,46
Расход разбавительной 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
Размер отверстий сит, мм			
диаметр	1,2–3,0	1,2–3,0	1,2–3,0
ширина 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

Одним из наиболее перспективных и широко распространенных видов сортирующего оборудования являются напорные сортировки с цилиндрическим ситом. Такие установки могут использоваться как для грубого, так и для тонкого сортирования массы. В напорных сортировках прохождение волокнистой суспензии через сито происходит под действием перепада давления по обеим его сторонам. Эти установки бывают с одним и двумя ситовыми барабанами, горизонтальные и вертикальные (по расположению барабана), с различными формами ротора и лопастей. Наиболее высокой производительностью характеризуются односитовые сортировки с цилиндрическим ротором, снабженным гидродинамическими лопастями. Особая форма лопастей обеспечивает пульсацию давления в волокнистой суспензии, под действием которой происходит прохождение массы сквозь сито, а также осуществляется эффективная очистка его поверхности. Рассматриваемые сортировочные установки могут с успехом использоваться для сортирования целлюлозы, древесной и макулатурной массы. Наибольшая эффективность работы установок достигается при концентрации массы 1,5–3,0%.

5.2. Определение производительности сортировочных машин

Производительность установки для сортирования бумажной массы определяется по формуле

$$Q = C_0 \cdot e^{-\omega k} \cdot k \cdot F \cdot a \cdot n \cdot \mu \sqrt{\frac{2\Delta P}{\gamma}},$$

где Q – производительность сортировки, т/сут; C_0 – концентрация исходной волокнистой массы, г/дм³; ω – коэффициент пропорциональности; k – коэффициент перфорации; F – площадь сита сортировки, м²; a – коэффициент, связывающий удельную производительность с частотой пульсаций, зависящий от концентрации и вида массы, с; n – частота пульсаций массы, создаваемая лопастными механизмами, с⁻¹; μ – коэффициент расхода; ΔP – перепад давления на сите сортировки, Па; γ – плотность сортируемой бумажной массы (для волокнистой суспензии концентрацией 0,3–2,0% плотность составляет 1000 кг/м³), кг/м³.

Значения коэффициентов a и ω определяются с помощью табл. 24–25.

**Зависимость коэффициента a от вида
перерабатываемого волокнистого полуфабриката**

Вид волокнистого полуфабриката	Значение коэффициента a при концентрации массы, г/л				
	3	6	9	12	15
Товарная древесная масса	0,54	0,63	0,84	1,07	1,27
Товарная сульфатная беленая целлюлоза марки Б-11	0,325	0,51	0,62	0,49	0,40

Таблица 25

**Зависимость коэффициента ω от вида
перерабатываемого волокнистого полуфабриката**

Вид массы	Сортирующие машины	Значение коэффициента ω при концентрации массы, г/л											
		3				6				9			
		Диаметр отверстий сит, мм											
		2,4	2,0	1,6	1,4	2,4	2,0	1,6	1,4	2,4	2,0	1,6	1,4
Товарная древесная масса	Закрытого типа	4,55	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Центробежная сортировка	3,33	3,85	4,00	4,00	3,33	4,00	4,20	4,20	3,33	4,00	4,20	4,20
Товарная сульфатная целлюлоза	Закрытого типа	5,56	6,25	12,5	12,5	5,90	6,25	12,5	12,5	6,20	6,25	12,5	12,5
	Центробежная сортировка	–	–	–	–	4,16	4,16	5,00	5,00	3,60	3,60	5,00	5,00

Окончание табл. 25

Вид массы	Сортирующие машины	Значение коэффициента ω при концентрации массы, г/л							
		12				15			
		Диаметр отверстий сит, мм							
		2,4	2,0	1,6	1,4	2,4	2,0	1,6	1,4
Товарная древесная масса	Закрытого типа	5,55	5,00	5,00	5,00	5,55	5,00	5,00	5,00
	Центробежная сортировка	3,33	3,70	4,50	4,50	3,70	3,66	5,00	5,00
Товарная сульфатная целлюлоза	Закрытого типа	6,70	6,25	12,5	12,5	6,25	6,70	12,5	12,5
	Центробежная сортировка	3,85	3,85	5,00	5,56	3,33	3,85	5,00	5,00

Частота пульсаций создаваемых ротором n , с^{-1} , определяется как

$$n = \frac{n_0 \cdot f}{60},$$

где n_0 – частота вращения ротора сортировки, мин^{-1} ; f – количество лопастей у ротора, шт.

Коэффициент перфорации рассчитывается по формуле

$$k = \frac{\pi \cdot d^2}{2t_1 \cdot t_2},$$

где d – диаметр отверстий сита сортировки, мм; t_1 – шаг отверстий по горизонтали, мм; t_2 – шаг отверстий по вертикали, мм.

Коэффициент расхода определяется из выражения

$$\mu = \frac{k^{0,98}}{\sqrt{0,27g}}$$

При выборе параметров сита сначала задается диаметр отверстий, обеспечивающий необходимое качество сортирования. После этого определяется коэффициент перфорации, обеспечивающий максимальную производительность сортировки.

Экспериментально установлено, что связь между оптимальной величиной коэффициента перфорации и диаметром отверстий определяется линейной зависимостью

$$k = \alpha d \pm \beta,$$

где α и β – опытные коэффициенты, зависящие от вида массы и определяемые по табл. 26.

Таблица 26

Зависимость коэффициентов α и β от вида массы

Вид массы	Значение коэффициента α для		Значение коэффициента β для	
	сортировки закрытого типа	центробежной сортировки	сортировки закрытого типа	центробежной сортировки
Древесная масса	1,0	0,1	0	+0,06
Сульфитная целлюлоза	0,1	0,1	-0,06	+0,04
Сульфатная целлюлоза	0,1	0,05	-0,04	+0,16

5.3. Расчет мощности привода сортировочных машин

Расчет мощности привода сортировок производится с использованием теории подобия, при этом рассчитываемая сортировка сравнивается с известной, все параметры работы которой могут быть определены

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{l_2}{l_1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5,$$

где N_2 – мощность двигателя проектируемой установки, кВт; N_1 – мощность двигателя известной сортировки, кВт; l_2 и l_1 – длина перфорированной зоны ситового барабана у рассчитываемой и известной сортировки, м; n_2 – частота вращения ротора проектируемой сортировки, с^{-1} ; n_1 – частота вращения ротора известной сортировки, с^{-1} ; D_2 – внутренний диаметр ситового барабана проектируемой сортировки, с^{-1} ; D_1 – внутренний диаметр ситового барабана существующей сортировки, с^{-1} .

5.4. Порядок расчета оборудования для сортирования бумажной массы

1. Принимается размер и шаг отверстий сит сортировки. Затем определяется коэффициент перфорации.

2. Определяется коэффициент расхода и рассчитывается частота пульсаций массы, создаваемая лопастными механизмами.

3. Рассчитывается производительность сортирующей машины в соответствии с заданными условиями и определяется оптимальная степень перфорации сита сортировки.

4. С использованием теории подобия определяется мощность сортирующего оборудования.

6. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

6.1. Определение производительности бумагоделательной машины

Бумагоделательная машина является основным агрегатом, определяющим выработку и производительность бумажной фабрики. При установке новых машин надо ориентироваться на современные рабочие скорости для данного вида бумаги и оптимальную рабочую ширину бумагоделательной машины, которая является стандартизированной в соответствии с действующими форматами на бумажную продукцию. Основной формат газетной, типографской и других видов бумаги 840 мм, поэтому стандартом предусмотрена ширина машины, кратная 840 мм, например, 2520, 4200, 6300, 6720, 8400. Разрабатываются также проекты машин с обрезной шириной бумаги 10 080 мм.

Часовую производительность бумагоделательной машины, нетто P , кг/ч, определяют по формуле

$$P = 60 b \cdot v \cdot q \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где b – необрезная ширина бумажного полотна на накате, м; v – средняя рабочая скорость машины на накате, м/мин; q – масса 1 м² вырабатываемой бумаги, кг; k_1 – коэффициент, учитывающий холостой пробег машины из-за обрывов или машинный брак (обычно $k_1 = 0,98–0,95$);

k_2 – коэффициент выхода нетто товарной продукции из брутто всей машинной продукции или брак при отделке бумаги (в большинстве случаев $k_2 = 0,950–0,975$).

Величина коэффициентов k_1 и k_2 зависит от вида вырабатываемой бумаги, скорости машины, ее технического состояния и других факторов.

Расчетное количество эффективных рабочих часов всех бумагоделательных машин в сутки обычно принимается равным 23 ч, а расчетное количество эффективных рабочих дней бумагоделательных машин в году 345.

6.2. Определение основных параметров сеточного стола

Для определения основных параметров сеточного стола необходимо рассчитать удельную производительность или так называемый сьем воздушно-сухой бумаги с 1 м^2 площади сеточного стола.

Ширина сетки бумагоделательной машины B_c , мм, равна

$$B_c = \frac{100 \cdot (b_0 + 2c)}{100 - y} + 2 \cdot (a + d + e),$$

где b_0 – обрезаемая ширина бумаги (после обрезки кромок на перемотно-резательном станке), мм; c – ширина обрезаемых кромок (обычно $c = 20\text{--}25$ мм); y – общий процент усадки на машине по ширине бумажного полотна, зависящий от вида вырабатываемой бумаги;

a – ширина отсекаемых на сетке полосок-отсечек (обычно $a = 25\text{--}50$ мм); d – ширина устройств для ограничения разлива массы по ширине сетки (при декельном устройстве $d = 30\text{--}50$ мм, при ограничительных линейках $d = 5\text{--}10$ мм); e – ширина свободных кромок сетки (обычно $e = 20\text{--}50$ мм).

Как правило, ширина сетки больше обрезаемой ширины бумаги на $300\text{--}500$ мм. Для машин шириной 2520 , 4200 и 5880 мм принята стандартная ширина сеток, равная соответственно 2900 , 4700 и 6350 мм. Длина рабочей части грудного, регистровых и сетководущих валов обычно больше ширины сетки на $100\text{--}150$ мм.

Диаметр грудного вала D_1 , мм, и регистрового валика D_2 , мм, рассчитывается по формулам

$$D_1 = 0,08B_c + 275, \quad D_2 = 0,047B_c,$$

где B_c – ширина сетки, мм.

Длина сетки определяется расчетным путем, исходя из площади сеточного стола. Площадью сеточного стола $F_{ст}$, м^2 , принято считать площадь, определяемую необрезаемой шириной b бумаги на накате и длиной l сеточного стола (расстояние между осями грудного и нижнего гауч-вала):

$$F_{ст} = b \cdot l.$$

Пользуясь величиной удельного съема бумаги с 1 м^2 площади сеточного стола, определяется

$$F_{ст} = \frac{P}{S_c},$$

или

$$b \cdot l = \frac{60 b \cdot v \cdot q}{S_c}.$$

Откуда

$$l = \frac{60 v \cdot q}{S_c},$$

где S_c – удельный съём бумаги на сеточной части машины, кг/(м² · ч).

Длина сетки l_c на машинах в 2,15–2,25 раза больше длины сеточного стола, а при наличии пересасывающего устройства она возрастает еще примерно на 2,5–3,5 м.

Нормы удельных съёмов для различных видов бумаги разные и зависят от многих факторов: скорости машины, свойств бумажной массы и ее температуры, количества и конструкции регистровых валиков, гидропланок и т. п. Эти нормы изменяются в широких пределах и приведены в табл. 27.

Таблица 27

Удельные съёмы бумаги на сеточной и воды на сушильной части бумагоделательной машины

Вид бумаги	Масса 1 м ² , кг	Скорость машины, м/мин	Удельный съём бумаги на сеточном столе, кг/(м ² · ч)	Удельный съём воды с рабочей сушильной поверхности, кг/(м ² · ч)
1	2	3	4	5
Газетная	0,051	500–650 700–750 750–900	140–150 150–160 160–170	20–22 23–25 23–25
Писчая и типографская № 1	0,060–0,063 0,070–0,080	350–450 300–500	80–90 85–100	17–18 17–18
Писчая и типографская № 2 и 3	0,062–0,065	400–600	95–110	19–21
Обойная	0,080–0,120	250–300	100–110	21–25
Офсетная, для глубокой печати и др.	0,090–0,160	250–400	90–100	16–18

Чертежная, основа для фотоподложки	0,012–0,200	50–100	50–65	16–17
Пергамин	0,040	100–200	50–60	14–16
Чертежная прозрачная	0,040–0,090	30–50	10–15	5–6
Папиросная	0,014–0,016	100–200	15–20	10–12
Конденсаторная	0,008–0,015	30–50	2–4	2,5–4
	0,016–0,027	50–80	4–6	5–8
Кабельная, патронная	0,100–0,160	60–100	25–35	16–18

Окончание табл. 27

1	2	3	4	5
Мешочная	0,070–0,080	300–450	105–120	26–30
	0,070–0,080	500–700	125–160	26–30
Односторонней гладкости (афишная, билетная)	0,020–0,070	100–200	30–50	30–45
Санитарно-гигиенические виды бумаги	0,012–0,018	300–600	60–75	80–100
	0,012–0,018	700–900	80–110	100–120

6.3. Определение числа отсасывающих ящиков

Суммарная площадь отсасывающих ящиков $F_{\text{общ}}$, м², подсчитывается, исходя из удельных съемов бумаги с 1 м² общей поверхности ящиков, по формуле

$$F_{\text{общ}} = b \cdot b_{\text{отс}} \cdot n = \frac{P}{S_{\text{отс}}},$$

откуда

$$n = \frac{P}{S_{\text{отс}} \cdot b \cdot b_{\text{отс}}},$$

где b – ширина бумаги на накате, м; $b_{\text{отс}}$ – ширина одного отсасывающего ящика (чаще всего $b_{\text{отс}} = 0,28–0,30$ м); n – число отсасывающих ящиков; P – часовая производительность машины (брутто), кг/ч; $S_{\text{отс}}$ – удельный съем бумаги с общей поверхности отсасывающих ящиков, кг/(м² · ч).

6.4. Определение производительности вакуум-насосов для отсасывающих ящиков и отсасывающих валов

Для создания вакуума в отсасывающих ящиках применяются ротационные водокольцевые вакуумные насосы и турбовоздуходувки. Производительность вакуумных насосов W рассчитывают по формуле

$$W = \frac{P \cdot b \cdot v}{1000},$$

где P – удельная производительность, л/мин; b – ширина машины, м; v – скорость машины, м/мин.

В табл. 28 приведены значения P для вакуумных насосов, устанавливаемых на бумагоделательных машинах.

Таблица 28

Удельная производительность вакуумных насосов

Место установки вакуум-насосов	P , л/мин	Величина вакуума, $1 \cdot 10^4$ Па
Отсасывающие ящики	14–18	1,96–2,94
Гауч:		
первая камера	30	4,90–5,40
вторая камера	50	6,87–7,36
Пересасывающий вал	30	4,90–6,87
Первый пресс	30	5,90–6,87
Второй пресс	35	5,90–6,87

6.5. Определение типа напорного ящика

Между скоростью истечения массы v_m и напором h существует зависимость

$$v_m = k_c \cdot k_m \cdot v = 60\mu\sqrt{2gh},$$

откуда

$$h = \left(\frac{k_c \cdot k_m}{60\mu} \right)^2 \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ м,}$$

где k_c – коэффициент отставания скорости сетки от скорости бумаги на накате (0,85–0,95); k_m – коэффициент отставания массы от сетки (0,9–1,0); v – скорость бумажной ленты на накате, м/мин; μ – коэффициент истечения (для напорных ящиков с конической выпускной губой равен 0,90–0,95); g – ускорение силы тяжести,

равное $9,81 \text{ м/с}^2$; h – высота напора массы перед выпускной щелью (считается до середины щели), м.

Ширина выпускной щели a , м, напорного ящика определяется из выражения

$$Q = l \cdot a \cdot v_m \cdot \mu = l \cdot a \cdot \mu^2 \cdot 60 \sqrt{2gh},$$

откуда

$$a = \frac{Q}{60l \cdot \mu^2 \sqrt{2gh}},$$

где Q – количество массы, поступающей на сетку (берется из расчета баланса воды и волокна), $\text{м}^3/\text{мин}$; l – длина выпускной щели, м.

При высоте напора массы более 1,5 м устанавливают напорные ящики закрытого типа.

6.6. Расчет сушильной части бумагоделательной машины

Определение числа сушильных цилиндров и сушильной поверхности. Для определения необходимой поверхности сушильных цилиндров пользуются методом удельных съёмов воды W_1 , $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$, в сушильной части ($\text{кг}/\text{ч}$), испаренной с 1 м^2 поверхности контакта бумаги с сушильными цилиндрами (рабочей поверхности сушильной части):

$$W_1 = R \cdot P_1 = \frac{T_k - T_n}{T_n} \cdot \frac{60v \cdot q}{l_1} = \frac{T_k - T_n}{T_n} \cdot \frac{60v \cdot q}{\pi \cdot d \cdot n \cdot \alpha},$$

где R – количество воды, испаряемой на сушильной части, приходящейся на 1 кг высушенной бумаги, кг ; P_1 – съём бумаги с 1 м^2 греющей поверхности, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$; T_k – конечная сухость бумаги (после сушильной части), %; T_n – начальная сухость бумаги (перед сушильной частью), %;

l_1 – длина бумажного полотна, находящегося на сушильных цилиндрах, т. е. сумма длин дуг сушильных цилиндров, обхваченных бумагой (определяется аналитическим методом подсчета), м. Число бумагосушильных цилиндров рассчитывается по формуле

$$n = \frac{60v \cdot q \cdot (T_k - T_n)}{\pi \cdot d \cdot \alpha \cdot T_n \cdot W_1} = 19,1 \frac{v \cdot q \cdot (T_k - T_n)}{d \cdot \alpha \cdot T_n \cdot W_1},$$

где v – скорость бумаги на накате, м/мин; q – масса 1 м² вырабатываемой бумаги, кг; d – диаметр бумагосушильных цилиндров, м; α – коэффициент обхвата сушильных цилиндров бумагой (обычно $\alpha = 0,60–0,67$).

Рабочая F_p , м², и боковая поверхности F_o , м², бумагосушильных цилиндров определяются по формулам

$$F_p = b \cdot l_1 = b \cdot \pi \cdot d \cdot n \cdot \alpha,$$

$$F_o = \pi \cdot d \cdot n \cdot L = \frac{F_p}{K},$$

где b – необрезная ширина бумаги на накате, м; L – длина бумагосушильного цилиндра, м; K – соотношение между общей рабочей и боковой поверхностью сушильных цилиндров ($K = 0,57–0,64$).

Число сукносушильных цилиндров n_1 (при одинаковом диаметре с бумагосушильными цилиндрами) определяется из выражения

$$n_1 = \frac{\varepsilon \cdot n}{100},$$

где ε – отношение боковой поверхности сукносушильных цилиндров к боковой поверхности бумагосушильных цилиндров, %. Этот коэффициент берется из справочных материалов. Для быстроходных машин и машин, вырабатывающих массовые виды бумаги, он составляет 25–30%. Количество сукносушильных цилиндров должно быть кратным числу сушильных групп по сукнам.

Разбивка сушильных цилиндров по группам производится в зависимости от вида вырабатываемой бумаги и степени ее усадки, причем количество групп по приводу обычно бывает вдвое меньше количества групп по сушильным сукнам, т. к. одна приводная группа включает обычно два сушильных сукна – верхнее и нижнее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников, В. Л. Бумага и картон из волокнисто-полимерных композиций / В. Л. Колесников. – Минск: БГТУ, 2004. – 274 с.
2. Черная, Н. В. Проклейка бумаги и картона в кислой и нейтральной средах / Н. В. Черная, А. И. Ламоткин. – Минск: БГТУ, 2003. – 345 с.
3. Колесников, В. Л. Математические основы компьютерного моделирования химико-технологических систем / В. Л. Колесников. – Минск: БГТУ, 2003. – 312 с.
4. Курсовое и дипломное проектирование оборудования предприятий целлюлозно-бумажной промышленности / под. ред. А. Д. Зубец, В. А. Бабинский, Р. С. Шмеркин, Б. М. Гогерман. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 175 с.
5. Оборудование целлюлозно-бумажного производства / под. ред. В. А. Чичаев, А. А. Васильев, И. А. Васильев и др. – М.: Лесная промышленность, 1981. – Т. 1. – 368 с.
6. Гаузе, А. А. Оборудование для подготовки бумажной массы / А. А. Гаузе, В. Н. Гончаров, И. Д. Кугушев. – М.: Экология, 1992. – 352 с.
7. Ласкеев, П. Х. Производство древесной массы / П. Х. Ласкеев. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 560 с.
8. Горські, Г. М. Тэхналогія паперы і кардону / Г. М. Горські. – Минск: БДТУ, 2003. – 244 с.
9. Лаптев, В. Н. Практикум по технологии и оборудованию целлюлозно-бумажного производства / В. Н. Лаптев, М. В. Ванчаков. – М.: Экология, 1991. – 208 с.
10. Справочник бумажника. – М.: Лесная промышленность, 1964. – Т. 1. – 843 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Содержание расчетно-пояснительной записки и графической части курсовой работы	4
1. Оборудование для окорки древесины	6
1.1. Классификация окорочных барабанов	8
1.2. Расчет производительности окорочных барабанов	8
1.3. Расчет мощности привода окорочных барабанов	13
1.4. Порядок расчета основных параметров окорочных барабанов	14
2. Оборудование для измельчения древесины в щепу	15
2.1. Классификация дисковых рубительных машин	15
2.2. Расчет производительности дисковых рубительных машин ...	18
2.3. Расчет мощности привода рубительных машин	20
2.4. Порядок расчета рубительных машин	22
3. Оборудование древесно-массных заводов	23
3.1. Классификация дефибреров	23
3.2. Расчет дефибреров. Определение производительности дефибреров	24
3.3. Расчет мощности привода дефибрерного камня	26
3.4. Порядок расчета дефибреров	27
4. Оборудование для сортирования щепы	29
4.1. Классификация оборудования для сортирования щепы	29
4.2. Расчет производительности и подбор оборудования для сортирования щепы	30
4.3. Пример расчета сортировки гирационного типа	31
5. Расчет оборудования для сортирования бумажной массы ..	32
5.1. Классификация оборудования для сортирования бумажной массы	32
5.2. Определение производительности сортировочных машин	36
5.3. Расчет мощности привода сортировочных машин	38
5.4. Порядок расчета оборудования для сортирования бумажной массы	39

6. Расчет параметров бумагоделательной машины	40
6.1. Определение производительности бумагоделательной машины ..	40
6.2. Определение основных параметров сеточного стола	40
6.3. Определение числа отсасывающих ящиков	43
6.4. Определение производительности вакуум-насосов для отсасывающих ящиков и отсасывающих валов	43
.	44
6.5. Определение типа напорного ящика	45
6.6. Расчет сушильной части бумагоделательной машины	47
Литература	

