

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

С. Н. Вихарев

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ БУМАЖНОЙ МАССЫ

Учебное пособие

Екатеринбург
УГЛТУ
2026

УДК 676.1.022.1:688.743.54

ББК 43.904

В54

Рецензенты:

кафедра машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, профессор, д-р техн. наук *Ю. Д. Алашкевич*;

В. П. Сиваков, д-р техн. наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета

Вихарев, Сергей Николаевич.

В54 Технология и оборудование подготовки бумажной массы : учебное пособие / С. Н. Вихарев ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. – 90 с.

ISBN 978-5-94984-994-1

В учебном пособии рассмотрены технология и оборудование для подготовки бумажной массы, окорки и рубки древесины, размола волокнистых материалов. Также изложена теория процессов, классификация и конструкция оборудования для подготовки бумажной массы.

Предназначено для обучающихся, осваивающих образовательные программы по направлениям «Технологические машины и оборудование», «Машины и оборудование лесного комплекса», «Машины и оборудование целлюлозно-бумажных производств», а также для специалистов лесопромышленного комплекса.

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 676.1.022.1:688.743.54

ББК 43.904

ISBN 978-5-94984-994-1

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет», 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Технология и оборудование окорки древесины.....	4
1.1. Требования к окорке древесины.....	4
1.2. Основы теории окорки древесины в корообдирочном барабане	6
1.2.1. Фрикционная окорка.....	6
1.2.2. Кинетика окорки и потери древесины	11
1.2.3. Сухая окорка древесины.....	14
1.3. Определение необходимого времени пребывания балансов в барабане.....	15
1.4. Конструкция и принцип работы корообдирочных барабанов	19
1.4.1 Классификация, устройство и принцип работы	19
1.4.2. Конструкции основных узлов.....	23
Корпус и бандажи барабана	23
Привод	24
Опорные станции.....	26
Затвор барабана	29
Паровой коллектор и колпак	30
2. Технология и оборудование производства щепы из балансов.....	31
2.1. Основные показатели технологической щепы.....	31
2.2. Классификация рубительных машин	32
2.3. Устройство и принцип работы дисковых рубительных машин.....	35
2.4. Основные типы дисковых рубительных машин, анализ их конструкций и работы	38
2.4.1. Рубительные машины с наклонными и горизонтальными дисками.....	38
2.4.2. Рубительная машина с безударным выбросом щепы	39
2.4.3. Рубительная машина с эвольвентными ножами.....	42
2.4.4. Рубительные машины для получения щепы с заданными размерами	43
2.4.5. Новые рубительные машины.....	47
2.4.6. Анализ конструкций и работы дисковых рубительных машин.....	56
3. Технология и оборудование размола волокнистых материалов	58
3.1. Основные стадии процесса размола волокнистых полуфабрикатов.....	58
3.2. Принцип работы и систематизация размалывающих машин.....	59
3.3. Конструкции ножевых размалывающих машин.....	64
3.4. Принцип работы и систематизация конструкций безножевых машин для дороспуска и размола бумажной массы.....	71
3.5. Конструкции машин для дороспуска и размола бумажной массы...	73
3.6. Безножевое размалывающее оборудование	85
Список использованной литературы.....	89

1. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ОКОРКИ ДРЕВЕСИНЫ

1.1. Требования к окорке древесины

Окорка древесины относится к одной из наиболее дорогих и трудоемких операций, технология которой зависит от свойств и состояния коры на древесине. Вследствие этого процесс окорки древесины организуется с учетом особенностей структуры, механической прочности коры, сил ее сцепления с древесиной.

Древесная кора содержит смолу, жиры и красящие вещества, которые являются нежелательными включениями при производстве бумаги и картона. При производстве целлюлозы кора поглощает в два раза больше химикатов, чем древесина, вызывая при этом их повышенный расход. Повышается содержание частиц сора в древесной массе. Эти частички сора трудно отделить при сортировании и обесцветить при отбелке целлюлозной массы. Кора является источником загрязнений минерального происхождения. При наличии таких загрязнений ухудшается работа оборудования для очистки, происходит повышенный износ оборудования и трубопроводов. Кора имеет не волокнистое строение, и это снижает механические свойства бумаги картона при ее наличии в волокнистом полуфабрикате. Известна грубая и чистая окорка древесины. При грубой окорке частично снимается кора и луб. Чистая окорка необходима для производства высококачественной целлюлозы и белых видов бумаги и картона. В газетной бумаге допускается остаточное содержание луба до 10...15 %. При производстве крафт-целлюлозы, полуцеллюлозы и бурой древесной массы может применяться древесина с полностью оставленным лубом [1].

Степень окорки бревен определяется процентом окоренной поверхности:

$$\text{С. О.} = \frac{S - S_1}{S} \cdot 100, \quad (1)$$

где S – площадь боковой поверхности бревен;

S_1 – неокоренная площадь боковой поверхности бревен.

Степень окорки бревен зависит от выпускаемой продукции и в нормативных документах определяется показателем засоренности щепы корой (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Допускаемая засоренность щепы корой [2]

Назначение технологической щепы	Засоренность щепы корой, $K_{щ}$, %
Сульфитная целлюлоза и древесная масса для бумаги с регламентируемой сорностью	1,0
Сульфитная целлюлоза и древесная масса для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью, сульфатная и бисульфатная целлюлоза для бумаги и картона с регламентируемой сорностью	1,5
Сульфатная целлюлоза и различные виды полуцеллюлозы для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью	3,0
Древесноволокнистые и древесностружечные плиты	15,0

Другим не менее важным выходным параметром, характеризующим процесс окорки, является величина потери древесины при окорке, %

$$\Pi = 100 \cdot V_n / V, \quad (2)$$

где V_n – объем древесины, уходящий с отходами из окоряющей машины, м^3 ;

V – объем переработанной древесины, м^3 .

Степень окорки, %, в зависимости от засоренности щепы которой, может быть вычислена по следующей формуле:

$$\text{С. О.} = \frac{100(K_u - K_{щ})}{K_u}, \quad (3)$$

где $K_{щ}$ – засоренность щепы корой, %;

K_u – содержание коры в общем объеме лесоматериалов до окорки, %.

Содержание коры на древесине зависит от породы, возраста и условий произрастания дерева. Средние данные по содержанию коры приведены в табл. 1.2. Толщина коры зависит от породы, возраста, условий произрастания дерева и места расположения коры на стволе. Зависимость толщины коры от диаметра ствола показана в табл. 1.3.

Таблица 1.2

Содержание коры на древесине [3]

Порода древесины	Объем коры от объема ствола, $K_{ц}$, %
Сосна	10...12
Ель	7...10
Береза	13...15
Осина	14...15
Лиственница	18...25

Таблица 1.3

Толщина коры различных пород древесины [3]

Порода древесины	Место измерения*	Толщина коры, мм, при диаметре бревна, см					
		12	20	28	36	44	48
Сосна	к	2,0	2,8	5,0	12,0	16,0	20,0
	с	1,8	2,2	3,0	5,0	6,5	—
Ель	к	3,0	4,0	4,5	6,0	9,0	10,0
	с	3,0	3,8	7,5	6,5	7,0	—
Береза	к	4,0	6,5	7,5	11,0	14,0	16,0
	с	4,0	6,0	7,5	11,0	—	—
Осина	к	—	—	10,0	12,0	14,0	15,0
	с	4,2	7,0	11,0	12,0	14,0	15,0

Примечание: * к – комель дерева; с – середина дерева.

1.2. Основы теории окорки древесины в корообдирочном барабане

1.2.1. Фрикционная окорка

Удаление коры с древесины этим способом осуществляется за счет сил трения балансов друг о друга и о стенки машин, возникающих при движении беспорядочно или параллельно уложенной массы балансов. В основу этого метода окорки положено использование фрикционных

свойств коры. Он получил широкое распространение в ЦБП. К числу наиболее распространенных фрикционных окорочных машин относятся корообдирочные барабаны (КБ).

В качестве окорочного инструмента в этих машинах используется сама древесина, что выгодно отличает их от других применяемых в промышленности машин, оборудованных различными режущими или скалывающими кору инструментами. Процесс окорки трением является следствием дискретного взаимодействия поверхностей древесины, обусловленного действием нормальных сил N и тангенциальных усилий F , возникающих в плоскости контакта балансов. Процесс окорки трением зависит от характера фрикционной связи трущихся поверхностей и давления в зоне окорки

$$F = N \cdot f, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения скольжения балансов друг о друга.

На процесс окорки существенное влияние оказывают механические особенности коры и форма балансов, обуславливающая геометрию трущихся поверхностей и площадь их контакта. В процессе взаимодействия трущиеся элементы непрерывно деформируются. Взаимодействие сил трения характеризуется преимущественно деформацией поверхностных слоев коры, обусловленной взаимным внедрением неровностей, имеющих на соприкасающихся поверхностях, а также упругим и пластическим оттеснением коры по границе ее связи с заболонью. Таким образом, работа сил трения расходуется на механический гистерезис и частично на износ коры, в основе которого лежит усталостное разрушение ее поверхностного слоя в результате многократных деформаций взаимодействующих элементов.

Следует иметь в виду, что трущиеся поверхности балансов содержат сучки, выступы, впадины, наросты. Поэтому в начале процесса окорки поверхности соприкасаются небольшим количеством точек, трение носит локальный характер и сопровождается большим давлением. Однако по мере разрушения неровностей площадь контакта между балансами увеличивается, и давление между ними снижается. Одновременно с этим на древесине обнажаются менее прочные слои коры, требующие меньших усилий для разрушения их связей. Таким образом, усилие трения древесины в процессе окорки спонтанно согласовывается с изменением состояния древесины и ее способностью окоряться. Подобными свойствами не обладает ни один из других применяемых промышленностью методов окорки.

Возрастание площади контакта балансов может быть выражено величиной относительного сближения [4]

$$\varepsilon = \frac{a}{h_{\max}}, \quad (5)$$

где $h_{\max}$ – высота максимального выступа, мм;

a – сближение, равное деформации наиболее высокого выступа, мм.

Значения сближения a непрерывно изменяются и стабилизируются только в конце процесса окорки. Эти значения зависят от породы, возраста, формы стволов, качества зачистки сучьев. Вследствие этого непрерывно изменяются элементы фрикционной связи и характер трения. Так, например, значение коэффициента трения скольжения f по мере удаления коры резко увеличивается, одновременно с этим изменяется характер связи трущихся поверхностей и увеличивается доля коры, отделяемая методом сдвига и скалывания.

После удаления с балансов 60...65 % коры коэффициент f снижается в несколько раз. Объяснение такому изменению следующее: после частичной окорки древесины сцепление трущихся поверхностей происходит с помощью острых выступов торцов коры. По мере сглаживания торцов и уменьшения их количества сила этого сцепления уменьшается. При удалении 80...85 % коры фрикционные свойства балансов настолько снижаются, что дальнейшая их окорка становится затруднительной [4] (рис. 1.1).

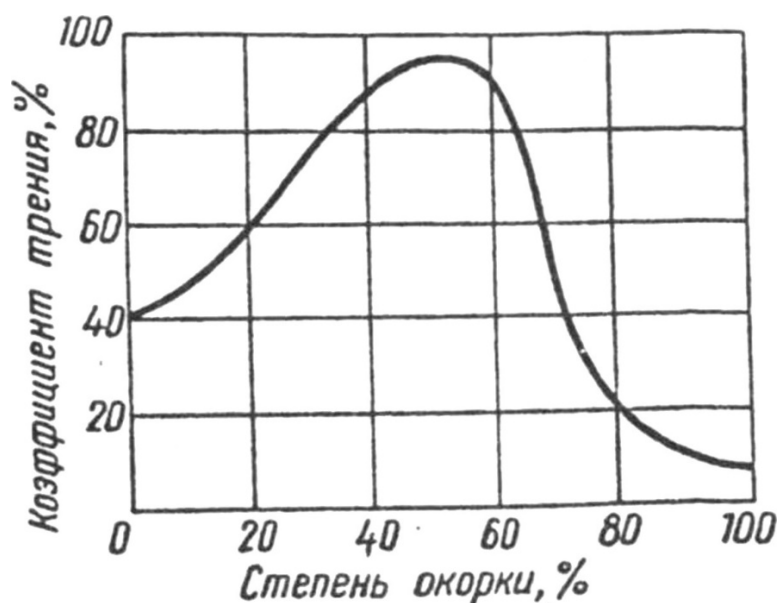


Рис. 1.1. Изменение коэффициента трения в зоне окорки в зависимости от степени удаления коры с поверхности балансов

Тангенциальные усилия F расходуются на упругое, пластическое оттеснение, скалывание и срез коры. Изменение давления в зоне окорки в зависимости от загрузки КБ представлено на рис. 1.2.

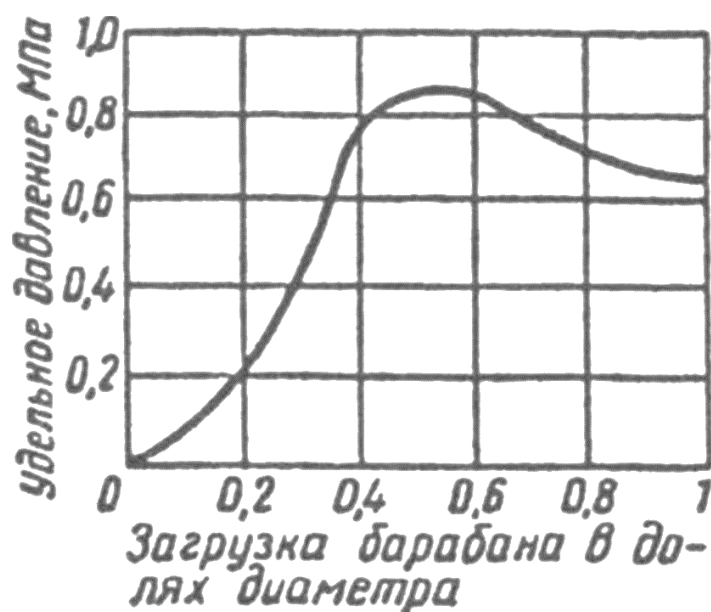


Рис. 1.2. Изменение давления между балансами в зоне окорки

В машинах с параллельной укладкой движение балансов происходит в основном в нижней и средней зонах. Давление создается массой вышерасположенной древесины. Площадь контакта при параллельной укладке балансов значительно выше, чем при беспорядочной укладке. Фактически площадь контакта зависит от формы балансов и резко уменьшается в случае наличия на них сучков, кривизны, выступов и впадин. Поэтому параллельная окорка целесообразна только для хвойной древесины, которая имеет более или менее правильную форму ствола [3].

Анализируя вышесказанное, можно выделить следующие особенности фрикционной окорки в КБ [4]:

1) работа сил трения в зоне окорки происходит за счет давления балансов и абразивных свойств коры, характеризующихся коэффициентами трения;

2) работа сил трения при окорке влажной древесины с толстой корой в основном расходуется на скалывание. При окорке древесины с тонкой корой преобладает пластическое оттеснение коры. Окорка древесины с сухой корой, прочно сцепленной с древесиной, во всех случаях производится истиранием при многократном воздействии;

3) давление в зоне окорки зависит от величины загрузки древесины и интенсивности ее движения в КБ. Удельное давление снижается

при сближении трущихся поверхностей и повышении площади контактов. Таким образом, давление в зоне окорки спонтанно регулируется по мере удаления коры с древесины и предохраняет древесину от повреждений;

4) коэффициент трения между балансами в широких пределах изменяется в зависимости от физических особенностей коры, направления движения балансов, давления и влажности. Кора лиственной древесины имеет более низкие коэффициенты трения, чем кора хвойной древесины. Поэтому перед окоркой целесообразно повысить шероховатость коры лиственной древесины путем механических надрезов.

При повышении давления до 0,3...0,5 МПа коэффициент трения несколько увеличивается за счет вдавливания неровностей. При дальнейшем повышении давления коэффициент трения не изменяется. После удаления примерно 60 % коры коэффициент трения уменьшается. При удалении 85...90 % коры трение в зоне окорки снижается до пределов, делающих дальнейшую окорку балансов экономически нецелесообразной;

5) при окорке короткомерного баланса преобладает ударная нагрузка за счет скольжения балансов в верхней зоне. Около 70 % балансов трется под углом 30...60°, 15 % – поперек и 15 % – вдоль оси баланса. Поверхности балансов контактируют за счет вписывания неровностей во впадины, благодаря чему хорошо окоряется кривая, сучковатая и неправильной формы древесина. Однако при окорке короткомерных балансов сильно размочаливаются их торцы и ломаются тонкие балансы. Наилучшие условия трения и окорки балансов в КБ обеспечиваются при соотношении диаметра барабана и длины окашиваемых бревен в пределах 2,5...3,0;

6) эффект фрикционной окорки находится в сильной зависимости от механической прочности коры и сил ее сцепления с древесиной. Внешним признаком, определяющим эти ее свойства, является влажность коры. С повышением влажности механическая прочность коры и силы ее сцепления с древесиной снижаются, поэтому подсушенную древесину желательно предварительно замочить в воде или увлажнить в процессе окорки.

1.2.2. Кинетика окорки и потери древесины

КБ относятся к числу наиболее распространенных окорочных машин, рассчитанных на массовую окорку древесины. С помощью КБ в ЦБП осуществляется окорка более 90 % всего перерабатываемого сырья. Широко используются КБ для окорки короткомерных балансов с беспорядочным их расположением в процессе окорки. Соотношения между диаметром барабана и длиной окоряемого баланса в КБ представлены ниже [4].

Диаметр барабана, м	3,5	4,2	5	6
Длина баланса, м	1,2...1,8	1,6...2,3	2,0...2,5	2,0...2,5

Балансы в КБ перемещаются вдоль его оси и по окружности барабана. При этом кора на балансах отделяется в результате ударов, сжатия, разрывания. Характер распределения деформаций по зонам КБ представлен на рис. 1.3. Оптимальные условия окорки древесины при беспорядочной загрузке создаются при заполнении КБ на 60 %. Однако следует иметь в виду, что степень заполнения сечения КБ изменяется по его длине, постепенно снижаясь в сторону выхода. Поэтому для обеспечения постоянной степени загрузки целесообразно применять конструкции КБ с каскадным размещением секций. Производительность таких КБ на 10...15 % выше, чем в обычных барабанах с секциями, смонтированными на одном уровне.

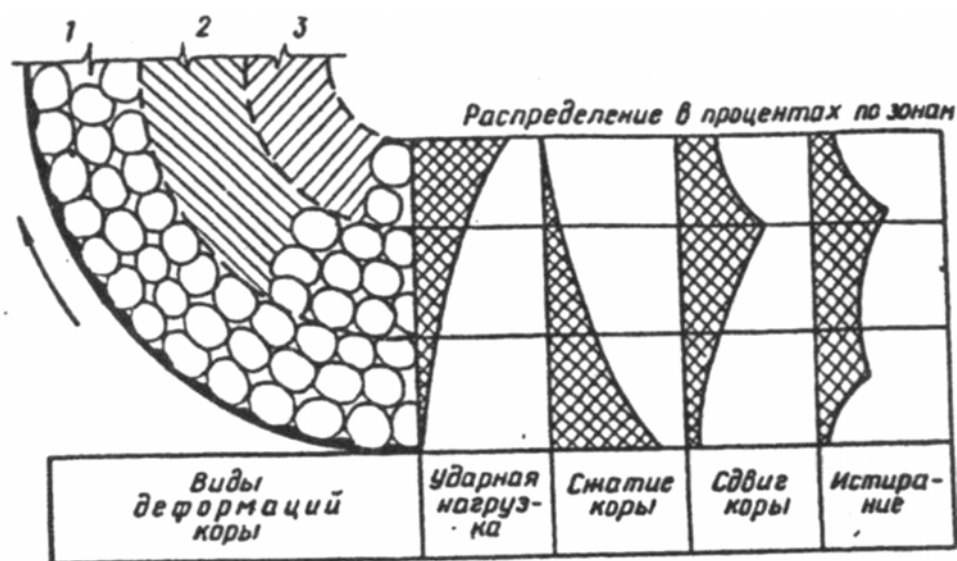


Рис. 1.3. Характер распределения деформаций по зонам КБ:
1 – наружная зона; 2 – средняя зона; 3 – внутренняя зона

Балансы в КБ находятся под действием центробежной силы и силы тяжести. Сцепление балансов со стенками КБ обусловлено силами трения.

В состоянии покоя коэффициент трения балансов $f_1 = \operatorname{tg} \rho$ (ρ – угол трения), а $\beta = \rho$, т. е. угол подъема балансов равен углу трения. Коэффициент трения балансов f значительно ниже коэффициента трения покоя f_1 , поэтому после обрушения в КБ балансы остаются неподвижными и вращаются вместе с барабаном. Это будет происходить до тех пор, пока угол подъема β не превысит угол трения покоя балансов, т. е. до момента обрушения. Таким образом, движение каждого баланса состоит из двух фаз: подъема и обрушения [3].

Внутри сегмента заполнения балансы двигаются как единое целое, испытывая при этом вес вышерасположенных балансов. Так как в зоне подъема смещения между балансами малы, то здесь в основном происходит обжатие и частичное повреждение коры. В верхней части зоны подъема начинается смещение балансов относительно друг друга. Под действием силы трения начинается процесс окорки. В зоне обрушения снятие коры осуществляется силами трения, возникающими при ударах и смещении балансов. Интенсивность снятия коры в этой зоне определяется массой взаимодействующих балансов и их относительной скоростью. В нижней части зоны обрушения повреждение и снятие коры происходит при ударах балансов о стенки КБ. Изменяя степень заполнения и частоту вращения КБ, можно регулировать продолжительность процесса окорки. С повышением частоты вращения балансы под действием центробежных сил проявляют тенденцию к ориентации вдоль оси барабана, в результате чего увеличивается доля поперечного трения. При повышении частоты вращения больше критической нарушается нормальный процесс формирования балансов в поперечном сечении КБ, и они начинают вращаться вместе с барабаном без обрушения. В этом случае древесина перемещается без трения в массе и не окоряется. Критическая частота вращения КБ, рад/с, определяется по формуле [3]

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{g}{R}}, \quad (6)$$

где R – внутренний радиус КБ, м;

g – ускорение силы тяжести, м/с².

Таким образом, частота вращения КБ не должна превышать $\omega_{\text{кр}}$ КБ, используемые в ЦБП, имеют значительно меньшую частоту

вращения, чем критическая. Величина частоты вращения в большинстве случаев не превышает $0,3\omega_{кр}$.

При параллельной укладке балансов соотношение между диаметром барабана и длиной баланса меньше единицы [1]. При параллельной окорке балансы трутся только поперек и вдоль оси стволов, перекатываясь и скользя относительно друг друга. Благодаря упорядоченному расположению балансов площадь контакта между ними в 2...3 раза выше, чем при беспорядочной укладке, поэтому процесс отделения коры при параллельной укладке идет более интенсивно и торцы балансов не размочаливаются. При параллельной окорке вместе с длинником может окоряться 15...25 % коротья, так как его положение выравнивается длинными балансами [2]. В остальном параллельная окорка производится по общим законам, с той лишь разницей, что при параллельной укладке балансов повышается коэффициент заполнения объема КБ и снижается угол обрушения баланса. При параллельной укладке для привода КБ требуется меньшая мощность двигателя. Однако параллельная укладка пригодна только для баланса, имеющего более или менее правильную форму и хорошо зачищенную от сучков поверхность. Метод параллельной окорки содержит более высокие требования к качеству балансов, которые не всегда выполняются в ЦБП, поэтому КБ с параллельной загрузкой баланса не получили широкого распространения на предприятиях отрасли.

Потери древесины при окорке зависят от времени года, влажности балансов, технологии окорки и длины окариваемых балансов [4].

Сила сцепления коры с древесиной не постоянна в течение года. Максимальных значений эта сила достигает в осенне-зимний период, минимальных – в весенне-летний, причем самое минимальное значение силы сцепления коры с древесиной наблюдается в мае–июне, соответственно и потери древесины при окорке будут минимальными в весенне-летний период. С целью интенсификации процесса окорки в осенне-зимний период и уменьшения потерь древесины используют жидкий или газообразный теплоноситель (горячую воду или пар). Гидротермическая подготовка мерзлых балансов позволяет уменьшить силы сцепления коры с древесиной на 40...50 %, причем подавать теплоноситель рекомендуется между первой и второй секциями КБ. С повышением влажности балансов потери древесины снижаются.

Из-за недостаточной загрузки КБ снижается удельное давление в точках контакта древесины и качество окорки ухудшается, поэтому возникает необходимость увеличения времени окорки, что приводит к увеличению потерь древесины.

Значительное влияние на потери древесины имеет длина балансов. Потери древесины при окорке короткомерного баланса больше из-за размочаливания торцов. При окорке длинных балансов потери древесины меньше.

1.2.3. Сухая окорка древесины

Под «сухой окоркой» подразумевается окорка древесины фрикционным методом без применения воды. Преимущества сухой окорки – сокращение промышленных стоков загрязненной воды и снижение влажности отходов окорки; снижение загрязнения окружающей среды и удешевление процесса подготовки коры к утилизации [5]. По этим причинам окорка без применения воды получила широкое распространение в странах с мягким климатом: в США, Франции, Германии и др.

Применение сухой окорки в странах с суровым климатом возможно в весенне-летний период. При окорке древесины этим способом в зимнее время появляется необходимость в обогреве окорочного оборудования и пропарке древесины. При окорке лиственных пород древесины применение воды не всегда дает желаемые результаты, так как вода снижает коэффициент трения неокоренных балансов. При сухой окорке коэффициент трения увеличивается на 25...35 % по сравнению с окоркой в воде.

В условиях ЦБП для сухой окорки применяют КБ с глухой секцией. Глухая секция используется как камера для пропаривания древесины, разрушения коры и подготовки древесины к окорке. Процесс сухой окорки в КБ сопровождается рядом особенностей, обусловленных состоянием пропаренной древесины. При сухой окорке повышается коэффициент трения скольжения балансов и угол их обрушения. Кора больше диспергируется, образует слизистые сгустки, которые загрязняют поверхность древесины, особенно размочаленные торцы балансов. На выходящей из КБ древесине содержится небольшое количество коры, которая легко смывается водой. Кора после пропарки и последующей сухой окорки имеет влажность, мало отличающуюся от исходной, и несколько хуже удаляется через щит барабана, чем обильно пропитанная водой кора.

Пар подводится внутрь КБ таким образом, чтобы его струи равномерно обогревали окоряемые балансы. Диаметр паропровода выбирается исходя из максимального расхода пара (25...35 кг/м³

окодряемой древесины зимой и 10...15 кг/м³ летом). Трубопровод содержит запорную арматуру, которая позволяет регулировать расход пара и отключать его при остановке КБ. Для отвода из КБ паровоздушной смеси предусматривается устройство вытяжной вентиляции.

Подачей пара внутрь КБ достигается размораживание древесины в зимнее время, а также некоторое снижение сил адгезии коры к древесине за счет прогрева ее наружной поверхности, конденсации паров на холодных поверхностях коры. Для обеспечения нормальных условий окорки в зимнее время достаточно повысить температуру коры на кромке ее контакта с древесиной до 3...4 °С. Продолжительность такого прогрева будет зависеть от начальной температуры древесины, температуры внутри КБ, размеров и породы древесины.

Задача, связанная с размораживанием древесины, решается подачей в КБ нужного количества пара, обеспечивающего поддержание температуры по длине КБ в течение заданного времени и соответствующую теплоотдачу. При этом следует отметить, что прогрев древесины особенно интенсивно осуществляется в глухой секции КБ. При правильно выбранном расходе пара в процессе работы КБ практически полностью отсутствует парение на выходе КБ.

В летнее время при окорке влажной древесины к ее подогреву не предъявляется особых требований, хотя даже незначительный подогрев древесины повышает производительность КБ и качество окорки. При окорке подсушенной древесины в КБ должен подаваться насыщенный пар и небольшое количество воды в виде легкой водяной пыли.

Производительность КБ при сухой окорке в сравнении с окоркой с применением горячей воды (40...60 °С) снижается на 15...20 %. При окорке сухим способом несколько увеличиваются потери древесины по сравнению с мокрой окоркой.

Наиболее целесообразно подавать пар в КБ, распределяя его через слой окоряемых балансов. При этом снижается расход пара, сокращаются потери древесины и повышается производительность КБ [4].

1.3. Определение необходимого времени пребывания балансов в барабане

Транспортная производительность КБ показывает, какое количество древесины прошло в единицу времени через барабан; технологическая – какое количество древесины окорено в КБ в единицу времени до требуемой степени окорки. Транспортная производительность может быть

меньше, равна или превышать технологическую производительность. Если транспортная производительность меньше технологической, то возрастают потери древесины и снижается производительность КБ. Если транспортная производительность выше технологической, то балансы выходят из КБ недоокоренными. Оптимальным является равенство транспортной и технологической производительностей [4]. Это означает, что время нахождения балансов в КБ соответствует необходимому времени обработки для достижения требуемой степени окорки.

Необходимое время обработки древесины зависит от конструктивных особенностей и частоты вращения КБ, от геометрических размеров балансов, свойств коры, прочности ее сцепления с древесиной и требуемой степени окорки.

Прочность сцепления коры с древесиной характеризуется пределом прочности коры на скалывание. Предел прочности коры на скалывание с древесины зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются порода, влажность и температура древесины. При отрицательной температуре силы сцепления коры с древесиной возрастают в 3–5 раз. Значения пределов прочности коры на скалывание с древесины в летнее время приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Предел прочности коры на скалывание в летнее время [3]

Порода древесины	Предел прочности на скалывание, τ_k , кг/см ² , при относительной влажности древесины, %						
	23	28	33	41	50	57	60
Древесина сухопутной поставки							
Ель	21,0	–	14,8	8,6	4,7	3,0	–
Сосна	–	10,8	–	7,8	5,1	4,1	3,3
Береза	–	12,0	–	6,2	2,6	–	1,2
Осина	21,8	–	13,2	7,8	4,5	2,6	–
Сплавная древесина							
Ель	16,0	–	8,6	–	4,6	–	–
Сосна	–	10,6	–	6,7	–	3,8	–
Осина	17,1	–	9,1	–	4,4	–	2,8

Необходимое время пребывания балансов в КБ определяется по формуле

$$\tau = \frac{c\tau_k^2 b^2 (3,8D)^2}{\ln 0,01y}, \quad (7)$$

где y – необходимая степень окорки древесины, % (определяется по формуле (3));

τ_k – предел прочности коры на скалывание, кг/см², определяется по табл. 1.4;

b – толщина коры, мм, определяется по табл. 1.3;

D – диаметр КБ, м;

c – коэффициент, определяющий условия окорки (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Значения коэффициента c [3]

Порода древесины	Значения коэффициента c в зависимости от условий окорки		
	без воды	с паром	с горячей водой
Ель	2,65	2,5	2,4
Осина	2,4	2,2	2,15
Береза	3,4	3,3	3,15

При отсутствии данных по пределу прочности и толщине коры для определения времени пребывания балансов в КБ можно воспользоваться усредненными значениями (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Время пребывания балансов в КБ при его частоте вращения 6,3 мин⁻¹ и степени окорки 95 % [3]

Вид древесины, время года	Время, τ_0 , мин
Хвойная сплавная летом	40
Хвойная со склада летом	54
Хвойная со склада зимой	61
Хвойная свежесрубленная зимой	52
Лиственная сплавная летом	46
Лиственная со склада летом	66
Лиственная со склада зимой	75
Лиственная свежесрубленная зимой	53

Приведенные значения могут быть уточнены по формуле

$$\tau = \tau_0 K_{dp} K_s K_n, \quad (8)$$

где τ_0 – время пребывания балансов в КБ, принятое по табл. 1.7;

K_{dp} – коэффициент, учитывающий вид древесины, выбирается по табл. 1.7;

K_s – коэффициент, учитывающий степень окорки древесины, выбирается по табл. 1.8;

K_n – коэффициент, учитывающий частоту вращения КБ;
 $K_n = 6,3/n$, n – частота вращения барабана, мин¹.

Таблица 1.7

Значения коэффициента K_{dp} [3]

Порода древесины	K_{dp}
Сосна	0,91
Лиственница	1,54
Осина	0,91
Береза	1,54
Ель	1,00

Таблица 1.8

Значения коэффициента K_s [3]

Степень окорки, %	Порода древесины		
	Ель, пихта	Осина	Береза, лиственница
100	1,14	1,25	1,18
95	1,00	1,00	1,00
90	0,89	0,87	0,83
80	0,80	0,80	0,65

Древесина хвойных пород окоривается быстрее, чем лиственных.

1.4. Конструкция и принцип работы корообдирочных барабанов

1.4.1 Классификация, устройство и принцип работы

КБ являются наиболее распространенным оборудованием, предназначенным для групповой окорки балансов. Их широкое применение объясняется высокой производительностью, степенью механизации процесса окорки и небольшими потерями древесины. КБ в основном применяются в ЦБП, лесной и деревообрабатывающей промышленности. Производительность существующих КБ в лесной и деревообрабатывающей промышленности находится в пределах 2...15 пл.м³/ч, а в ЦБП – 15...200 пл.м³/ч. В ЦБП используются крупные КБ с диаметром в три и более метров, что обеспечивает высокое удельное давление в зоне окорки и высокую производительность [6].

КБ работают в периодическом и непрерывном режимах. В практике отечественной ЦБП используются исключительно барабаны непрерывного действия. КБ периодического действия используются в лесной и деревообрабатывающей промышленности. КБ можно разделить на машины для окорки долготья и коротья. В КБ для окорки долготья балансы укладываются параллельно друг другу. К достоинствам такой окорки следует отнести малое повреждение древесины, отсутствие размочаливания торцов, а к недостаткам – некачественную окорку балансов, имеющих неправильную форму, плохо зачищенные сучки и кривизну. Значительную трудность представляет загрузка и выгрузка длинномерных балансов, поэтому эти барабаны используются редко. В барабанах для коротья древесина располагается неупорядоченно, в результате чего балансы взаимодействуют друг с другом под различными углами, что способствует их качественной окорке.

Окорка балансов в КБ производится с применением воды или пара. По способу интенсификации КБ подразделяются на четыре типа: барабаны для мокрой, полусухой, сухой и комбинированной окорки. КБ для мокрой окорки частично погружаются в ванну с водой. Недостатками таких КБ являются низкая производительность, трудности отвода и подготовки коры к утилизации, неудобство технического обслуживания и ремонта, повышенная влажность в цехе, поэтому такие барабаны в настоящее время практически не применяются.

Широко используются КБ для полусухой окорки. Отличительной особенностью этих барабанов является наличие глухой и открытой секций. В глухой секции, не имеющей перфорации на боковой поверхности, предварительная обработка древесины происходит с применением воды. В открытой секции осуществляется собственно окорка без подачи воды. Такие машины имеют высокую производительность, удобство технического обслуживания и ремонта.

В последнее время широкое распространение получил способ сухой окорки древесины. Для этого используют двухсекционные КБ с глухой и открытой секциями. Технология сухой окорки описана выше.

В комбинированных барабанах может осуществляться как сухая окорка с использованием пара, так и полусухая. В первой секции барабана осуществляется увлажнение сырья, обеспечивающее эффективную окорку в последующих перфорированных секциях.

КБ могут состоять из одной, двух или более секций. В многосекционных барабанах секции иногда устанавливаются не на одном уровне, а ступенчато. Такая компоновка обеспечивает большую производительность и называется каскадной [5].

Отечественное машиностроение выпустило КБ полусухой окорки трех типоразмеров – КБ-415, КБ-420, КБ-425, барабан сухой окорки с механическими интенсификаторами трех типоразмеров – КБС-304, КБС-308, КБС-315 и комбинированные барабаны КБ-530 (КБ-530М). Обозначение типоразмера барабана показывает тип и основные параметры. Первая цифра выражает диаметр барабана, остальные – его длину в метрах. Буква С означает КБ сухой окорки, П – правое расположение привода.

Барабаны сухой окорки с механическими интенсификаторами в ЦБП не используются. Основные технические характеристики КБ для ЦБП приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Технические характеристики КБ для ЦБП [6]

Техническая характеристика	Марка барабана					
	КБ-415	КБ-420	КБ-425	КБС-420	КБС-425	КБ-530М
Внутренний диаметр, м	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	5,0

Окончание табл. 1.9

Техническая характеристика	Марка барабана					
	КБ-415	КБ-420	КБ-425	КБС-420	КБС-425	КБ-530М
Длина корпуса, м	15	20,5	24,0	20,5	24,0	30,0
Количество секций, шт.,	2	2	2	2	2	3
в т. ч. перфорированных	1	1	1	1	1	2
Частота крашения, мин ⁻¹	6,3	6,3	6,3	9,0	9,0	от 0 до 8
Мощность, кВт	220	244	352	375	375	953
Производительность при 95 %-й окорке еловой свежесрубленной древесины, м ³ /ч, не менее	45	75	95	60	75	175

На рис. 1.4 показан двухсекционный барабан для полусухой окорки, состоящий из следующих основных частей: глухая секция (первая по ходу балансов), перфорированная секция, опорные станции, привод и затвор. Каждая секция опирается на четыре опорных ролика и имеет отдельный привод, который состоит из электродвигателя, редуктора и открытой зубчатой передачи. При вращении барабана балансы увлекаются внутренней поверхностью, происходит их перемешивание и взаимное трение. Кора отделяется от древесины, под действием силы тяжести проходит сквозь перфорацию и удаляется с помощью гидроструйки или конвейера. Свободная поверхность балансов в продольном сечении КБ имеет наклон по отношению к горизонтальной плоскости за счет разности уровней балансов на входе и выходе. Уровень на входе определяется интенсивностью загрузки, а на выходе – степенью открытия затвора. Перемещение балансов вдоль оси КБ происходит по методу вытеснения – поступающие бревна вытесняют находящийся в барабане окоренный баланс.

Интенсификация процесса окорки трудно окариваемой древесины (береза, лиственница) может быть достигнута за счет применения в КБ дополнительных окорочных элементов – пирамид. При окорке свежесрубленной древесины хвойных пород или древесины со сплава использование пирамид может привести к увеличению потерь древесины, и поэтому установка их в данном случае не рекомендуется.

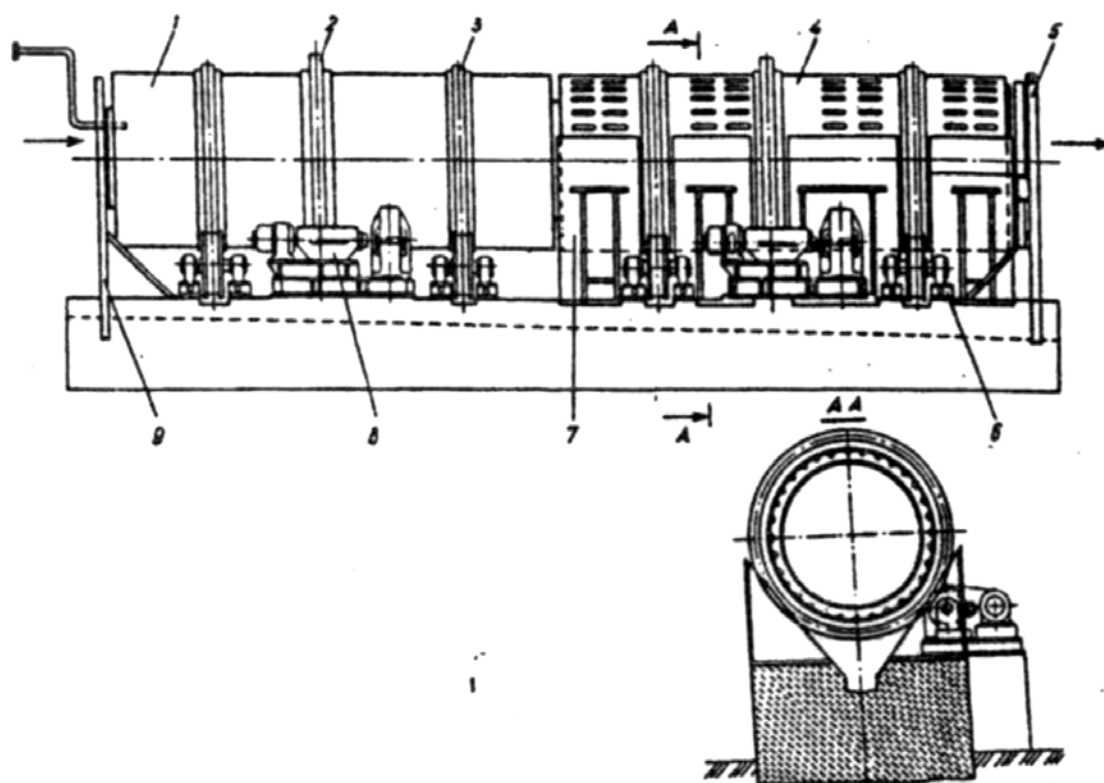


Рис. 1.4. Двухсекционный корообдирочный барабан:
1 – глухая секция; 2 – зубчатое колесо; 3 – опорный бандаж;
4 – открытая секция; 5 – затвор барабана; 6 – опорная станция;
7 – установка защитных листов; 8 – привод; 9 – стенка

Совершенствование конструкций КБ осуществляется в основном в двух направлениях: создание новых, прогрессивных конструкций; модернизация, усовершенствование отдельных основных узлов и режимов работы барабана.

Можно выделить следующие основные тенденции развития технологии окорки и конструкций КБ [6]:

- повышение частоты вращения (вплоть до критической частоты) и диаметра барабана;
- уменьшение использования воды при окорке;
- снабжение КБ устройствами для размораживания древесины в процессе окорки;

- повышение надежности КБ путем использования более прочных и износостойких материалов, стандартизации, унификации, агрегатирование узлов и механизмов барабана;
- использование привода КБ, позволяющего плавно регулировать частоту вращения секций, следовательно, и качество окорки;
- создание аппаратуры для определения качества окорки балансов;
- проектирование и изготовление древесно-подготовительных производств, в том числе и КБ с полной механизацией и автоматизацией основных и вспомогательных операций с помощью ЭВМ, включая учет продукции и управление качеством окорки.

1.4.2. Конструкции основных узлов

Корпус и бандажи барабана

Корпус КБ в современных конструкциях включает 1–3 секции. Как правило, первая по ходу балансов – глухая секция, затем следует открытая (перфорированная) секция [6].

Открытая (перфорированная) секция представляет собой обечайку из листовой стали сварной конструкции. На ее внутренней поверхности приварены продольные окорочные балки, которые увеличивают жесткость и прочность секции, выполняют роль захватов, обеспечивающих подъем и перемещение балансов. Разработано множество конструкций окорочных балок, позволяющих эффективно захватывать балансы. Некоторые конструкции окорочных балок надрезают кору с целью интенсификации процесса окорки. В настоящее время в КБ широко используются окорочные балки специального скругленного профиля, которые обеспечивают минимальное повреждение балансов и, следовательно, минимальные потери древесины. Сквозные щели на боковой поверхности служат для удаления коры. Минимальная ширина щелей, при которой обеспечивается удовлетворительное удаление отходов окорки, составляет 35 мм.

Глухая секция имеет конструкцию, аналогичную открытой, но без щелей на боковой поверхности. Число окорочных балок внутри глухой секции обычно меньше, чем в открытой. В открытой и глухой секциях с торцов привариваются пороговые кольца – диафрагмы, предназначенные для придания секциям жесткости и поддержания уровня воды

в глухой секции. Для предотвращения заклинивания балансов при переходе из глухой секции в открытую диафрагма глухой секции имеет переходное кольцо в виде короткой обечайки, входящей с зазором в диафрагму открытой секции. На наружной поверхности обечайки закреплены бандажи.

Бандажи (рис. 1.5) служат для установки барабана на опорные ролики.

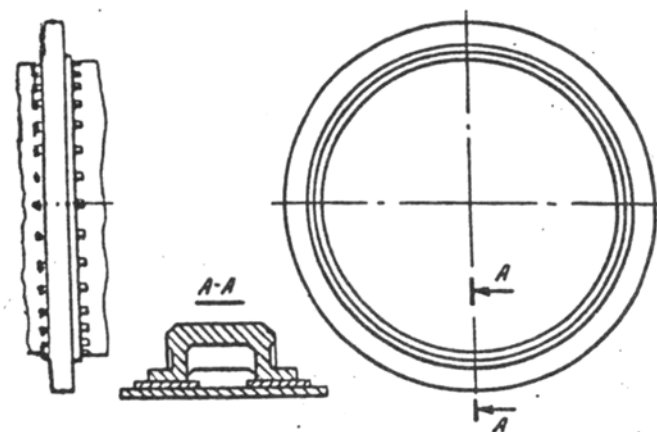


Рис. 1.5. Установка бандажа барабана

Бандажи имеют литую или сварную конструкцию коробчатого профиля. В современных конструкциях применяется безболтовая напряженная посадка бандажей, позволяющая повысить надежность конструкции. Центровка бандажей производится с помощью клиньев, находящихся между обечайкой и бандажом.

Привод

Типы приводов секций КБ можно разделить на три группы: цепной привод, фрикционный привод и привод через открытую зубчатую пару. Основным недостатком цепного и фрикционного приводов – низкая надежность из-за частого обрыва цепей и повышенного износа приводных роликов и бандажей. В настоящее время КБ с цепным и фрикционным приводом практически не выпускаются [6].

В современных конструкциях КБ широко используется привод через открытую зубчатую пару. Каждая секция КБ имеет свой индивидуальный привод. Привод состоит из электродвигателя, втулочно-пальцевой, гидравлической или индукторной муфты скольжения, подвенцовой шестерни и зубчатого венца, который закреплен на секции КБ.

Зубчатый венец изготавливается из секторов, которые соединяются между собой при помощи болтов. Для предотвращения смещения секторов в процессе работы в стыке устанавливаются два штифта и два замковых кольца. Замковые кольца закрепляются на цапфах секторов по посадке с натягом.

Зубчатый венец устанавливается и выверяется с помощью клиньев. Для передачи крутящего момента в пазы зубчатого венца помещают шпонки, которые приваривают к обечайке секции.

В некоторых конструкциях КБ вместо зубчатого венца используют цевочное колесо, которое позволяет заменять изношенные элементы зацепления.

Рама привода устанавливается на две шины и крепится болтами. Для регулировки зацепления подвенцовой шестерни и зубчатого колеса на шинах устанавливают винтовые устройства.

Для осуществления плавного пуска секций КБ возможны следующие варианты электропривода: асинхронные короткозамкнутые двигатели с муфтами скольжения; асинхронные двигатели с фазным ротором; двигатели постоянного тока.

Большинство КБ имеют в качестве привода асинхронные короткозамкнутые двигатели с гидромуфтой или индукторной муфтой скольжения. КБ фирмы “Andritz” имеют такие приводы. В России используются барабаны КБ-40 и КБ-60 с асинхронными короткозамкнутыми двигателями и индукторными муфтами скольжения. Муфта скольжения стоит между электродвигателем и редуктором привода КБ и состоит из якоря и индуктора, расположенных концентрично относительно друг друга. Воздушный зазор между якорем и индуктором составляет около 1 мм. Якорь крепится на валу двигателя, а индуктор – на входном валу редуктора. Индуктор имеет в круговом пазу между двумя рядами зубцов тороидальную обмотку тока. Ток в обмотку возбуждения поступает через контактные кольца и щетки, при этом возникает магнитный поток, замыкающийся через якорь и индуктор. Магнитные сопротивления воздушного зазора над зубцами и впадинами индуктора не равны друг другу: над зубцами оно максимальное, а над впадинами – минимальное. При работе муфты якорь перемещается относительно индуктора. В активной части якоря происходит пульсация магнитного потока, вызывающая появление вихревых токов. Индуктор начинает вращаться с некоторым отставанием от якоря за счет взаимодействия магнитного потока с вихревыми токами. Передаваемый муфтой крутящий момент зависит от величины магнитного потока, т. е. чем больше ток возбуждения муфты, тем больше величина крутящего момента. При плавном изменении тока

возбуждения муфты плавно изменяется величина магнитного потока и, следовательно, частота вращения выходного вала муфты. Основное назначение индукторной муфты – плавный разгон секций КБ. Муфта скольжения также позволяет выполнять следующие функции [6]:

- быстрое сцепление и расцепление входного и выходного валов с пульта управления КБ;
- сглаживание ударов от двигателя к загруженному барабану при пуске и от барабана к двигателю во время работы;
- ограничение передаваемого крутящего момента;
- стабилизация частоты вращения выходного вала.

Данный вариант привода с асинхронным короткозамкнутым двигателем и индукторной муфтой скольжения имеет следующие преимущества [6]:

- низкая стоимость;
- небольшое количество силовой контактной аппаратуры;
- минимум производственных площадей.

Основной недостаток такого привода – наличие муфты скольжения, эксплуатация которой связана с определенными трудностями. В России муфты скольжения для передачи мощности более 200 кВт не выпускаются.

Целый ряд существующих барабанов имеют в качестве привода асинхронный двигатель с фазным ротором. Данный вариант привода при сравнении с другими вариантами оказывается наиболее дешевым, имеет наибольший КПД, но большое количество контактной аппаратуры и пусковых сопротивлений снижают надежность системы и ухудшают эксплуатационные качества привода.

В России выпускается барабан типа КБ-530М с приводом постоянного тока. Этот привод имеет большую стоимость, более низкий КПД, но данный вариант привода позволяет регулировать число оборотов КБ, а значит качество окорки в зависимости от качества поступающего сырья, от времени года и других факторов.

Опорные станции

Опорные станции воспринимают всю нагрузку от корпуса барабана, балансов и воды [6]. Число опорных станций зависит от длины КБ. Обычно на одну секцию приходятся две опорные станции.

Опорные станции можно разделить на несколько групп: гидравлические опоры, пневмоопоры, упругие резиновые ролики и жесткие стальные бандажи, ролики.

Гидравлические опоры используют в КБ типа «Ваплан». Опоры представляют собой корыто (корпус подшипника) в виде дуги, имеющей радиус, равный наружному радиусу опорного бандажа с углом обхвата барабана 120° (рис. 1.6).

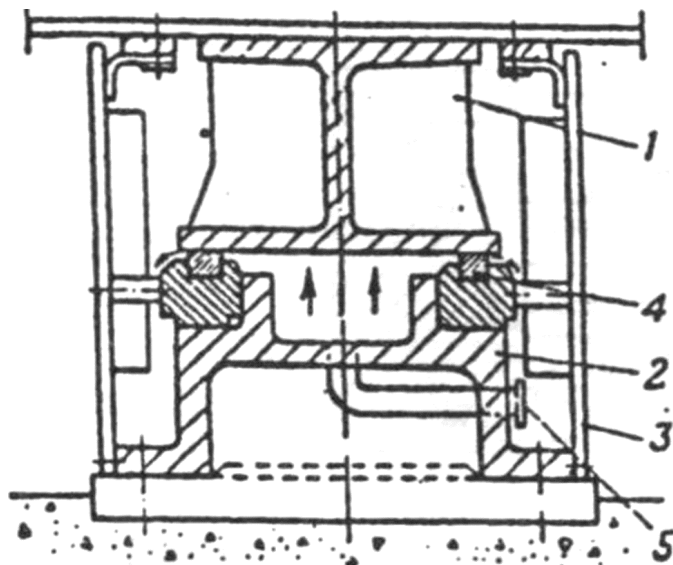


Рис. 1.6. Гидравлическая опора:
1 – опорный бандаж; 2 – корпус; 3 – уплотнение;
4 – вкладыш; 5 – штуцер для воды

Верхняя кромка подшипника окантована вкладышем 4, который воспринимает давление барабана. Вода под давлением 15-20 МПа подается во внутреннюю полость подшипника. Бандажи КБ «всплывают» на водяной подушке. Скольжение бандажей по гидравлическим опорам обеспечивает надежную работу КБ, увеличивает срок службы бандажей и уменьшает расход электроэнергии. Преимуществами гидроопор являются низкие потери на трение и большой угол обхвата корпуса секций, недостатками – необходимость подачи воды в гидроопоры, износопорных вкладышей подшипников. Барабаны с такими опорами обычно имеют ванну и работают по методу мокрой окорки.

На рис. 1.7 показана конструкция опорной станины, имеющая жесткие стальные ролики. Такая конструкция наиболее широко используется в конструкциях КБ. Опорная станция имеет единую сварную раму, на которой устанавливают две роликоопоры. Перемещение опор перпендикулярно оси КБ осуществляется винтами, в результате чего достигается равномерность контакта роликов с бандажами и регулировка взаимного положения секций.

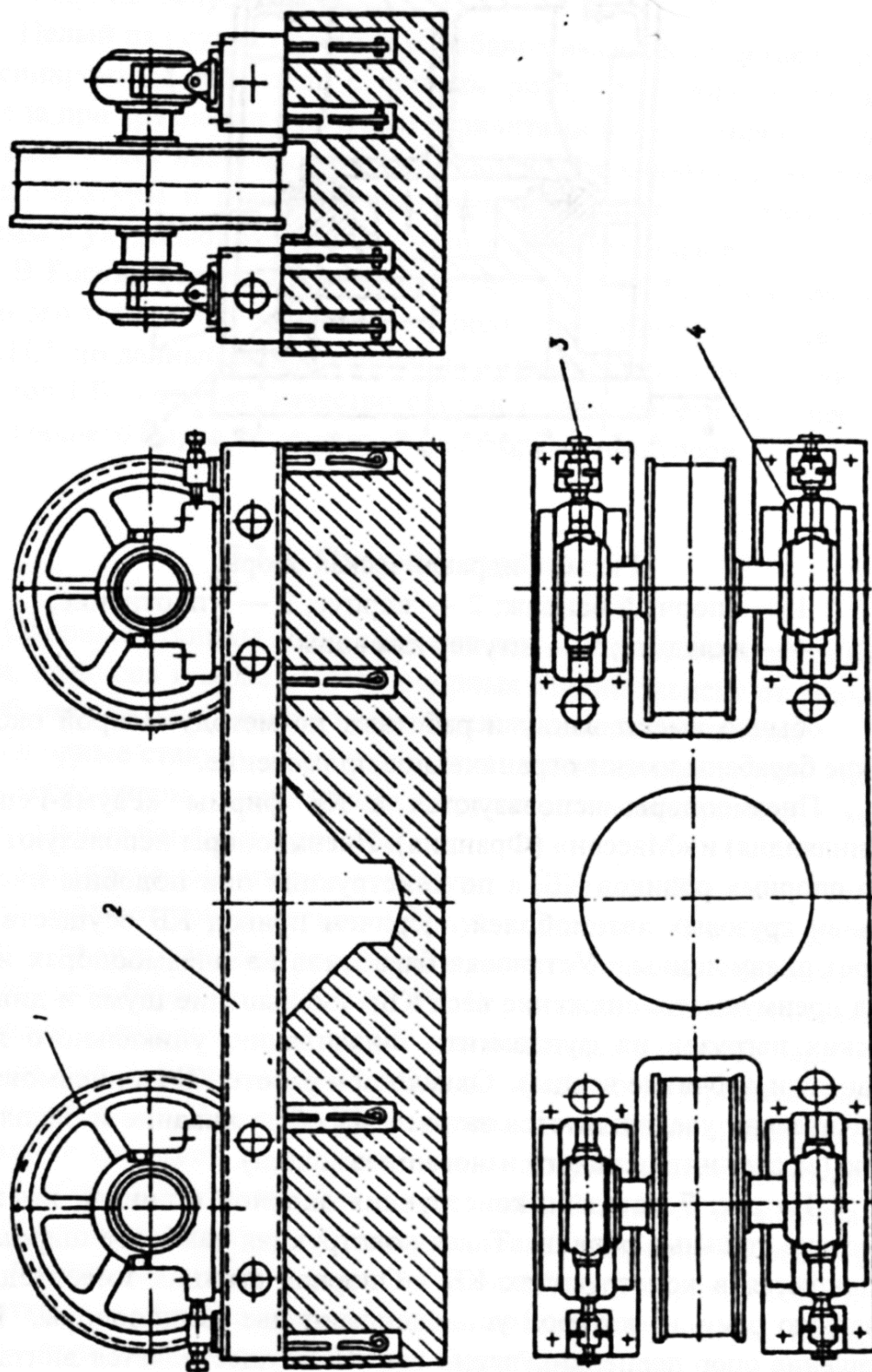


Рис. 1.7. Опорная станция: 1 – роlikоопора; 2 – рама; 3 – регулировочный винт
4 – подшипниковая опора

Такие барабаны имеют ограниченное применение. Пневмоопоры используются в КБ фирмы “Andritz”. Пневмоопоры используют вместо опорных роликов КБ, а по конструкции они подобны пневмошинам грузовых автомобилей, причем привод КБ осуществляют через пневмошины. Установка барабанов на пневмоопорах имеет ряд преимуществ: снижение веса КБ; уменьшение шума и динамических нагрузок на фундамент; ликвидацию уникального литья (бандажи, зубчатые венцы). Однако при работе КБ на пневмошинах значительно увеличиваются затраты на обслуживание и эксплуатацию (за счет интенсивного износа пневмошин).

Затвор барабана

Затвор КБ предназначен для выпуска окоренной древесины, регулирования производительности и качества окорки [6]. Это достигается изменением степени открытия выходного отверстия барабана. Затвор (рис. 1.8) состоит из привода и рамы с направляющими, в которых перемещается щит затвора. Привод затвора может быть механический или пневматический с использованием пневмоцилиндров. Механический привод состоит из электрического двигателя, редуктора, пары винт-гайка или реечной пары. В конечных положениях щита привод отключается по сигналам конечных выключателей. Для уменьшения величины выбега щита после срабатывания конечных выключателей на быстроходном валу редуктора предусматривается установка тормоза.

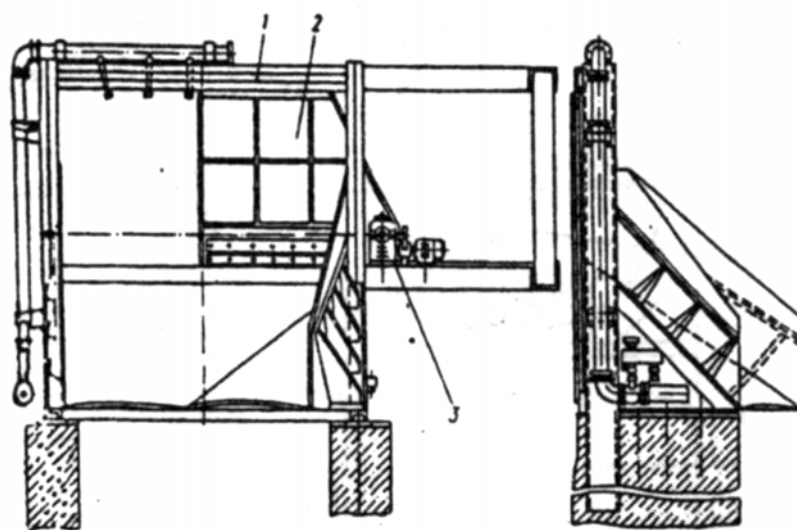


Рис. 1.8. Затвор барабана:

1 – рама затвора; 2 – щит затвора; 3 – привод затвора

Регулировку производительности КБ и качества окорки производят величиной открытия выходного отверстия КБ. Оптимальное положение щита затвора устанавливается опытным путем. Управление работой затвора производится с местного и центрального пультов управления барабаном.

Паровой коллектор и колпак

В КБ, предназначенных для сухой окорки, на передней стенке первой по ходу балансов секции устанавливается паровой коллектор для подачи пара в барабан (рис. 1.9). Паровой коллектор состоит из подводящего патрубка и шести сопел. Подводящий патрубок и каждое сопло содержат запорную арматуру, которая позволяет регулировать расход пара [6].

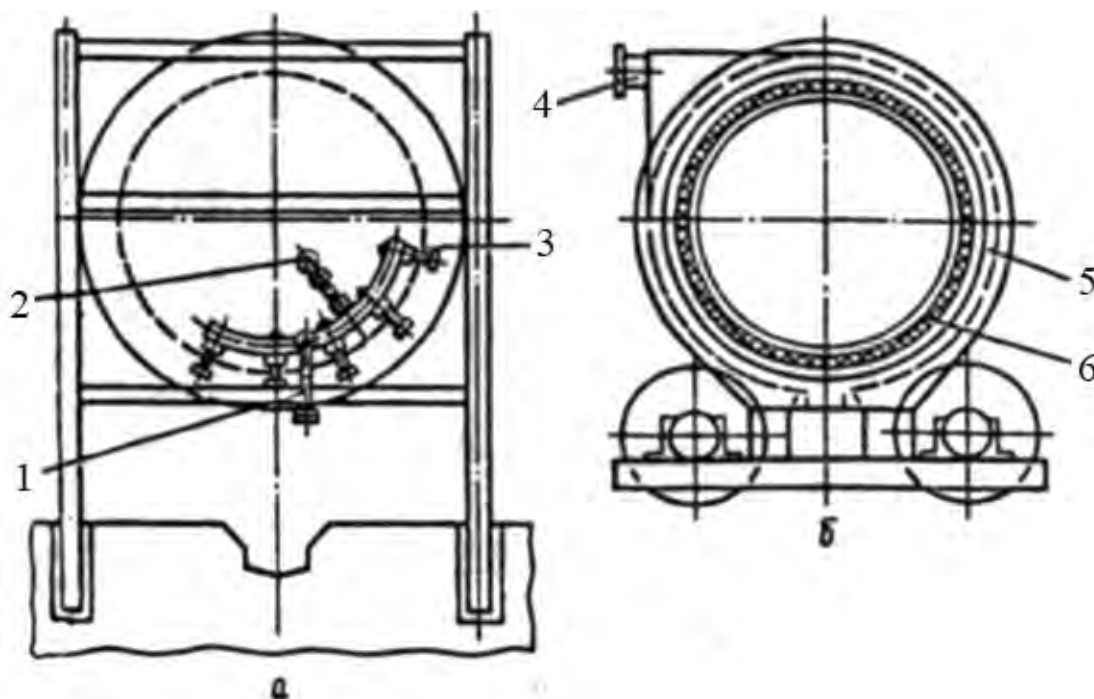


Рис. 1.9. Коллектор паровой и колпак для отвода пара:
а – коллектор: 1 – подводящий патрубок; 2 – сопло; 3 – вентиль;
б – колпак: 4 – отводящий раструб; 5 – обечайка; 6 – уплотнение

Колпак устанавливается на стыке двух секций и служит для отвода излишнего пара в систему цеховой вентиляции. Колпак представляет собой обечайку, состоящую из четырех частей с уплотнителями по торцам и снабженную двумя раструбами для отвода пара и люками, которые обеспечивают доступ к стыку секций.

2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ ИЗ БАЛАНСОВ

2.1. Основные показатели технологической щепы

Технологической щепой называются древесные частицы определенных геометрических форм и размеров, получаемые из окоренной древесины или отходов лесопиления на ножевых рубительных машинах. К технологической щепе предъявляются определенные технические требования, которые регламентируются ГОСТ 15815–83 «Щепа технологическая» [7]. Технические требования, предъявляемые к линейным размерам щепы, представлены ниже (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Технические требования, предъявляемые к щепе

Назначение щепы	Длина, мм	Толщина, не более, мм
Целлюлозно-бумажное производство	15...25	5
Производство древесно-волоконистых плит	10...35	5
Производство древесностружечных плит плоского прессования	10...60	30
Гидролизное производство	5...25	5

Технологическая щепа также характеризуется фракционным составом, который определяет содержание различных фракций в общей массе щепы. В технологических потоках крупная фракция, как правило, подвергается дополнительному измельчению. Мелкая фракция содержит мелкую щепу, опилки и спички. Длина опилок обычно составляет до 5 мм, диаметр – до 0,2...0,3 мм. Спички имеют следующие размеры: длина – от 5 мм и более, толщина – более 0,4...0,5 мм и ширина – более 1 мм. Мелкая щепа, опилки и спички, как правило, относятся к потерям древесины и не используется при производстве волокнистых полуфабрикатов, поэтому при измельчении древесины стараются уменьшать количество мелкой фракции древесины.

Фракционный и породный состав щепы оказывают большое влияние на качество волокнистого материала [8]. Следует отметить, что фракционный состав щепы определяет степень изменения размеров древесинных частиц, и чем короче щепа, тем большее количество древесных волокон укорачивается при измельчении древесины. При большей длине щепы возникает гораздо меньше мелкой фракции древесины, и насыпная плотность щепы уменьшается. Это приводит к замедлению пропитки щепы химикатами. Фракционный состав щепы оказывает большое влияние на выход и свойства получаемых волокнистых материалов. При малых размерах щепы ухудшаются механические свойства полуфабриката из-за рубки древесных волокон.

Фракционный состав является одним из основных факторов, вызывающих непровар древесной массы. Под непроваром понимают низкую способность древесины разделяться на отдельные волокна после химической или термохимической обработки.

2.2. Классификация рубительных машин

Классификация рубильных машин основана на виде резания древесины [9].

В зависимости от соотношения длины режущей кромки ножа и максимальной ширины измельчаемого материала различают [9]: открытое резание – режущая кромка полностью перекрывает ширину измельчаемого лесоматериала (рис. 2.1, *а*), $L_p > B_m$; полужакрытое резание – режущая кромка частично перекрывает измельчаемый лесоматериал, при этом во взаимодействии с древесиной, кроме передней и задней граней, находится и одна боковая грань (рис. 2.1, *б*), $L_p < B_m$; закрытое резание – длина режущей кромки значительно меньше ширины измельчаемого лесоматериала. В последнем случае во взаимодействии с древесиной находятся и две боковые грани (рис. 2.1, *в*), $L_p \ll B_m$.

Машины, принцип работы которых основан на открытом виде резания, относят к ножевым, машины с полужакрытым видом резания называют многолезцовыми (рис. 2.2).

По исполнению рубительные машины подразделяются на стационарные и передвижные (рис. 2.3). Рабочий орган рубительных машин находится на вертикальной или наклонной плоскости. Машины с наклонным рабочим органом имеют лучшие условия резания древесины. Подача древесины к ножевому диску производится под действием сил тяжести и самозатягивания древесины. При горизонтальной подаче древесины используют специальные механизмы подачи.

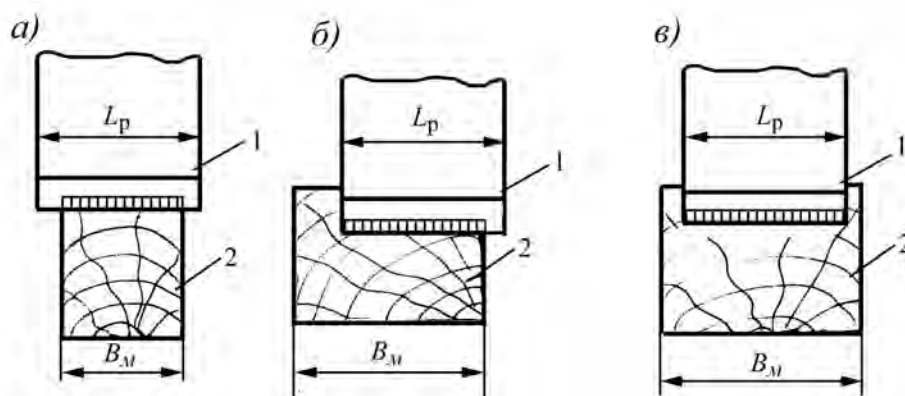


Рис. 2.1. Виды резания древесины на щепу:
а – открытый; б – полузакрытый; в – закрытый; 1 – нож; 2 – древесина

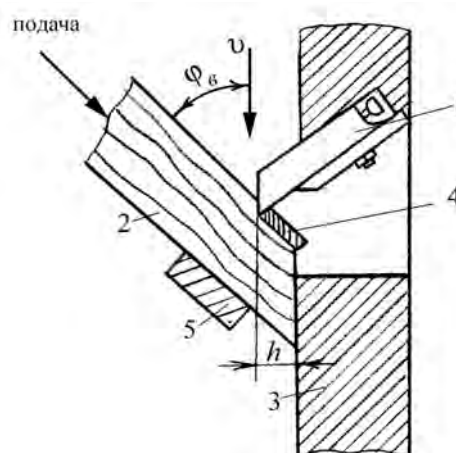


Рис. 2.2. Схема резания древесины: 1 – режущий элемент; 2 – древесина;
3 – диск; 4 – щепа (элемент); 5 – контрнож

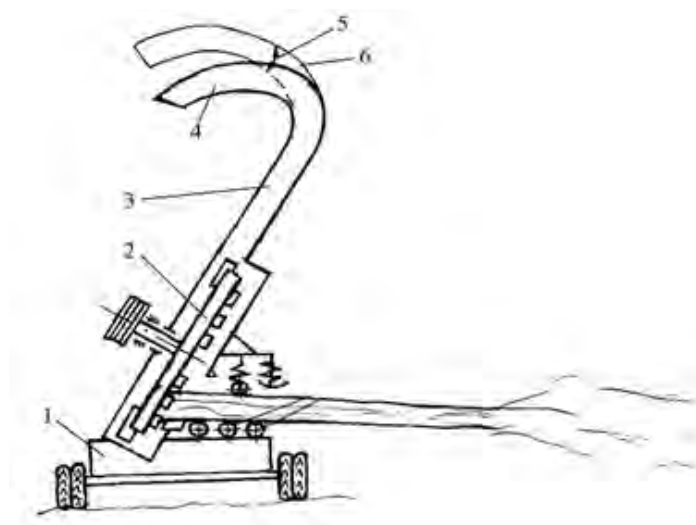


Рис. 2.3. Передвижная рубильная машина: 1 – колесная платформа;
2 – диск; 3 – щепопровод; 4 – нижний выходной канал;
5 – перекидная заслонка; 6 – верхний выходной канал

По конструктивному признаку рубительные машины бывают барабанные и дисковые [10]. Барабанные рубительные машины, режущие ножи, находятся на поверхности барабана. Эти ножи совершают кругообразные движения и входят в древесину с углами резания, зависящими от диаметра балансов. Поэтому щепа, получаемая на барабанных рубительных машинах, неоднородна по линейным размерам. В дисковых рубительных машинах ножи расположены в плоскости диска под постоянным углом наклона к поверхности диска и к направлению подачи древесины. Рубка древесины в этих машинах происходит под одинаковыми углами резания, поэтому щепа получается равномерной по фракционному составу. Имеется большое количество дисковых рубительных машин, различающихся по подаче древесины, форме поверхности диска, конструкции режущих ножей, режиму резания.

Есть дисковые рубительные машины с прерывистым и непрерывным процессом резания [9]. Машины с прерывистым режимом резания (рис. 2.4, *а*) имеют небольшое количество ножей (обычно три–четыре), и процесс резания у этих машин прерывистый. При этом возникают удары при взаимодействии ножей с древесиной, что снижает качество щепы по фракционному составу и происходит смятие поверхности щепы.

В рубительных машинах с непрерывным режимом резания (рис. 2.4, *б*) ножи постоянно находятся в контакте с древесиной, что создает более благоприятные условия резания и обуславливает получение щепы лучшего качества. Непрерывное резание древесины обеспечивается за счет большего числа ножей на ножевом диске.

По форме поверхности диска рубительные машины подразделяются на машины с плоской (см. рис. 2.4, *а*) и геликоидальной (скошенной) (см. рис. 2.4, *б*) поверхностями режущего диска. Оптимальные условия резания древесины имеют машины с геликоидальной поверхностью ножевого диска, и щепа получается более высокого качества.

По направлению подачи балансов к диску существуют рубительные машины с наклонным или горизонтальным питающим патроном. Машины с наклонным патроном предназначены для рубки балансов длиной до 3 м. Для рубки длинных балансов, как правило, используют машины с горизонтальным патроном. Длинные балансы специальным конвейером подаются к ножевому диску под углом $45...38^\circ$. При применении таких машин не требуется высокое зданий древесно-подготовительного цеха [11].

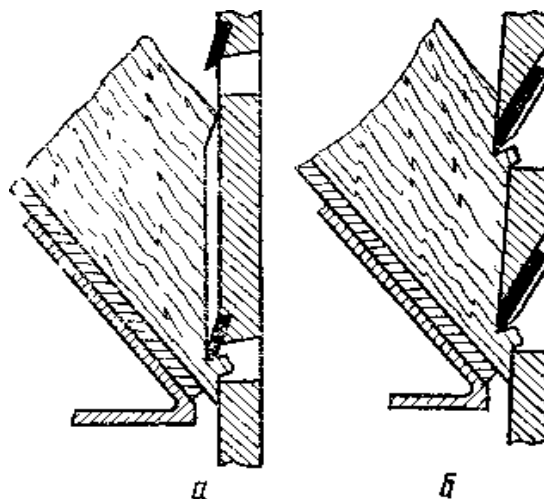


Рис. 2.4. Схема прерывистой и непрерывной рубки древесины на машинах с плоским (а) и геликоидальным (б) дисками

Рубительные машины имеют верхний или нижний выброс щепы. При верхнем выбросе щепа лопатками, которые установлены на ободу ножевого диска, направляется через выходной патрубок по щепопроводу в циклон и потом на сортировку. При нижнем выбросе щепа падает вниз на транспортер щепы.

2.3. Устройство и принцип работы дисковых рубительных машин

Основной рабочий орган любой дисковой машины – ножевой диск. Этот диск закреплен на валу, который вращается в двух опорах. Устройство дисковой рубительной машины рассмотрим на примере машины МРН-100 [11] (рис. 2.5).

Дисковая многоножевая рубительная машина состоит из следующих узлов (рис. 2.5, а): станины 1, подшипников 2, кожуха 5, ножевого диска 6 с лопатками 4, маховика 7 (маховик имеется у машин не всех типов), загрузочного патрона 3, муфты 8 и двигателя 9. Опорами вала ножевого диска обычно являются сферические роlikоподшипники. В некоторых конструкциях в лицевой подшипниковой опоре ставят упорный подшипник, который воспринимает осевую составляющую силы, возникающую при рубке древесины. Ротор машины может перемещаться вдоль оси с помощью винтового устройства 11. Ножевой диск (рис. 2.5, б) имеет подножевые щели для удаления щепы. В гнездах подножевых щелей закреплены ножи 10.

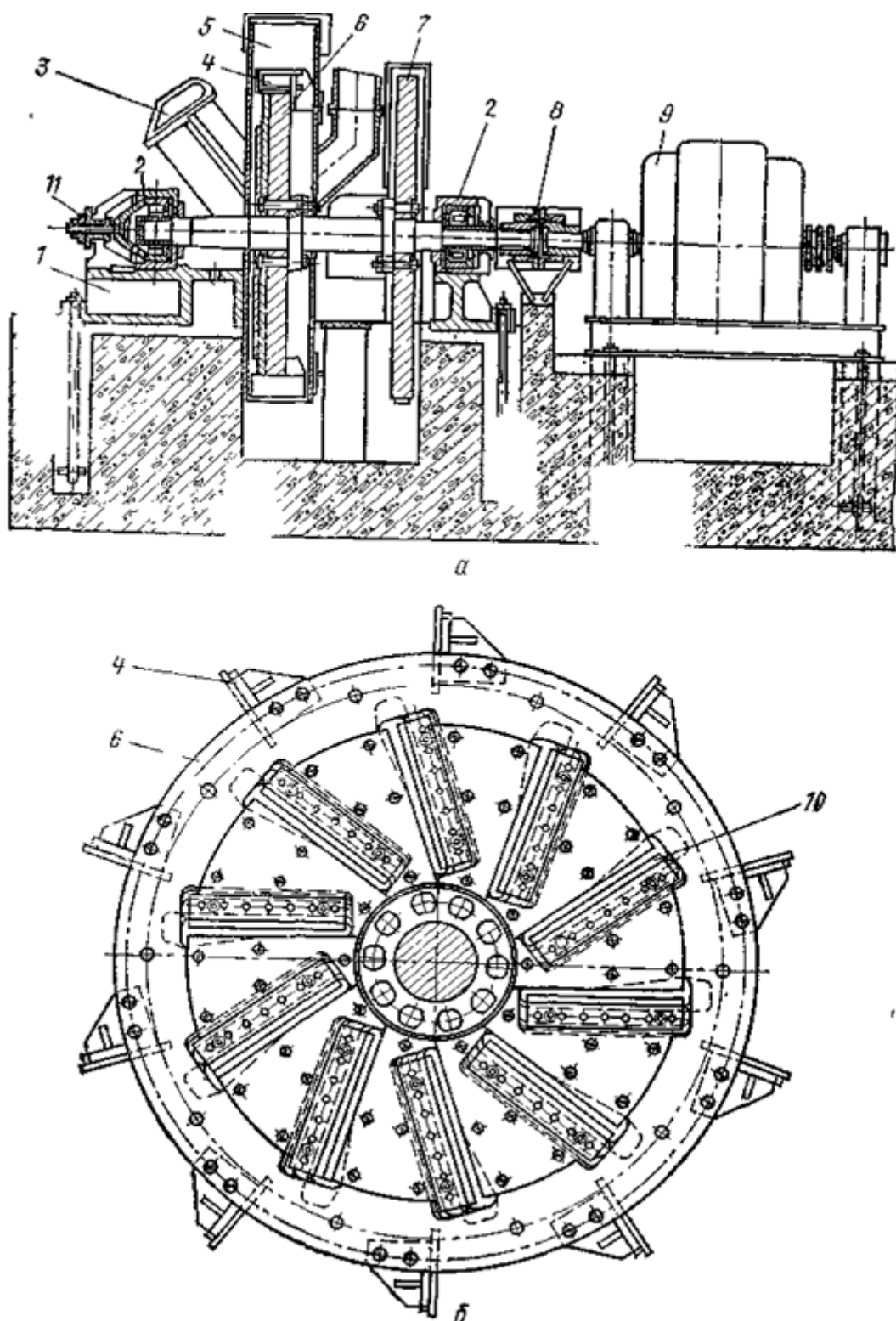


Рис. 2.5. Десятиножевая рубительная машина МРН-100:
а – продольный разрез; *б* – ножевой диск; 1 – станина; 2 – подшипники;
 3 – загрузочный патрубкок; 4 – лопатка; 5 – кожух; 6 – ножевой диск;
 7 – маховик; 8 – муфта; 9 – двигатель; 10 – нож; 11 – винтовое устройство

Древесина к ножевому диску подается при помощи загрузочного патрона (рис. 2.6). Внутренняя часть патрона футеруется съемными защитными листами. Контрножи закреплены внизу патрона.

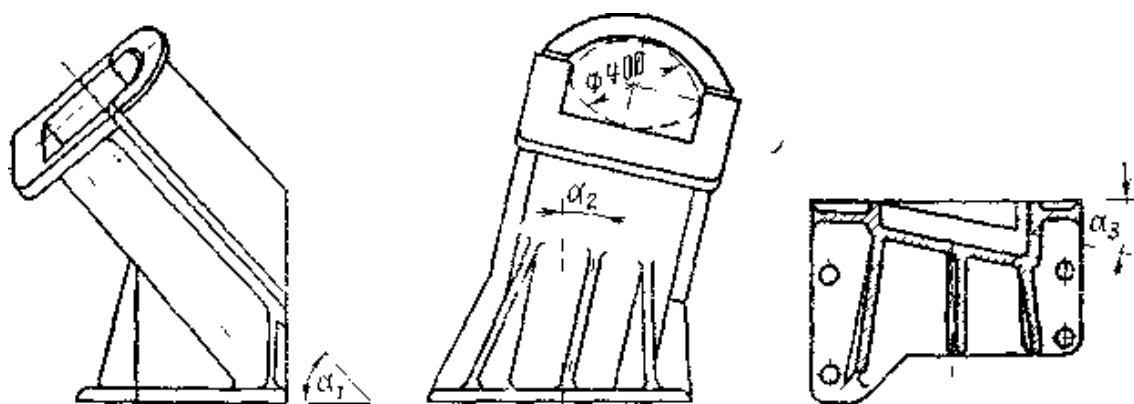


Рис. 2.6. Загрузочный патрон рубительной машины

Принцип работы дисковых рубительных машин заключается в следующем: древесное сырье по загрузочному патрону подается к вращающимся ножам диска. Каждый нож отрубает кусок древесины толщиной h (рис. 2.7), равной выпуску ножей за плоскость диска. Отрубаемая древесина распадается на отдельные элементы (щепу), которые сквозь подножевую щель проходят на приводную сторону диска и удаляются из рубительной машины.

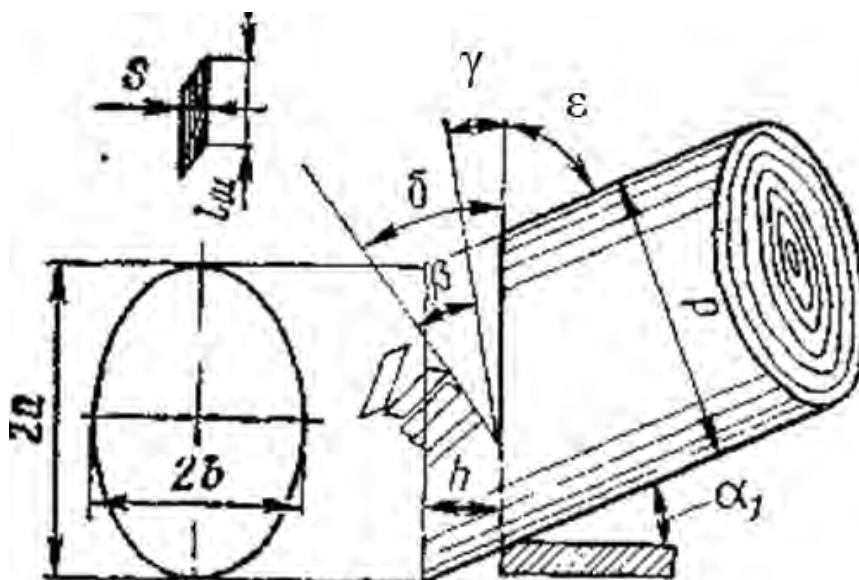


Рис. 2.7. Параметры резания древесины: γ – задний угол; δ – угол резания; β – угол заточки ножа; ϵ – угол встречи; α_1 – угол наклона оси баланса в вертикальной плоскости к оси ротора машины

2.4. Основные типы дисковых рубительных машин, анализ их конструкций и работы

2.4.1. Рубительные машины с наклонными и горизонтальными дисками

Рубительная машина с наклонным диском, как правило, имеет горизонтальную подачу (рис. 2.8) [11]. Балансы подаются конвейером к ножевому диску через патрон. Щепа выдувается из кожуха машины в циклон.

Машины с наклонным диском хорошо вписываются в одноэтажную компоновку древесно-подготовительного цеха, что снижает капитальные расходы [11]. Кроме того, в таких машинах отсутствуют удары древесины о диск. Все это является достоинством рубительных машин с наклонным диском.



Рис. 2.8. Рубительная машина с наклонным диском: 1 – привод; 2 – механизм рубки; 3 – механизм подачи

Но наклонное расположение диска и привода вносит ряд недостатков в конструкцию рубительной машины. При наклонном положении диска появляются осевые силы на подшипниковые опоры от силы тяжести и инерции ротора. В осевом направлении также действуют силы самозатягивания древесины, возникающие при рубке. Для восприятия осевых сил усиливают опоры вала. Усложняется также монтаж рубительной машины. Нередко происходит вытекание смазки из подшипниковых опор. Также возникают дополнительные сложности при техническом обслуживании.

Следующей разновидностью дисковых рубительных машин являются машины с горизонтальным диском. По литературным данным [7, 9], машины с горизонтальным расположением ножевого диска производят качественную щепу. К диску балансы подводятся одновременно

по двум–четырем питающим лоткам. Благодаря этому достигается высокая производительность машины, а также выравнивается нагрузка на двигатель. Производительность плотной древесины – 70...80 м³/ч. Недостаток такой конструкции – вертикальная установка приводного двигателя. Необходимо предусматривать уплотняющие устройства для предотвращения вытекания смазки из корпусов подшипников. Смазка может попасть на приводной шкив и ремни, что ухудшит условия передачи вращения к диску машины. Машине такой конструкции присущи все недостатки, связанные с необходимостью подачи балансов на второй этаж здания. При падении балансов сверху опоры ротора рубительной машины воспринимают полную силу удара балансов о диск.

Значительная высота цилиндрического корпуса машины требует большого расхода металла. Кроме того, при рубке балансов появляется большой опрокидывающий момент, который требует усиления узла крепления машины к ее фундаменту. Вес диска и других деталей создает осевую нагрузку на опоры вала, поэтому подшипниковые опоры работают в тяжелых условиях. Эти машины не получили широкого распространения в целлюлозно-бумажной промышленности, кроме отдельных случаев, не характерных для большинства предприятий.

2.4.2. Рубительная машина с безударным выбросом щепы

На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что при рубке воздушно-сухих и особенно мерзлых балансов количество отходов сортирования зависит в основном от скорости резания древесины.

При рубке воздушно-сухих и мерзлых балансов количество опилок в щепе пропорционально скорости рубки. Снижение скорости резания улучшает выход кондиционной технологической щепы. Также источником образования опилок является разбивание щепы при контакте с ножевым диском и с кожухом ножевого диска при удалении щепы из машины.

Исследования по движению щепы после ее отделения от балансов показали, что щепа движется вдоль подножевой щели под действием центробежных сил и по направлению подачи балансов под действием упругих сил, вызванных внедрением ножа в древесину [11].

Суммарная траектория движения щепы зависит от соотношения составляющих скорости движения, которые определяются скоростью

резания, модуля упругости древесины, коэффициента трения щепы по материалу ножа и массы щепы.

Как показали исследования, щепка после отруба движется в направлении подачи балансов и частично вдоль прорези к периферии диска. При движении щепка ударяется о ножевой диск и кожух машины. Если машина имеет верхний выброс щепы, происходит удар о лопатки на ножевом диске. Об ударах щепы о кожух машины свидетельствует также его интенсивный износ.

Теоретические исследования скорости резания и скорости движения щепы из зоны рубки, а также скоростная киносъемка процесса измельчения балансов показывают, что скорость движения щепы при эвакуации из зоны резания в зависимости от различных условий колеблется от 25 до 120 м/с. Удар щепы о стенку кожуха рубительной машины под углом около 45° при такой высокой скорости вызывает некоторое расслоение щепы и отделение щетинок, которые всегда имеются на срезанном торце щепки от действия передней грани ножа. Эти отделившиеся щетинки идут после сортирования щепы в отходы в виде опилок. Кроме того, в результате ударов щепы образуется также дополнительное количество тонких спичек.

Новая рубительная машина фирмы KMW имеет устройство для смягчения ударов [11]. Для этого сконструирован специальный канал на задней стенке кожуха машины, через который осуществляется отвод щепы в направлении ее выброса из зоны рубки. Такая система эвакуации щепы снижает количество опилок и спичек. Однако система отвода щепы в этой машине не устраняет основного источника образования опилок (особенно при рубке мерзлых балансов и из перестойных деревьев) – большой скорости резания.

В России создан лабораторный образец рубительной машины с пониженной скоростью резания и беспрепятственным выбросом щепы из пазухи на периферию диска и по направлению подачи балансов. Таким образом, исключено разбивание щепы об обод диска и кожух машины. Машина имеет диск 2 (рис. 2.9), на который при помощи шпонок устанавливают подкладки 3. На этих подкладках устанавливают режущие ножи 5, прижатые сверху накладкой 4, имеющей винтовую поверхность. Задние грани ножей выполнены также по винтовой поверхности. Накладки 4 прикреплены при помощи шпилек 1 к подкладкам 3 и диску 2. Между подкладками образуется пазуха для отрубаемой щепы. Питающий патрон 6 имеет обычную конструкцию. Выброс щепы осуществляется без ударов по касательной к диску и направляется в раструб, который также выполнен по направлению

подачи балансов. Такая машина позволяет увеличить производительность в 1,5–2 раза при обычных скоростях измельчения. Это достигается за счет того, что на диске размещается в два раза больше ножей, чем у обычной дисковой рубительной машины. Благодаря этому скорость резания в рубительной машине можно снизить до 6...10 м/с без заметного снижения производительности. Потери древесины при рубке мерзлых балансов уменьшаются с 16 до 4 % [4]. Кроме того, значительно улучшается фракционный состав щепы, так как исключаются удары щепы об обод диска и о кожух машины. В этой машине обеспечивается более устойчивое положение балансов в патроне, так как балансы даже малого диаметра непрерывно находятся под контролем двух ножей. Все это позволило снизить потери древесины в виде опилок до 0,5...1,5 % при рубке балансов из свежесрубленных еловых деревьев.

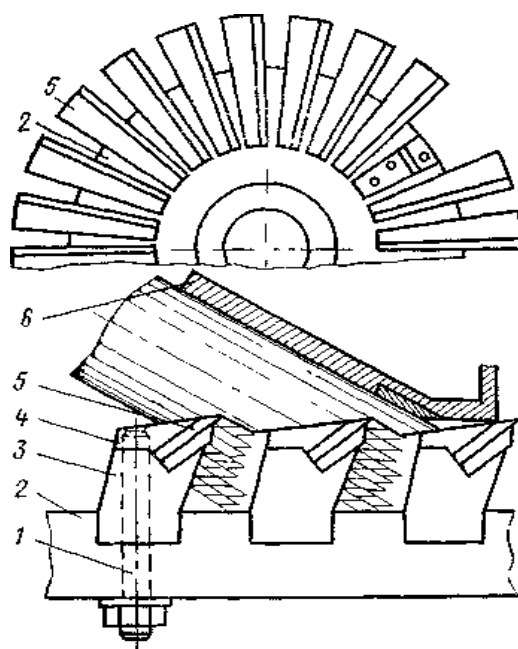


Рис. 2.9. Диск рубительной машины с безударным выбросом щепы:

1 – шпилька; 2 – диск; 3 – подкладки; 4 – накладка;

5 – режущие ножи; 6 – питающий патрон

Эта машина предназначена, в первую очередь, для измельчения мерзлых балансов, а также балансов из перестойных деревьев в районах Сибири и Дальнего Востока. Машина имеет две скорости рубки – 10 и 20 м/с для зимних и летних условий, соответственно. Кроме того, на сниженных скоростях можно успешно измельчать древесное сырье, которое при рубке на обычных скоростях дает до 15 % отходов

в виде опилок. Отсутствие прорезей в диске позволяет расположить на нем большее число ножей.

2.4.3. Рубительная машина с эвольвентными ножами

В обычных дисковых рубительных машинах прямолинейные ножи на диске располагаются по радиусу или под некоторым углом к нему. При этом внедрение ножа в древесину осуществляется с переменной скоростью по всей длине лезвия. С увеличением расстояния от центра диска к периферии скорость резания непрерывно возрастает и достигает до 30 м/с, т. е. в три–четыре раза превышает скорость резания у центра диска [11].

Однако при производстве щепы из мерзлой древесины возникает несоответствие скорости деформирования и релаксации древесного материала, поэтому мерзлая древесина ведет себя как хрупкое тело и при рубке потери древесины в виде опилок достигают 17 %. При прямолинейной форме режущей кромки ножей расстояние между ножами возрастает от центра ножевого диска к его периферии, что ухудшает качество получаемой щепы.

Для обеспечения постоянной минимальной составляющей скорости рубки, следующей перпендикулярно направлению волокон древесины и равной окружной скорости ножей у центра диска, а также для увеличения доли скользящего реза режущие кромки рубительных ножей выполняются криволинейными (рис. 2.10).

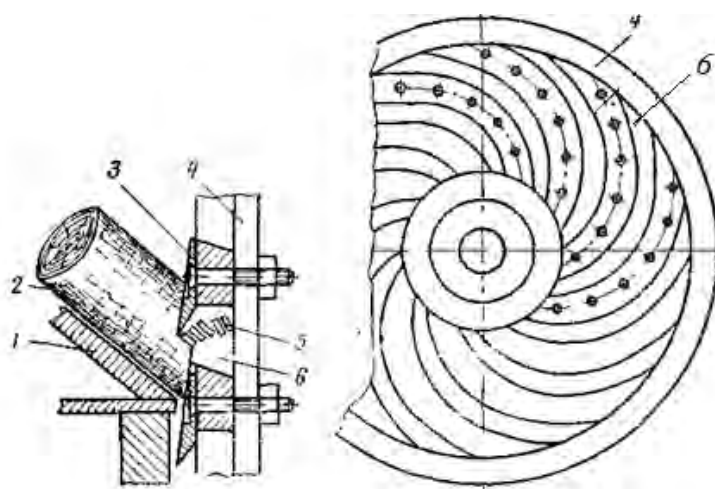


Рис. 2.10. Схема рубительной машины с эвольвентными ножами:

1 – патрон; 2 – баланс; 3 – криволинейные ножи; 4 – диск;

5 – щепа; 6 – подножевая щель

При криволинейной форме ножей обеспечивается постоянный контакт древесины с несколькими ножами независимо от геометрии резания.

Принцип действия машины заключается в следующем. Баланс 2 (см. рис. 2.10) по патрону 1 поступает на криволинейные ножи 3 на диске 4. Режущая кромка ножа 3 криволинейна, и внедрение ножа в баланс происходит перпендикулярно направлению волокон и с постоянной скоростью. Щепа 5 из подножевой щели 6 выбрасывается по касательной к окружности диска. Вновь образованный торец баланса 2 скользит по задней грани криволинейного ножа 3. Криволинейная форма режущей кромки ножа позволяет получить минимальную скорость внедрения ножа в баланс. Как показали исследования, при рубке мерзлых балансов из лиственницы происходит уменьшение потерь древесины до четырех раз по сравнению с рубкой на прямолинейных ножах [11].

2.4.4. Рубительные машины для получения щепы с заданными размерами

При рубке на рубительных машинах можно изменять только толщину щепы. Толщина щепы зависит от величины выпуска лезвия ножей над плоскостью ножевого диска. Длина щепы зависит от строения и физико-механических свойств древесины. Но из-за различия этих параметров щепы, полученная на обычных дисковых рубительных машинах, имеет неоднородность по размерам.

При рубке на рубительных машинах происходит повреждение щепы вследствие сжатия ее вдоль древесных волокон передней гранью ножа, что снижает прочностные показатели полуфабриката на 10...15 % [11].

Для производства щепы с заданными размерами по толщине и длине предложена конструкция машины, у которой толщина щепы определяется вылетом ножей над поверхностью ножевого диска, а длина определяется шагом ножей на неподвижных ножах на кожухе ножевой рубительной машины. Рубка балансов происходит в продольно-поперечном направлении. При этом получается стружка требуемой толщины, которая по мере образования нарезается неподвижными ножами на щепу требуемой длины [11].

Такая рубительная машина (рис. 2.11) состоит из питателя 5, по периметру которого со стороны диска установлены неподвижные ножи 7. Ширина питателя равна длине измельчаемой древесины.

На ножевом диске 6 установлены подвижные ножи 4 с вылетом над поверхностью диска, равным толщине щепы. На тыльной стороне ножевого диска 6 находятся контрножи 3. На кожухе 1 машины установлены неподвижные с постоянным шагом ножи 2. Шаг ножей 2 соответствует длине получаемой щепы.

Рубительная машина работает следующим образом. Балансы по питателю 5 подают к диску 6, рубительные ножи 4 которого, осуществляя продольно-поперечное резание, послойно срезают стружку требуемой толщины. Стружка через ножевые щели поступает на нерабочую сторону диска 6. Контрножи 3, вращаясь с диском 6, прижимают стружку последовательно к лезвиям неподвижных ножей 2, которые и разрезают стружку на щепу заданной длины.

Щепу с заданными размерами по толщине и длине можно получать на барабанных рубительных машинах, разработанных канадской компанией «Англо-Пейпер Продактс» и изготовленных в Швеции. Изготовлено несколько образцов барабанных рубительных машин, которые в настоящее время работают за рубежом.

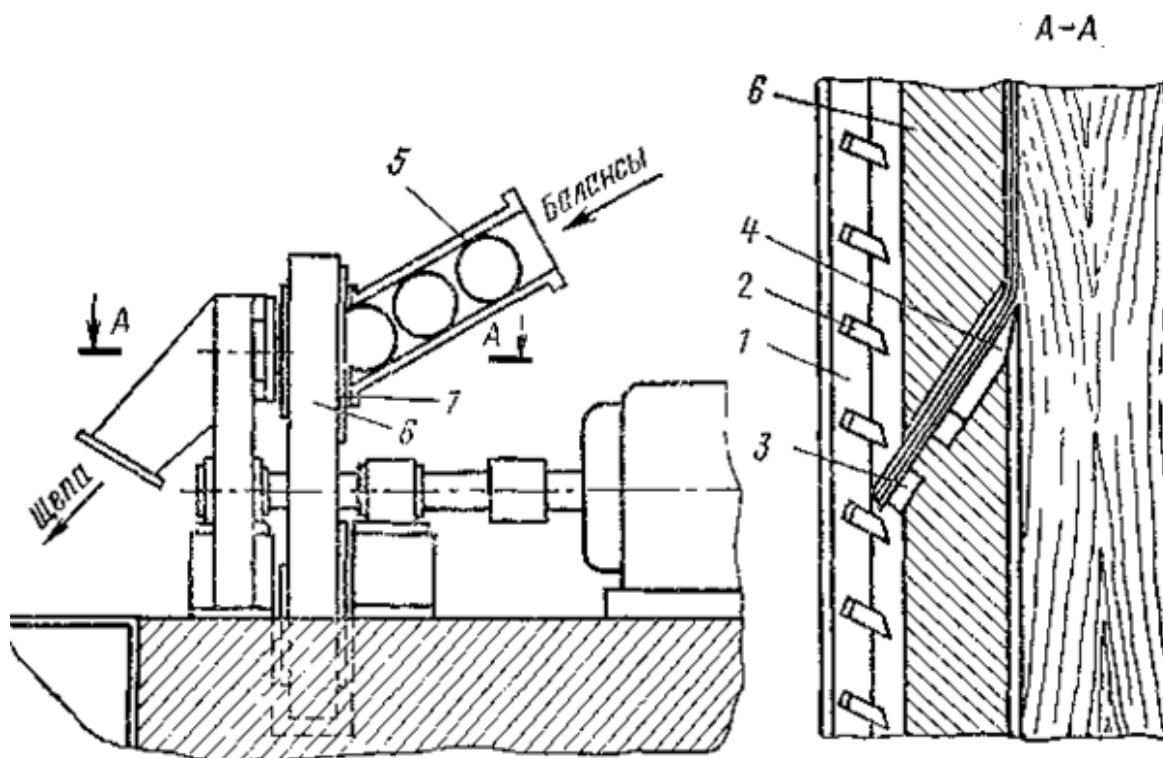


Рис. 2.11. Схема рубительной машины для получения щепы с заданными размерами по длине и толщине: 1 – кожух; 2, 4 – ножи; 3 – контрнож; 5 – питатель; 6 – диск ножевой; 7 – неподвижные ножи

Барабанная рубительная машина марки 680-А фирмы «Содерхамнс» (рис. 2.12) напоминает цепной дефибрер, в котором камень заменен барабаном с ножами на его боковой поверхности. Резание древесины происходит с помощью ножевого барабана с частотой вращения $0,3 \dots 0,5 \text{ с}^{-1}$.

Цилиндрическая поверхность ножевого барабана имеет прорезы вдоль образующей, в которых по окружности барабана установлены ножи двух типов. Один тип ножей представляет собой режущий инструмент с перпендикулярными боковыми кромками по обоим сторонам главной кромки такой формы, чтобы прорезать в древесине неглубокие желобки (рис. 2.12, *а*), ширина и глубина которых определяет длину и толщину щепы. Ножи второго типа установлены по всей длине барабана и служат для среза площадок между желобками, в результате чего образуется вторая группа лент древесины таких же размеров, как и первая. Ленты проходят через прорезы внутрь барабана, разламываясь при этом на щепу, которая выдувается через торец барабана.

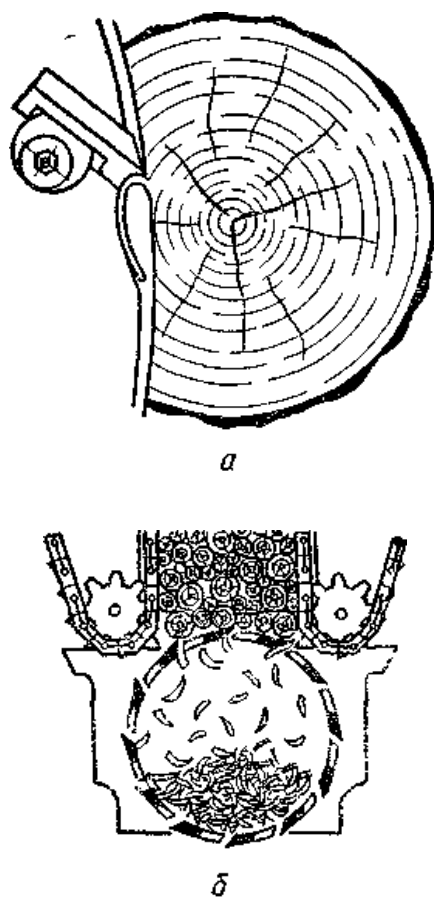


Рис. 2.12. Схема резания рубительной машины 680-А:
а – взаимодействие ножа с древесиной; *б* – рубка щепы

В барабанной рубительной машине длина щепы задается конструкцией ножей, а толщина щепы – выступом над поверхностью барабана [9]. Древесина в барабанной машине срезается ножом и получается лента, которая рассыпается на отдельные элементы и образуется щепа. Поэтому повреждение щепы за счет продольного сжатия ножами уменьшается, а расход энергии снижается.

Механизм подачи балансов к рубительной машине представляет собой вертикальную шахту с двумя цепными транспортерами. Балансы, подлежащие переработке, загружаются в шахту с помощью ленточного конвейера. Шахта имеет с каждой стороны по две цепи (рис. 2.12, б), которые движутся синхронно. Древесина между двумя цепями подается к ножевому барабану. Длина ножевого барабана и ширина загрузочной шахты зависят от типоразмера рубительной машины, который также определяет максимальную длину перерабатываемых балансов. Производительность такой рубительной машины при производстве щепы составляет 175...360 м³/ч.

Щепа, получаемая на барабанной рубительной машине, имеет равномерный фракционный состав и меньшее количество мелочи и крупной щепы. Значительно уменьшается шум и расход энергии при рубке балансов. Увеличивается технический ресурс ножей. Уменьшение деформации щепы от осевого сжатия обеспечило увеличение сопротивления целлюлозы продавливанию на 20 %, раздиранию на 10 %, разрывная длина повысилась на 10 % по сравнению с этими же показателями целлюлозы из щепы, полученной на обычных дисковых рубительных машинах. По показателям прочности полученная целлюлоза не уступает целлюлозе, сваренной из щепы ручного приготовления.

Так как щепа нового типа оказалась очень рыхлой, степень заполнения варочного котла на 10 % меньше, чем в случае обычной щепы. Чтобы избежать этого недостатка, барабанные рубительные машины, изготавливаемые в Швеции, стали конструировать так, чтобы получить щепу длиной около 33 мм вместо 50 мм, толщина щепы была увеличена с 3,2 до 6,4 мм.

Щепа толщиной 6...4 мм представляется несколько завышенной, однако варочный раствор легко проникает в щепу через трещины, образующиеся при изгибе древесных лент. Равномерное и быстрое проникновение варочного раствора в щепу и небольшое количество отходов сортирования обусловили целесообразность выработки целлюлозы повышенного выхода из древесины, что имеет особый интерес при производстве небеленой целлюлозы. Другим следствием улучшения пропитки щепы является сокращение продолжительности варки

и увеличение степени белизны целлюлозы. Сортирование щепы после барабанной рубительной машины не обязательно.

Недостаток барабанной рубительной машины с поперечной подачей заключается в необходимости распиливать круглые лесоматериалы на отрезки определенной длины. Другой недостаток – необходимость равномерной загрузки шахты машины, так как для обеспечения хорошей работы машины ее шахта должна быть загружена доверху. В известной мере этот недостаток устраняется установкой двухскоростного электродвигателя.

Основной недостаток барабанных рубительных машин – щепа, получаемая на этих машинах, не транспортабельна, не может храниться в кучах или силосах, не может транспортироваться в трубопроводах. Такая щепа легко крошится и превращается в спички и опилки, поэтому эти машины не нашли широкого применения в промышленности.

2.4.5. Новые рубительные машины

В России выпускается дисковая рубительная машина марки МРН-150 для измельчения балансов диаметром до 700 мм. По принципу работы эта машина не отличается от обычных дисковых рубительных машин.

Древесное сырье по наклонному загрузочному патрону подается под вращающиеся ножи диска. Каждый нож отрезает часть древесины толщиной, равной выпуску режущих ножей над поверхностью диска. Отрезанная древесина распадается на отдельные элементы (щепу), которые через подножевую щель проходят на приводную сторону диска. На периферии диска закреплены лопатки, которые создают необходимый воздушный напор, благодаря чему щепа транспортируется в циклон (верхний выброс щепы).

Основные узлы машины: рама, станины лицевой и приводной сторон, подшипники лицевой и приводной сторон, ножевой диск с валом, патрон, тормоз, муфта зубчатая, кожух машины, циклон. Рама рубительной машины сварена из швеллера и стальных плит, служащих основанием для крепления корпусов подшипников. К внешним стенкам рамы приварены захваты, служащие для крепления рамы к арматуре фундамента. Станина лицевой стороны служит для установки лицевого подшипника, патрона и контрножа. Она представляет собой чугунную отливку и крепится болтами через раму к фундаменту. В станине

предусмотрена выемка для установки контрножа. Положение контрножа фиксируется соединением в паз и тремя болтами. Станина приводной стороны предназначена для установки подшипника приводной стороны и крепления тормоза. Она представляет собой сваренную из толстолистовой стали стойку с отверстиями для крепления ее к фундаменту [11].

Опорами лицевой и приводной сторон вала ножевого диска являются сферические роликоподшипники. Подшипники вмонтированы в стальные стаканы, которые с помощью винтового устройства, расположенного на торце корпуса подшипника лицевой стороны, могут передвигаться вместе с валом, ножевым диском и тормозным шкивом вдоль чугунных корпусов подшипников.

Винтовое устройство для осевого перемещения ножевого диска обеспечивает установку и регулировку зазора между ножами диска и контрножом. Один оборот гайки обеспечивает перемещение винта, а вместе с ним и ножевого диска на расстояние 4 мм. В подшипниковых узлах предусмотрены лабиринтные уплотнения. Двенадцатиножевой диск (рис. 2.13) диаметром 3000 мм крепится к валу болтами.

В целях предохранения диска от истирающего действия древесины к его рабочей поверхности шпильками прикреплены 12 защитных секторов, изготавливаемых из стали 40ХГ. Поверхность секторов для повышения износостойкости наплавляется на глубину 1,5...2 мм специальными электродами марки Т-550. Для улучшения качества получаемой щепы при рубке древесины рабочая поверхность сектора выполняется конусной.

Защитный сектор крепится к диску при помощи пяти шпилек, а его положение на диске зафиксировано шпонкой. Наружная поверхность сектора служит опорой для баланса во время затягивания его ножами диска и фиксирует заданную длину щепы по волокну. Внутренняя поверхность сектора прижимается шпильками к поверхности диска. Скошенная боковая поверхность является опорой для ножа со стороны его задней грани.

Диск имеет двенадцать окон для выхода щепы, наклоненных по ходу вращения ножевого диска к радиусу. В гнезда окон вставляются ножи, которые при помощи прижимных подставок с болтами прижимаются к защитным секторам. Ножи с размерами 817×147×14 мм изготавливаются из износостойчивой стали марки 55×7ВСФМ.

После переточки ширина ножа уменьшается, нормальная ширина ножа восстанавливается наплавкой на его пятку.

На периферии ножевого диска расположены двенадцать радиальных лопаток, обеспечивающих эвакуацию щепы от рубительной машины в циклон. Рабочая поверхность лопаток сменная. После крепления ножевого диска на валу производят статическую балансировку. Патрон загрузочный сварной конструкции состоит из коробки и крышки, скрепленных между собой болтами. В верхней части патрон имеет фланец с отверстиями для крепления подставки патрона и загрузочного лотка. Внутренняя часть коробки патрона в зоне интенсивного износа наваривается электродом марки Т-590 для предохранения от истирания.

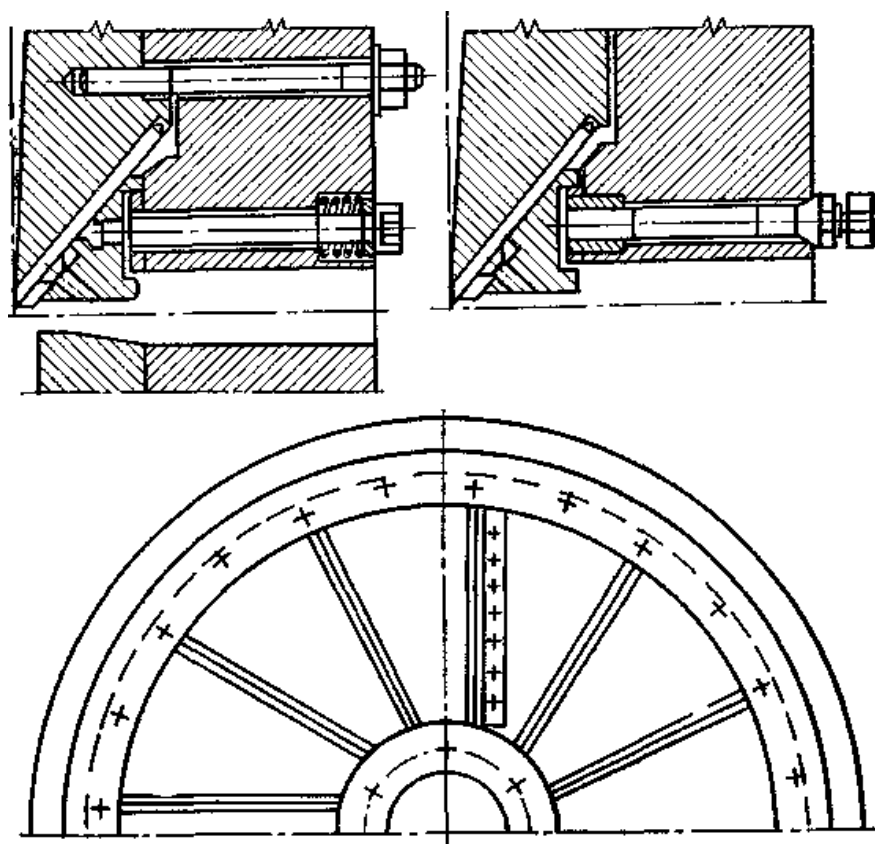


Рис. 2.13. Диск рубительной машины МРН-150

В нижней части патрон заканчивается основанием, которое крепится болтами к станине, закрывая контрнож. При снятии контрножа необходимо поднять загрузочный патрон с помощью специального установочного винта. Загрузочный патрон относительно диска устанавливают так, чтобы угол между ножевым диском и осью патрона составлял 38° (от горизонта 52°), угол между осью вала и проекцией оси патрона на горизонтальную плоскость – 25° , угол разворота дна патрона – 5° .

Торможение вала с ножевым диском при остановке машины осуществляется колодочным тормозом. Тормоз состоит из двух колодок и рычажной системы, прикрепленной к основанию машины. При поднятии тормозного рычага вверх колодки прижимаются к тормозному шкиву и создают тормозной момент. При опущенном рычаге между тормозным шкивом и колодками должен быть зазор 8...10 мм.

Муфта служит для соединения вала электродвигателя с валом рубительной машины. Максимальный крутящий момент, который может передать муфта, составляет 150 кНм. Зубчатое сопряжение муфты изготавливается с эвольвентным профилем зуба и углом зацепления 20° нормальной точности. Муфта обеспечивает возможность осевого перемещения ножевого диска с валом на расстояние до 15 мм.

Кожух предназначен для ограждения диска с ножами и является направляющим каналом для потока щепы. Для удобства монтажа и обслуживания машины кожух выполнен из двух частей верхней и нижней, скрепленных болтами. Верхняя половина кожуха имеет рукав для выброса щепы в циклон и отверстие для присоединения рециркуляционного воздухопровода. Кроме того, в кожухе имеются отверстия для патрона и люки, закрываемые дверцами. Эти люки используют при смене ножей. В нижней части кожуха имеются отверстия для установки контрножа и замера зазора между ножами диска и контрножом [11].

Циклон машины предназначен для отделения щепы из щеповоздушной смеси и рециркуляции воздуха. Конструкция циклона сварная из листовой стали. Циклон состоит из цилиндрической обечайки, воздушного колпака и конуса. Воздушный колпак, закрытый сверху, крепится к обечайке тремя растяжками и, кроме того, приваривается к крышке обечайки. В верхней части колпака имеется люк для очистки и осмотра циклона. Весь циклон в сборе устанавливается на опоре высотой 5200 мм, что позволяет разместить под ним оборудование технологического потока рубки и сортирования щепы.

При эксплуатации рубительной машины МРН-150 необходимо соблюдать следующие условия. Ножи диска заменяют в среднем через каждые 8 ч работы. Период заточки ножей зависит от количества изрубаемого сырья, его чистоты, влажности и температуры. Для замены ножей открывают дверцы на верхней половине кожуха ножевого диска и отпускают ножевые болты, прижимающие подставку к ножу. При этом пружина с болтом отжимает прижимную вставку и освобождает нож, и он легко вынимается из гнезда. Перед заточкой

ножей отбивают наплавитель. После заточки ножи вставляют в специальное приспособление для восстановления рабочей ширины ножа. Приспособление состоит из опоры, уголка со штырем, прижимных винтов с маховичками и выталкивателя. Для наплавления приспособление следует немного нагреть. Рекомендуемый состав наплавителя – 83 % свинца и 17 % сурьмы.

При значительном износе ножа по ширине (более 40 мм) применяют промежуточные планки. После заточки и наплавки ножи устанавливают в гнезда ножевого диска. Для очистки прижимных поверхностей может быть применен сжатый воздух. Установленные ножи должны иметь равный вылет за плоскость диска. Зазор проверяют щупом. Контрнож заменяют приблизительно через 4...5 недель работы, или когда будет изрублено 10...12 тыс. м³ плотной древесины.

При ремонте контрножа осуществляют наплавку изношенной поверхности электродами типа Т-590. После наплавки электродом проводят чеканку наплавленной поверхности в горячем состоянии во избежание трещин. Рабочую поверхность контрножа и поверхность, прилегающую к патрону, шлифуют, а скос зачищают наждаком вручную. Зубчатое зацепление муфты работает в масляной ванне. Масло заливают в специальное отверстие на зубчатой втулке, закрываемое пробкой.

Рубительная машина фирмы “ANDRITZ” типа 116 имеет следующие основные узлы [11]: механизм резания, питающий патрон и привод. Механизм резания выполнен в виде вращающегося диска (рис. 2.14), несущего на себе режущие ножи 2 с геликоидальной задней гранью. Поверхность диска выполнена плоской как с лицевой, так и с приводной стороны. На лицевой стороне диска 7 подкладки 6 фиксируются шпилькой 4 и крепятся винтами 5. К подкладке прикреплен стружколоматель 1, который предохраняет подкладку от быстрого износа.

Режущий нож 2 устанавливается в специальное гнездо на подкладке и сверху прижимается накладкой 3, которая крепится к диску 7 при помощи шпилек 8. Накладка передней своей частью опирается на нож по всей его ширине, а задней – на подкладку. Таким образом надежно удерживает нож. От смещения назад накладку удерживает специальный выступ, который входит в углубление на подкладке. Лицевая сторона накладки выполнена по геликоидальной поверхности, которая является продолжением геликоидальной поверхности задней грани ножа. Диск установлен на валу 10 с натягом и зафиксирован на

валу при помощи шпонки. Кроме того, диск крепится к фланцу 11 при помощи болтов 12.

На нерабочей стороне диска и его ободу установлены вентиляционные лопатки 13, которые создают необходимый воздушный напор для удаления щепы из кожуха машины в циклон.

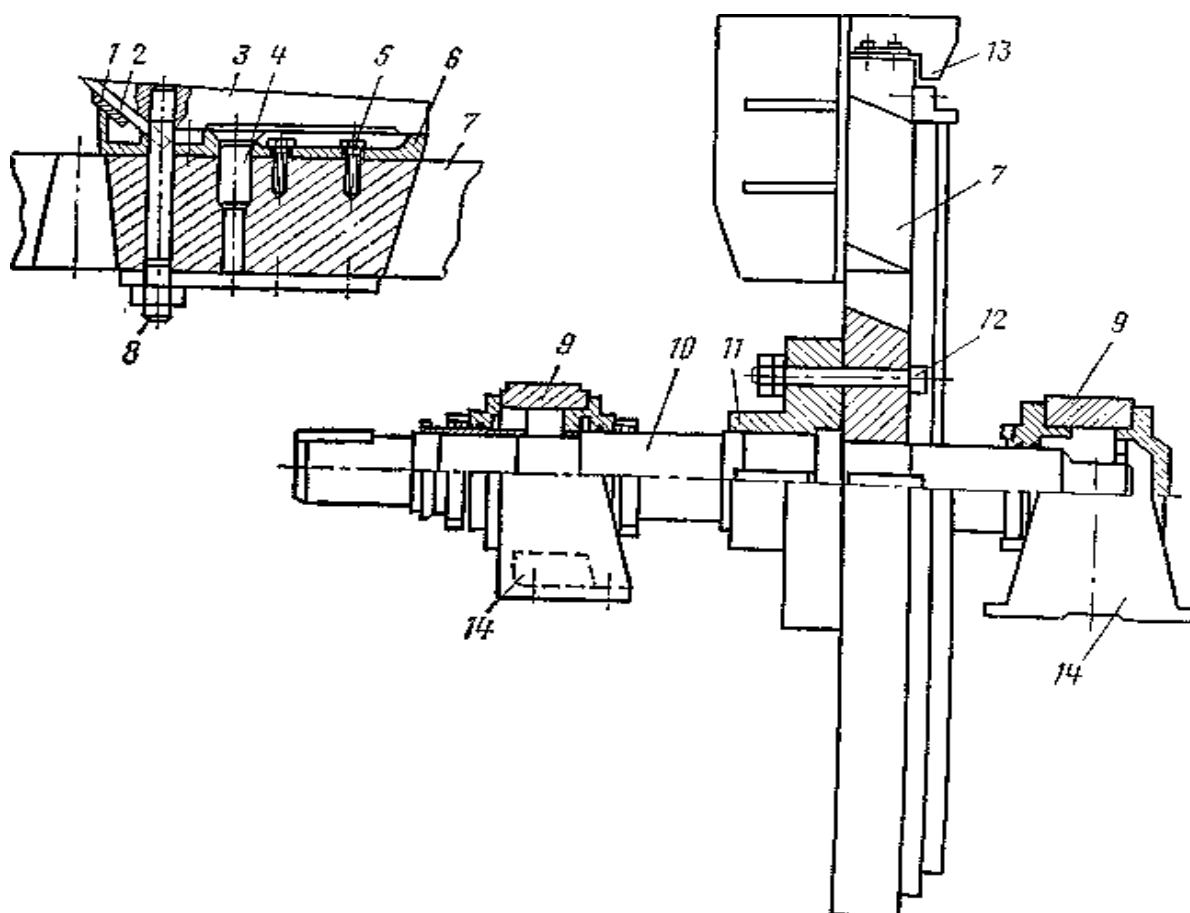


Рис. 2.14. Продольный разрез по ротору рубительной машины «Блэк-Клавзен»: 1 – стружколоматель; 2 – режущий нож; 3 – накладка; 4, 8 – шпилька; 5 – винт; 6 – подкладка; 7 – ножевой диск; 9 – подшипниковая опора; 10 – вал; 11 – фланец; 12 – болт; 13 – лопатка; 14 – корпус подшипника

Вал 10 ножевого диска 7 смонтирован на двух подшипниковых опорах 9. С лицевой стороны диска установлен подшипник роликовый, двухрядный, конический, а со стороны привода – роликовый, двухрядный цилиндрический. Подшипники установлены на раме 14. По желанию заказчика поставляется электродвигатель, соединенный соосно с валом рубительной машины при помощи зубчатой муфты или с боковой установкой электродвигателя с применением ременной передачи.

Диск с режущими ножами закрыт защитным кожухом, выполненным из мягкой стали, снабженным двумя люками для легкого доступа при смене ножей и осмотре диска. Нормальный срок службы кожуха – 5...10 лет. Он зависит в основном от кислот, выделяющихся во время рубки древесного сырья, его влажности, а также от наличия водяных sprays. В верхней части кожуха имеется окно для удаления щепы из машины. Изнутри кожух футерован специальной сталью, хорошо сопротивляющейся абразивному воздействию щепы, разгоняемой лопатками диска. Питающий патрон по своей форме очень близок к прямоугольному и имеет два угла наклона по отношению к плоскости диска. Сечение патрона – 765×685 мм. Благодаря развороту патрона в горизонтальной плоскости баланс во время измельчения опирается на дно и одну боковую стенку патрона. Это позволяет измельчать как балансы большого и малого диаметра, так и отходы лесопиления. Питающий патрон снабжен двумя контрножами, один из них установлен на боковой стенке патрона (у вала диска), другой – на дне патрона.

Зазор между режущими ножами диска и контрножами регулируется перемещением и разворотом ножей патрона относительно всего лезвия подвижного ножа при помощи регулировочных винтов, установленных на обоих контрножах. После регулировки зазора, который при рубке отходов лесопиления должен быть не более 0,5 мм и при рубке балансов не более 1 мм, затягивают болты крепления контрножей и регулирующие винты.

Оба контрножа должны иметь прямую, острую рабочую кромку, так как от ее состояния и зазора между ножами зависит качество щепы. Контрножи имеют две рабочие кромки. После износа одного лезвия контрнож переворачивают. При чрезмерном износе лезвия контрножа допускается одно- или двукратная заточка до их переворачивания на опоре. При износе обоих лезвий допускается наплавка поверхностей контрножей с последующей расточкой. Однако при износе контрножей лучше заменять их новыми.

Для получения высококачественной щепы с равномерной длиной по волокну чрезвычайно важна своевременная и правильная заточка ножей диска и их сопряжение с геликоидальной поверхностью накладки при установке на диске. Затачивают ножи диска, как правило, в струе охлаждающей жидкости. После заточки проверяют ширину ножей по шаблону. Если ширина ножа меньше заданной, снимают оставшуюся насадку, ставят ножи в шаблон и отливают новые накладки. Допуск размеров ножа плюс накладки не должен превышать 0,15 мм, так как контрножи отрегулированы в зависимости от самого

широкого ножа и всякое изменение ширины ножа создает чрезмерный зазор между ножами диска и контрножом, что плохо отражается на качестве щепы.

Перед установкой ножей на диск воздушной струей удаляют грязь и пыль, скопившуюся в гнездах. Затем устанавливают каждый нож в гнездо, прижимают к опоре и после этого затягивают гайки геликоидальной накладки с моментом 400...500 Нм. Передняя кромка накладки при этом должна прилегать по всей длине ножа, а задняя грань ножа должна слегка выступать над поверхностью геликоидальной накладки. Неправильная затяжка способствует образованию зазора между передней кромкой геликоидальной накладки и поверхностью ножа. Опилки или кусочки древесины будут попадать в этот зазор и деформировать накладку. При плохой заточке или неправильной подгонке ножей их задняя грань будет утоплена относительно горизонтальной поверхности накладки, что приведет к образованию большого количества опилок и мелочи.

После того как все ножи установлены на диск, проверяют зазор между лезвиями подвижных ножей и контрножей.

При переработке чистых балансов с нормальной влажностью ножи рекомендуется менять через каждые 8 ч. При рубке плохо промытых или неокоренных балансов ножи меняют каждые 4 ч.

При рубке смолистых балансов рекомендуется устанавливать водяной распылитель (он представляет собой трубку диаметром 6 мм, заканчивающуюся соплом диаметром около 1,5 мм). Вода из распылителя покрывает всю поверхность диска и играет роль смазки для ножей, кроме того, она препятствует скоплению смолы и растворяет кислоты, выделяющиеся при рубке из древесины. Наличие распылителя способствует значительной экономии электроэнергии, особенно при рубке смолистых и сухих балансов.

Каждый комплект подкладок и геликоидальных накладок предусмотрен для производства щепы трех (стандартных) длин: 10, 16 и 22 мм.

Внешняя поверхность накладок обработана и притерта по геликоиду. При такой форме поверхности накладки обеспечивается равномерное перемещение балансов под ножи диска и контактирование всей срезанной его поверхности с поверхностью накладок диска. Так как поверхность накладок непрерывно контактирует с балансом и подвергается интенсивному истиранию, ее хромируют, что способствует плавному скольжению баланса под ножи диска.

Роликовые подшипники, установленные в машине, рассчитаны на 100000 ч работы [11]. При температуре окружающей среды около 15...20 °С осевой зазор составляет примерно 0,25 мм.

В течение первой недели работы машины температура подшипников поднимается и осевой зазор приближается к нулю. Если в это время постоянно перегружать машину, то это может повлечь за собой дальнейшее увеличение температуры подшипников и их заклинивание, что, в свою очередь, способствует повышению температуры подшипников и может привести к их растрескиванию.

При нормальных условиях эксплуатации в течение первой недели температура подшипников приближается к 45...65 °С. После этого периода по мере приработки подшипников температура снижается до 40 °С и даже ниже. Уход за подшипниками сводится к их промывке и смазке через каждые 6 мес. работы машины.

Рубительные машины фирмы “Andritz” типа 116" могут поставляться с выбросом щепы вниз на конвейер, проходящий под машиной, а также с принудительным выбросом щепы в циклон при помощи воздушного напора, создаваемого лопатками диска рубительной машины.

В России работают в основном машины с принудительным верхним выбросом. Воздушный напор, создаваемый машиной, достаточен для транспортирования щепы на расстояние до 15 м с подъемом на 7,5 м. Сечение трубопровода при этом должно быть равно или больше выходного отверстия в кожухе. Трубопровод может быть круглого или прямоугольного сечения. Применение для транспортирования щепы трубопроводов прямоугольного и круглого сечения в одной нитке нежелательно, так как это вызывает турбулентность при движении щеповоздушной смеси. Трубопровод прямоугольного сечения более экономичен, так как его скашивающаяся часть может быть футерована стальными пластинами, которые легко заменить в случае износа. При указанной дальности транспортирования и высоте подъема щепы по всей длине трубопровода может быть выполнено лишь одно колено с радиусом не менее чем в 6 раз больше диаметра трубопровода. Рубительная машина барабанная резцовая МРБР-800 предназначена для измельчения отрезков древесины (откомлевки, отторцовки) на технологическую щепу для плитного и гидролизного производства и топливную щепу [11]. Область применения – предприятия для производства плит ДВП, ДСП и котельные, работающие на древесном топливе. На рис. 2.15 представлена рубительная машина барабанного типа, резцовая с наклонной загрузкой сырья и выбросом щепы вниз на конвейер.

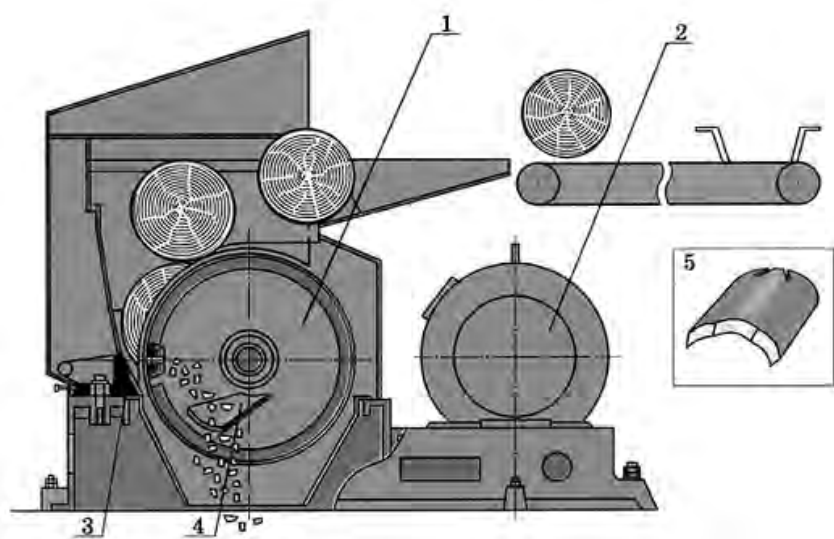


Рис. 2.15. Машина рубительная МРБР-800:
1 – многолезцовый ротор; 2 – привод; 3 – контрнож;
4 – лоток для выгрузки щепы; 5 – резец

Основные узлы рубительной машины – ротор с резцами для поперечного резания древесины, сварные станины ротора и привода, соединенные между собой крепежом, лоток приемный. Ротор представляет собой литой полый барабан, на наружной поверхности которого по винтовой линии расположены резцы. Вращение ротора осуществляется от приводного электродвигателя через клиноременную передачу.

2.4.6. Анализ конструкций и работы дисковых рубительных машин

Анализ конструкций рубительных машин различных типов и их технико-экономических показателей позволяет сделать следующие выводы [11]:

1) малоножевые тихоходные машины с большим диаметром диска (2800...3200 мм) имеют прерывистое резание древесины и дают щепу низкого качества. Эти машин не имеют перспектив дальнейшего применения в промышленности;

2) спиральные рубительные машины, машины с принудительной подачей древесины, машины барабанного типа, машины с наклонными и горизонтальными дисками, а также планетарная машина находят применение лишь на отдельных предприятиях;

3) для дисковых машин лучшие результаты по фракционному составу щепы, удельному расходу энергии, производительности

и другим технико-экономическим показателям получены при измельчении балансов различных пород (ели, сосны, березы и осины) на многоножевых рубительных машинах и особенно на машинах с геликоидальной поверхностью режущих ножей и диска. Эти машины обеспечивают непрерывное резание для большей части измельчаемых балансов.

Для коротких балансов (до 2 м) следует рекомендовать дисковые многоножевые машины с наклонным патроном, а для длинных балансов (4...6,5 м) – машины с горизонтальной подачей;

4) у быстроходных машин целесообразно принять нижний выброс щепы несмотря на то, что при верхнем выбросе несколько упрощается компоновка транспортного оборудования. Удаление щепы из кожуха машины в циклон сопровождается заметным увеличением расхода энергии и получением большего количества пыли и мелкой щепы. Если невозможно отказаться от верхнего выброса щепы, необходимо, чтобы конструкция машины обеспечивала транспортировку щепы с небольшой затратой энергии и без дробления щепы о стенки щепопровода и в циклоне;

5) заслуживают внимания рубительные машины с пониженной скоростью и с безударным удалением щепы. Их внедрение в производство позволит получать повышенный выход кондиционной щепы;

6) для измельчения сухих и особенно мерзлых балансов следует значительно (в 2...3 раза) снижать скорости резания во избежание получения большого количества мелочи и опилок;

7) для измельчения в щепу мелких древесных отходов и шпона целесообразно применять многоножевые дисковые машины с геликоидальными ножами и принудительной подачей, а также барабанные рубительные машины с принудительной подачей.

3. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Основные стадии процесса размола волокнистых полуфабрикатов

В зависимости от поступающего в древесно-массный цех древесного сырья процесс подготовки бумажной массы можно расчленить на отдельные стадии [12]:

- если сырьем являются целлюлоза, макулатура, сухой брак, то основными стадиями являются роспуск, окончательный роспуск и массный размол;

- если сырьем являются щепа, сучки, непровар, то предварительной стадией измельчения перед массным размолом являются дефибрация или горячий размол.

Каждая стадия требует применения особых размалывающих машин. Основной целью предварительного роспуска является разрыв и роспуск листового материала на лепестки, пучки волокон. Эта операция, как правило, производится в гидроразбивателях. Для разделения на отдельные волокна лепестков, узелков и пучков используются специальные машины окончательного роспуска, использующие разные принципы работы: роторно-пульсационные машины (энтштипперы, фиберайзеры, дефлакеры), гидроакустические аппараты. Иногда обработка на этом оборудовании не производится, а масса после гидроразбивателей направляется в конические или дисковые мельницы. В случае поступления на бумажную фабрику волокнистых полуфабрикатов в виде жидкой массы стадию предварительного и окончательного роспуска из схемы размола исключают и производят массный размол [12].

Массный размол волокон, их фибриллирование и гидратация обеспечивают повышение механической прочности, улучшение внешнего вида и других важных свойств бумаги. В процессе размола, осуществляемого в основном в машинах с ножевой гарнитурой, волокнистый материал подвергается различным механическим воздействиям: сжатию, сдвигу, кручению. При этом волокна разрезаются, раздавливаются, расщепляются в продольном направлении, фибриллируются, становятся более гибкими и пластичными, часть мелких фибрилл отделяется от волокна, образуя мелочь и бесструктурную слизь. Все процессы сопровождаются набуханием волокон.

Таким образом, процесс массного размола – это механическое действие, которое в присутствии воды модифицирует волокна растительного происхождения, благоприияствуя формированию и развитию связей между волокнами при изготовлении бумаги. При размоле волокнистая масса проходит следующие основные стадии обработки: окончательное разделение пучков на отдельные волокна; разрушение первичной стенки волокон; ускорение набухания; внешнее и внутреннее фибриллирование (увеличение активной поверхности волокон и их гибкости, что способствует образованию большого числа водородных связей при формировании бумажного полотна и соответственному повышению его прочности); выравнивание длины волокон – их рубка.

3.2. Принцип работы и систематизация размалывающих машин

Обработку волокнистых материалов производят с помощью механического воздействия (сдавливания, сдвига, среза) твердых элементов размалывающих машин на обрабатываемый материал либо гидродинамическими методами [13]. Машины гидродинамического воздействия малоэффективны для массного размола. Наибольшее применение на этой стадии подготовки бумажной массы нашли машины различного типа механического воздействия, из которых наиболее распространенными являются ножевые размалывающие машины. К машинам механического воздействия относятся также машины, в которых преимущественным силовым фактором является одноосное сжатие поперек волокон при отсутствии или незначительном участии сдвигового движения. Наиболее типичным представителем такого типа машин являются бегуны. В последнее время все большее промышленное использование получают двухвинтовые машины для обработки массы высокой концентрации (фротапульперы). Делаются попытки обосновать промышленное использование для размола волокнистых материалов специальных валковых мельниц, конусных инерционных дробилок, аппаратов с вихревым слоем ферромагнитных частиц.

Основное внимание в учебном пособии отводится теории работы и конструкциям размалывающих машин с ножевой гарнитурой, получивших наибольшее распространение на предприятиях отрасли. Основным принцип действия этих машин – обработка волокна в зазоре

между поверхностями перемещающихся относительно друг друга ножей (рис. 3.1) [13].

Волокна, находящиеся в виде водной суспензии в рабочем пространстве размалывающей машины, попадают в зазор между ножами. Величина зазора регулируется в зависимости от желаемого характера обработки волокна: на рис. 3.1, *а* показано укорачивающее действие при малом зазоре между ножами, на рис. 3.1, *б* – расчесывающее действие при большом зазоре. Величина рабочих зазоров при размоле массы низкой концентрации (до 6 %) лежит в диапазоне 0...0,5 мм. Наряду с механическим воздействием на волокна в зазоре в ножевых размалывающих машинах имеют место различные виды гидродинамического воздействия. Однако их роль в процессе размола невелика [14].

Принцип ножевого воздействия на волокна нашел первоначальное воплощение в конструкции размалывающей машины периодического действия – ролла, появившейся в 1670 г. До этого масса размалывалась вручную в ступах и толчеях [14].

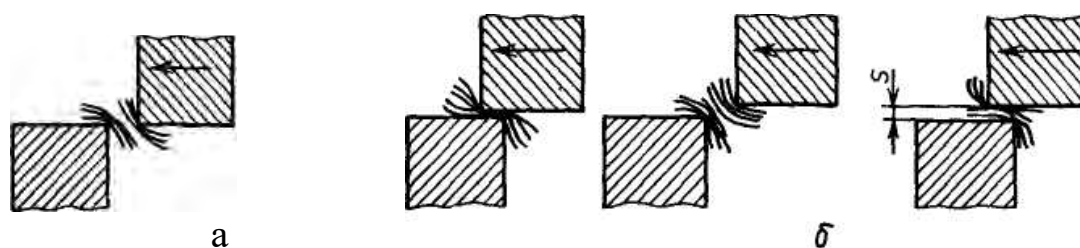


Рис. 3.1. Схема действия ножей размалывающей машины на древесные волокна: *а* – при малом зазоре (резание); *б* – при большом зазоре (фибриллирование)

По мере совершенствования и увеличения объемов целлюлозно-бумажного производства появились размалывающие машины непрерывного действия: в 1856 г. – дисковая мельница (рафинер) и в 1858 г. – коническая мельница Жордана. Схемы ролла, конической и дисковой мельниц показаны на рис. 3.2.

Размол производится в роллах при относительной доле волокна в массе до 6...8 %, в конических мельницах до 5...6 %, в дисковых мельницах низкой концентрации до 6...7 %, высокой концентрации до 45 %. Общим для всех типов машин является наличие ротора с выступающими ножами и противолежащего им набора ножей на статоре. Расстояние и, соответственно, удельное давление между ножами регулируется с помощью механизма присадки.

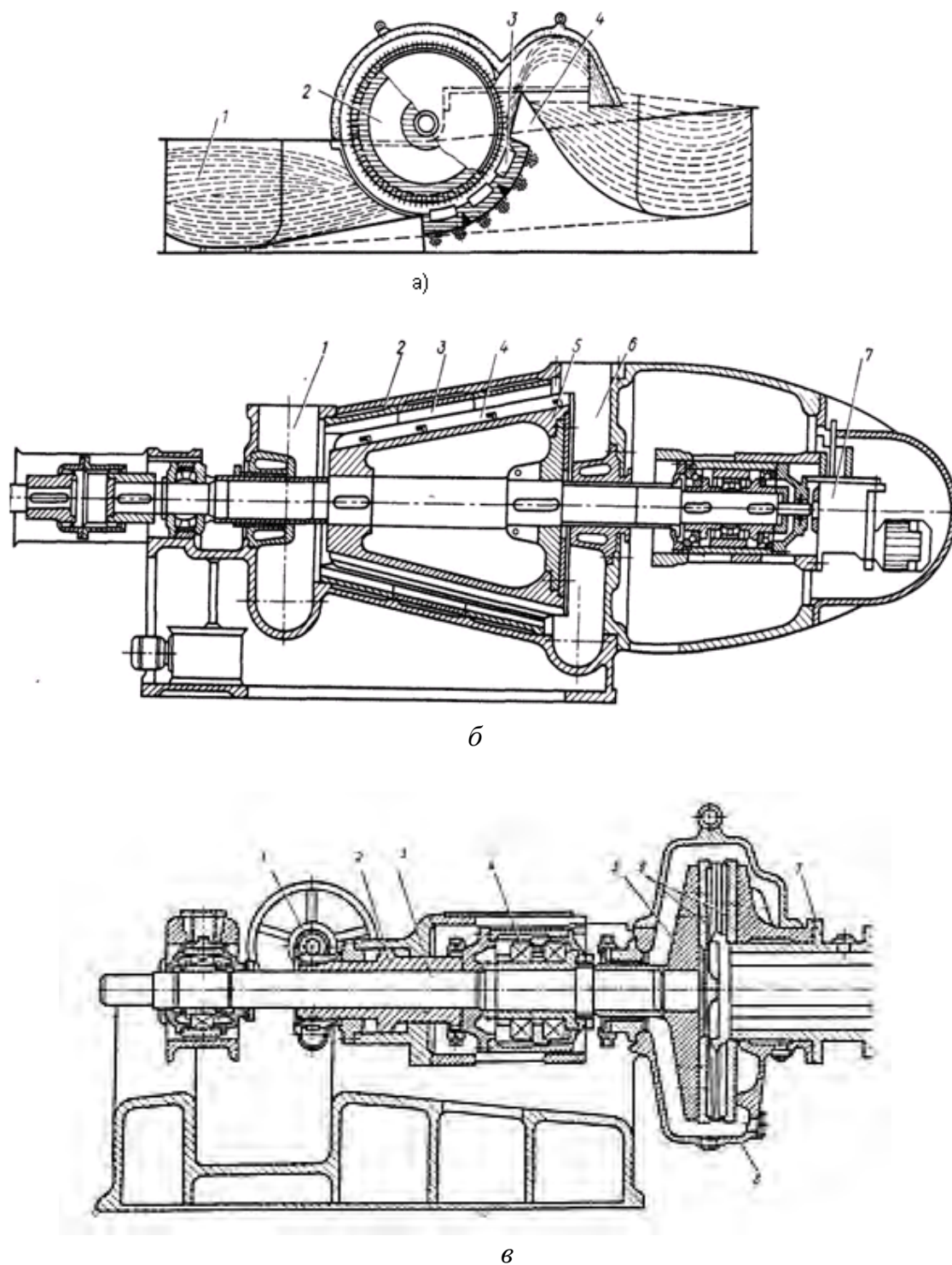


Рис. 3.2. Основные типы ножевых размалывающих машин: *а* – ролл: 1 – ванна; 2 – ножевой барабан; 3 – планка с ножами; 4 – горка; *б* – коническая мельница: 1 – входная полость; 2 – корпус статора; 3, 4 – ножи статора и ротора; 5 – кольцевая стяжка для крепления ножей ротора; 6 – выходная полость; 7 – механизм присадки; *в* – дисковая мельница: 1 – механизм присадки; 2 – гидроцилиндр механизма присадки; 3 – вал; 4 – подшипники; 5 – диск; 6 – ножевая гарнитура ротора и статора; 7 – входной патрубок; 8 – размольная камера

Процесс размола в ролле периодического действия заключается в том, что волокнистый материал загружается порцией в ванну, разбавляется водой до требуемой концентрации и размалывается ножевым барабаном при заданном удельном давлении на волокнистый материал. Волокнистый материал проходит между ножами ротора (барабана) и статора (планки), размалывается и перебрасывается ножами барабана через горку. Затем масса по уклону, образованному горкой, движется по обратному склону к ножевому барабану. Таким образом, масса в процессе размола проходит между ножами барабана и планки многократно, а сам барабан выполняет не только функцию размола, но и функцию циркуляционного устройства. После достижения необходимых свойств полуфабрикат выгружается, и ванна заполняется новой порцией волокнистого материала. Ролл работает в периодическом режиме.

В отличие от ролла в конической и дисковой мельницах осуществляется непрерывный режим размола волокнистого материала. Полуфабрикат подводится со стороны малого диаметра гарнитуры. Движение материала в гарнитуре между ножами происходит за счет давления, которое создается насосом или шнеком на входе в мельницу. Также движение материала происходит за счет центробежных сил, действующих на волокнистый материал. Необходимая степень помола материала задается путем изменения величины присадки мельницы и путем изменения времени пребывания массы в межножевом зазоре. Если необходима высокая степень помола волокнистого материала (например, при производстве конденсаторной бумаги), мельницы устанавливаются последовательно. В настоящее время роллы применяют только при производстве тонких видов бумаги, требующих длительного размола.

Роллы в настоящее время применяются на старых предприятиях для производства разнообразных видов бумаги. Для массовых видов бумаги на высокопроизводительных предприятиях размол производят в машинах непрерывного действия. В пособии рассматривается теория работы и конструкции машин непрерывного действия, так как они являются основным размалывающим оборудованием на производстве.

До настоящего времени известно множество типов ножевых размалывающих машин, которые могут быть систематизированы в соответствии со схемой на рис. 3.3 [5].

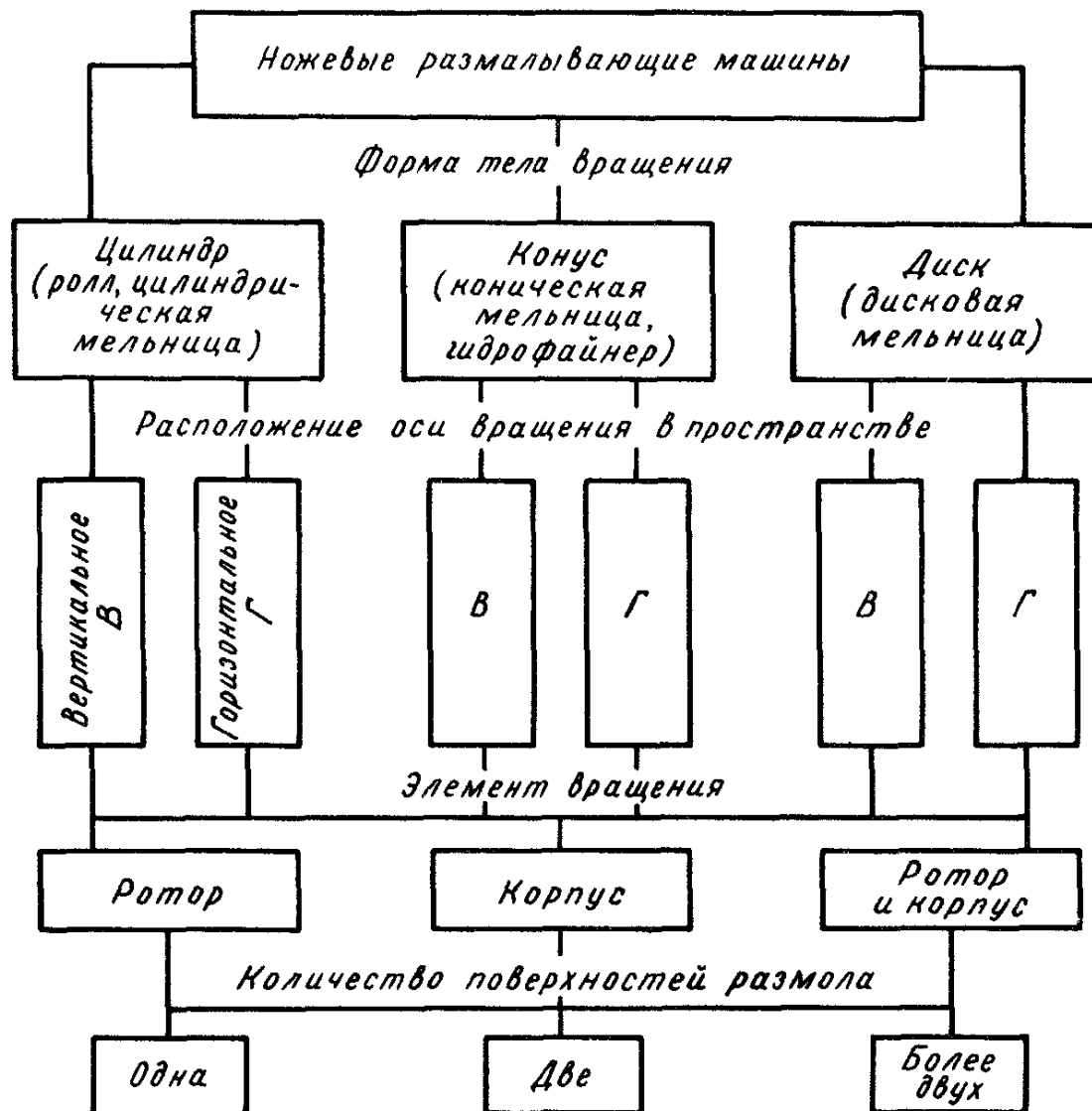


Рис. 3.3. Систематизация ножевых размалывающих машин

Оборудование размола является энергоемким. Это оборудование расходует до 50 % энергии, необходимой для бумажного производства. Удельный расход энергии на размол находится от 180 до 9000 МДж на тонну выпускаемой целлюлозы [4]. Если сравнить эти цифры с теоретически рассчитанным количеством энергии на фибриллирование и рубку волокон, то окажется, что коэффициент полезного действия современных размалывающих машин не превышает 1 %. Такое низкое значение коэффициента полезного действия объясняется не рациональным приложением нагрузки при размоле к древесным волокнам, а сложностью процесса размола и анизотропностью свойств волокон.

Стремление к повышению коэффициента полезного действия процесса размола – основная причина развития и совершенствования размалывающих машин.

3.3. Конструкции ножевых размалывающих машин

Конические мельницы. Эти машины бывают с горизонтальным и с вертикальным валом. Наибольшее применение получили конические мельницы с горизонтальным валом, которые, в свою очередь, подразделяются на три группы по движению волокнистого материала в зоне размола: от малого диаметра конуса к большому; от большого диаметра конуса к малому; поперек зоны размола.

В зависимости от угла конусности мельницы делятся на две группы: с малым углом $16...22^\circ$ и с большим 40° (мельницы Клафлина). По технологическому назначению мельницы могут быть: мельницы для гидратации и фибриллирования волокон и мельницы для гидратации и укорочения древесных волокон.

Мельницы для гидратации и укорочения древесных волокон работают при низких окружных скоростях ротора от 15 до 20 м/с. Гарнитура таких мельниц, как правило, наборная с толщиной ножей 5...10 мм. Мельницы для гидратации работают при малых удельных давлениях и концентрации массы до 6 % и окружной скорости ротора до 35 м/с. Гарнитура этих мельниц делается литой.

Гарнитура таких мельниц имеет ширину ножа до 16...20 мм, хотя эффективность такой гарнитуры небольшая. Конструкция конической мельницы с наборной гарнитурой и движением массы от малого диаметра ротора к большому показана на рис. 3.4, б. На роторе установлены радиальные или радиально-упорные подшипники. Ротор с подшипниками перемещается вдоль оси. Для осевого перемещения применяется электромеханический механизм присадки. В конструкциях мельниц применяются и другие механизмы присадки ротора: ручной, гидравлический и пневматический.

При увеличении угла конусности требования к точности механизма присадки возрастают. Ротор приводится во вращение от электродвигателя через муфту, допускающего осевое перемещение ротора. Наборные гарнитуры собираются из отдельных стальных ножей прямоугольного сечения разной длины, вырезанных из проката специального профиля. Ножи ротора (рис. 3.4, а) вставляются в прямоугольные пазы рубашки по образующей конуса и крепятся в них с помощью колец и винтов.

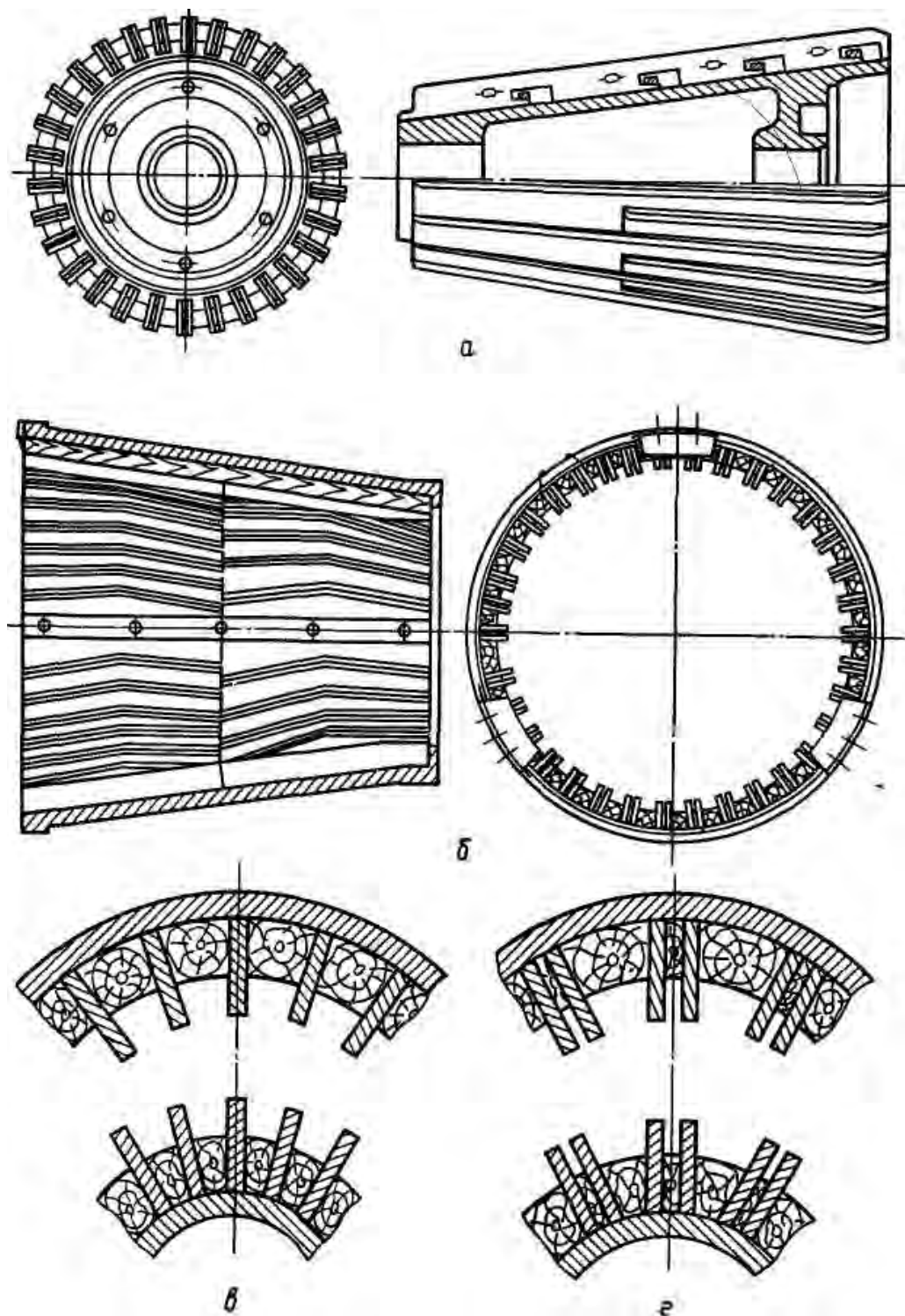


Рис. 3.4. Наборная гарнитура конической мельницы:
а – гарнитура ротора; *б* – гарнитура статора; *в* – равномерное
 распределение ножей; *г* – спаренные ножи

В наборной гарнитуре между ножами находятся деревянные прокладки. Применяются два типа расположения ножей по окружности гарнитуры: равномерное (рис. 3.4, *в*) и групповое – по 2–4 ножа

в группе (рис. 3.4, *з*). Ножи статора в отличие от ножей ротора имеют изогнутую форму и крепятся в чугунном корпусе в 2–3 секциях по длине (рис. 3.4, *б*). К материалу ножей гарнитуры предъявляются высокие требования по твердости, прочности, износостойкости и ударостойкости. Указанным требованиям в настоящее время отвечают ножи из марганцовистых сталей 65Г-70Г с поверхностной закалкой. Срок службы таких ножей в два раза выше, чем ножей из стали 40Х, применявшейся для этой цели до недавнего времени.

Литая гарнитура ротора и статора изготавливается из нержавеющей стали 2Х13 с последующей поверхностной закалкой. Ножи ротора имеют прямолинейную форму, а в статоре они расположены в виде ломаной линии для того, чтобы исключить западание ножей ротора между ножами статора. Есть конструкции мельниц, у которых ножи гарнитуры выполнены по винтовой линии. Это дает возможность обеспечить несколько большую секундную режущую длину, повысить плавность работы и снизить уровень шума [11].

Обычно материал гарнитуры – металл, но также применяется базальт и керамика. После сборки мельница обкатывается в течение 4...6 ч на воде. Затем производится прициковка гарнитуры ротора и статора с помощью мелкозернистого песка, добавляемого в воду.

Коническая мельница с движением массы от большого диаметра к малому имеет литую гарнитуру. В этой мельнице масса поступает в полый ротор, который снабжен крылаткой, аналогичной рабочему колесу центробежного насоса. При прохождении крылатки давление массы увеличивается на 0,2...0,22 МПа. Этому давлению противодействует давление, вызванное центробежными силами в межножевом зазоре. Возможность спирального расположения ножей в этих мельницах способствует снижению уровня шума при работе.

Тенденция к уменьшению ширины и шага ножей литой гарнитуры и повышению секундной режущей длины делает возможным приблизить эффективность конических мельниц к дисковым. Простота конструкции и технического обслуживания, небольшая стоимость конических мельниц и повышенный срок службы гарнитуры делают эти мельницы конкурентоспособными по сравнению с дисковыми при массном размоле. Особенно целесообразно их использование для получения специальных видов бумаги с высокой степенью помола.

Дисковые мельницы. Дисковые мельницы являются основным размалывающим оборудованием и обладают следующими преимуществами перед коническими мельницами [12–15]:

- более широкая сфера применения – производство древесной массы из щепы, размол отходов древесно-массного производства, полуцеллюлозы, горячий размол целлюлозы, массный размол;
- более низкий (на 20...25 %) удельный расход энергии;
- размол волокнистых материалов высокой концентрации (до 45 %), в конической мельнице максимальная концентрация полуфабриката – до 6 %;
- большая единичная производительность и мощность – до 3 МВт на массном размоле, до 64 МВт – при производстве древесной массы из щепы;
- более высокая ремонтпригодность и сокращение трудоемкости и продолжительности замены изношенной гарнитуры.

Существуют три основных типа дисковых мельниц: однодисковые, двухдисковые и сдвоенные (рис. 3.5).

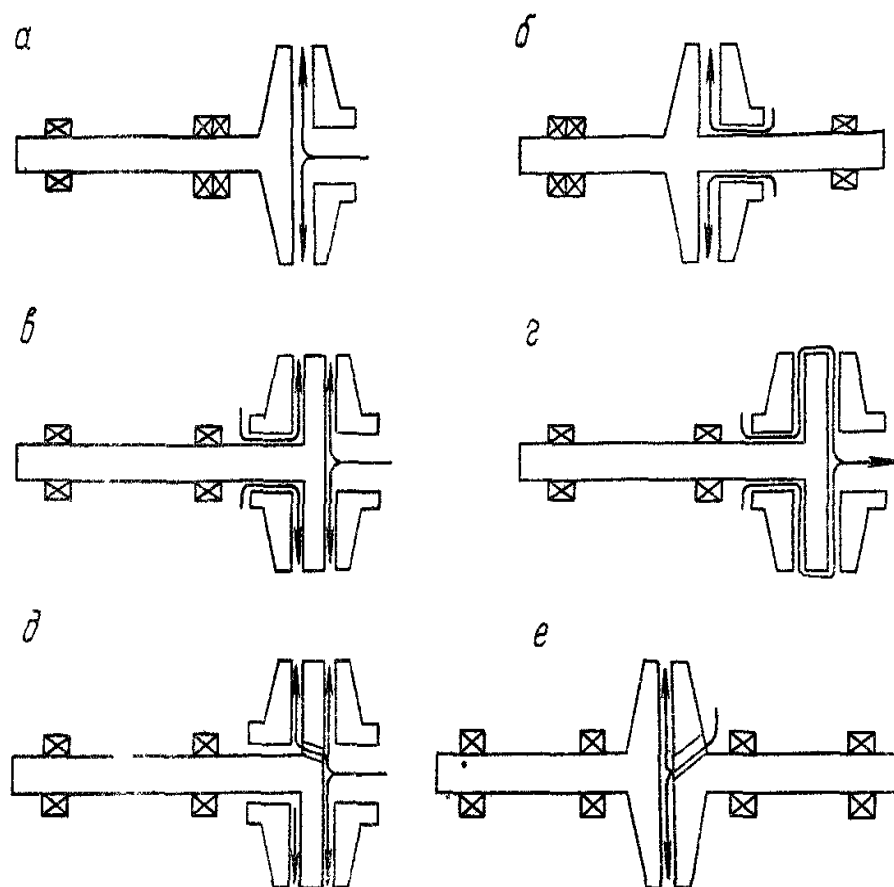


Рис. 3.5. Основные типы дисковых мельниц: *а, б* – однодисковая; *г, д, е* – сдвоенная; *е* – двухдисковая; *б, д* – с расположением диска между подшипниками; *а, в, г* – с консольным расположением диска; *в, д* – с параллельным движением массы; *г* – с последовательным движением массы

Были попытки внедрения в производство многодисковых мельниц, но они оказались безуспешными из-за сложности конструкции, трудности эксплуатации и ремонта.

Однодисковые мельницы имеют одну зону размола с вращающейся и неподвижной размалывающими поверхностями (рис. 3.6). Волокнистый материал поступает в центр дисковой зоны размола при помощи насоса или шнека (при концентрации более 6 %) и движется к периферии дисков. Возможны два варианта расположения дисков: консольное и между опорами. Сдвоенные дисковые мельницы имеют две зоны размола – с лицевой и тыльной поверхности роторного диска (рис. 3.7).

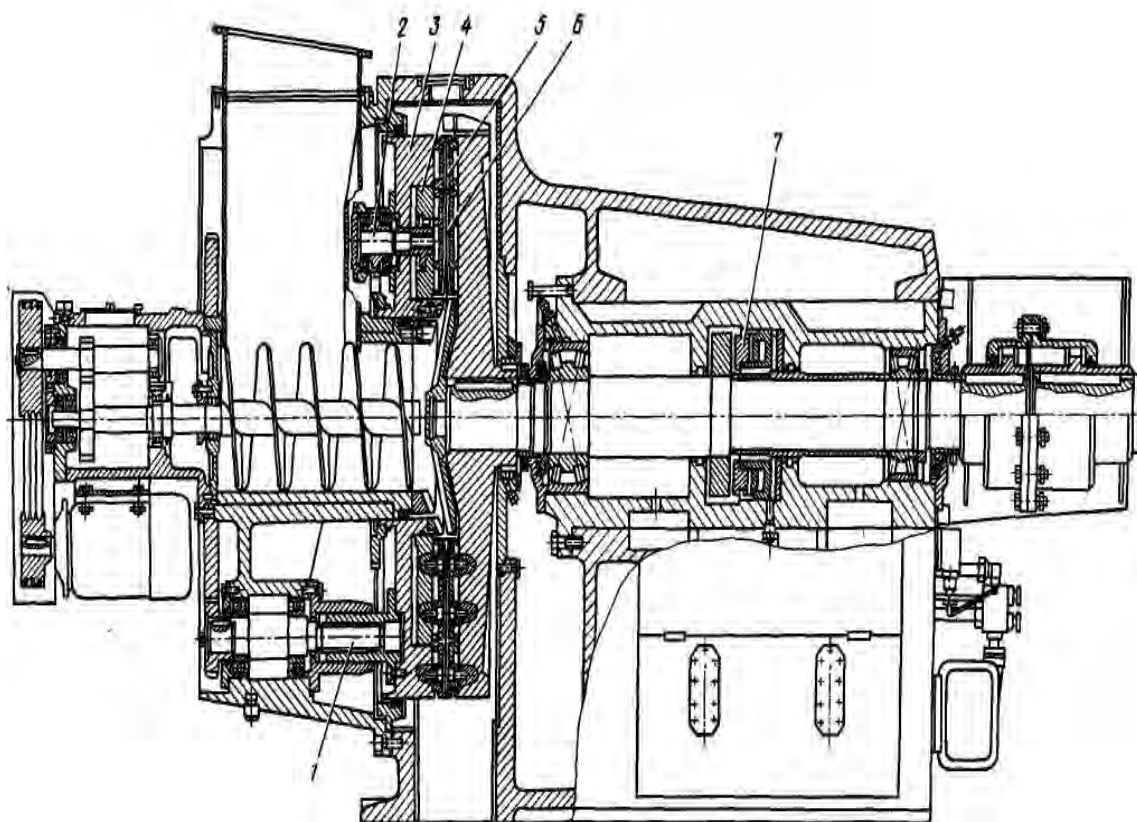


Рис. 3.6. Однодисковая мельница с винтовой подачей массы:

- 1 – винтовые пары статора; 2 – винтовые пары статорного кольца; 3 – статор;
4 – статорное кольцо; 5 – гарнитура периферическая; 6 – гарнитура центральная;
7 – упорный подшипник скольжения

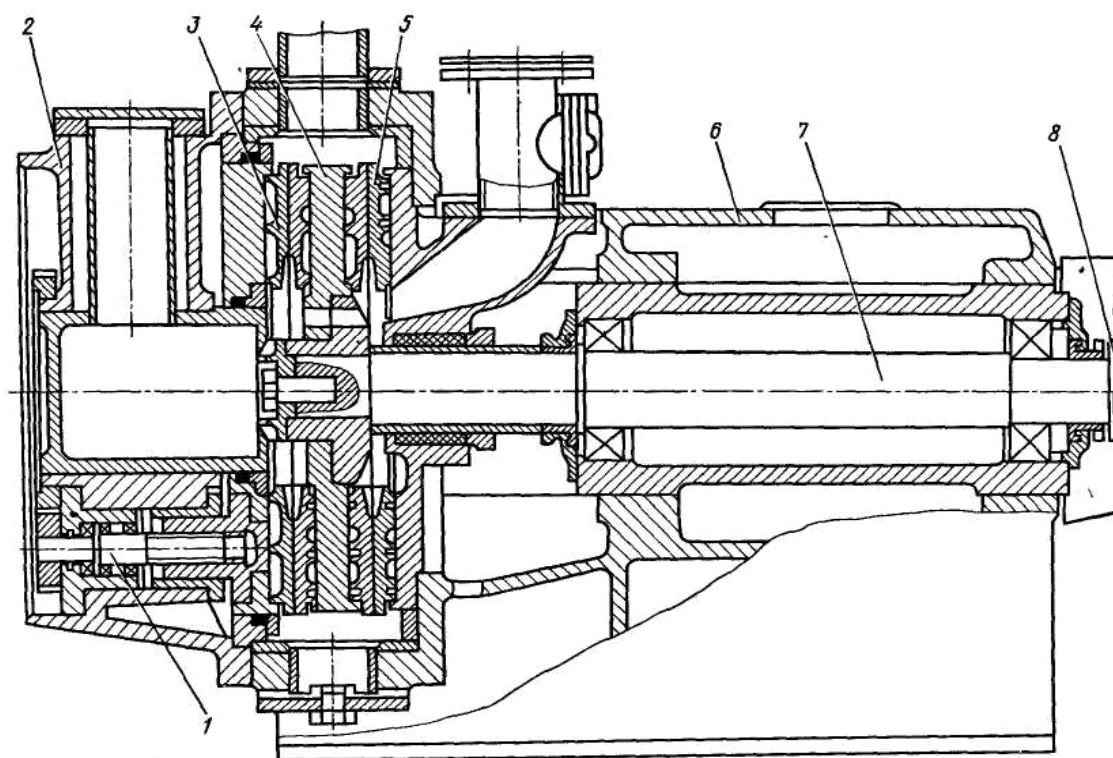


Рис. 3.7. Сдвоенная мельница: 1 – винтовая пара; 2 – крышка камеры; 3 – статор; 4 – диск ротора; 5 – гарнитура размалывающая; 6 – станина; 7 – ротор; 8 – муфта

Гарнитура дисковых мельниц изготавливается чаще всего в виде секторов, закрепляемых на поверхности дисков ротора и статора, или в виде цельных колец. Существует большое количество рисунков ножей гарнитуры, которые могут быть сведены к наиболее типичным (рис. 3.8).

Выбор того или иного рисунка гарнитуры, как правило, основывается на экспериментальных данных. Наиболее существенными элементами гарнитуры, влияющими на эффективность работы, являются: ширина ножей и межножевой канавки, углы наклона ножей к радиусу, размеры перегородок в межножевой канавке. Согласно силовой теории размол при увеличении числа ножей производительность мельницы увеличивается, а удельный расход энергии на размол уменьшается. Это достигается за счет уменьшения ширины ножей и межножевых канавок гарнитуры.

Минимальная ширина ножей зависит от их прочности и, как правило, в современных конструкциях составляет 3...4 мм. Ширина межножевой канавки в основном зависит от вида волокнистого материала и его концентрации. При размоле полуфабриката концентрации

3...5 % ширина межножевых канавок принимается для коротковолокнистой лиственной целлюлозы 2...3 мм, для хвойной 4...5 мм [7].

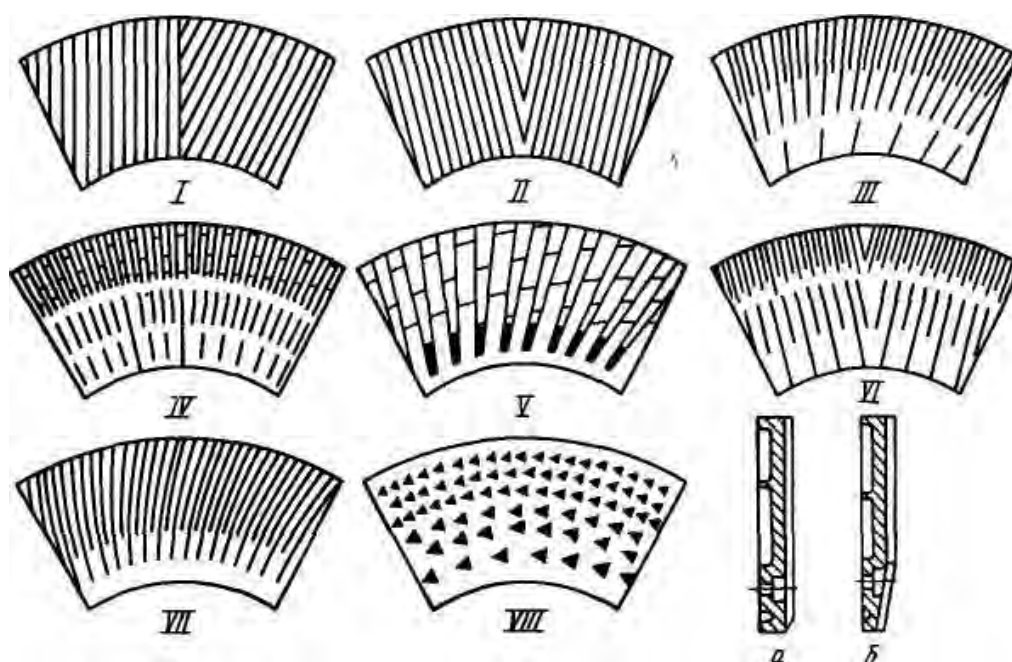


Рис. 3.8. Варианты расположения ножей на гарнитурах дисковых мельниц: I – параллельное однонаправленное; II, VI – параллельное разнонаправленное (зеркальное); III, IV, V – расходящиеся ножи: под углом к радиусу (III, V) и радиальные (IV); VII – спиральное; VIII – шипообразная гарнитура; а – сечение гарнитур I, II, III типов для массы низкой концентрации; б – сечение гарнитур IV, V, VI типов для массы высокой концентрации

Перегородки в межножевых канавках устанавливаются для торможения движения по ним полуфабриката и увеличения продолжительности его пребывания в мельнице. Они применяются при размоле волокнистого материала высокой концентрации и щепы. Перегородки в каналах, как правило, выполняются по спирали для равномерного износа гарнитуры (см. рис. 3.8, варианты IV, V, VI). У большинства типов гарнитуры (в основном для размола при высокой концентрации) толщина ножей и расстояние между ними уменьшаются от центра диска к периферии.

Рабочая поверхность ножей гарнитуры для размола массы низкой концентрации делается плоской, в то же время гарнитуры для размола массы высокой концентрации делаются с профилированной поверхностью с целью выравнивания давления волокнистого материала по радиусу.

Угол наклона ножей к радиусу гарнитуры, как правило, не превышает 20° . Существенное значение для работы мельницы имеет направление вращения ротора по отношению к наклону ножей. Если ножи гарнитуры имеют наклон в направлении вращения, то мельница работает в режиме «удержания» волокнистого материала в зоне размола. Наклон ножей гарнитуры против направления вращения ротора приводит к увеличению пропускной способности мельницы (режим «прокачивания»). Для гарнитуры I, III, V, VII режим «удержания» соответствует их вращению по часовой стрелке, обратное направление вращения обеспечивает режим «прокачивания». Оба режима применяются в зависимости от условий эксплуатации мельниц.

Срок службы гарнитуры зависит от материала ножей, удельного давления при размоле, вида размалываемого материала, наличием загрязнений в массе, технического состояния мельницы и ее роторного узла и составляет от нескольких часов до 1,5 лет.

Гарнитура изготавливается либо методом литья, либо механической обработкой. В качестве материала используются нержавеющая износостойкая сталь или специальный чугун с присадкой хрома. В настоящее время проводятся исследования материалов для гарнитуры. После отливки рабочая поверхность ножей подвергается шлифовке. Твердость рабочих поверхностей стальной гарнитуры – 45...52 HRC, отбеленного чугуна HB 380...420. Материал гарнитуры ротора делается более твердым на HRC 5...10 по сравнению с материалом статора [5].

3.4. Принцип работы и систематизация конструкций безножевых машин для дороспуска и размола бумажной массы

Из гидроразбивателя масса выходит в виде смеси мелких пучков размером 3...5 мм и отдельных неразработанных волокон. Такая масса вполне пригодна для перекачивания насосом. Если попытаться произвести окончательный роспуск пучков до отдельных волокон непосредственно в гидроразбивателе, то это потребует увеличения продолжительности роспуска и приведет к повышенному расходу электроэнергии. Поэтому окончательный роспуск (дороспуск) производят в других машинах другого типа. На предприятиях для этого процесса используют ножевые машины. Однако существуют безножевые машины, предназначенные для дороспуска волокнистых материалов. Такие машины

обеспечивают более мягкий, щадящий режим обработки, что особенно важно для коротковолокнистых материалов и макулатуры, волокна которой уже размолоты. Обработка в безножевых машинах достаточна для подачи материала на бумагоделательную машину. Стадия окончательного массного размола в ножевых машинах не требуется.

В связи с мягким характером обработки волокон безножевые методы и устройства исследуются и иногда используются также на стадии массного размола вместо традиционных ножевых размалывающих машин. Характер обработки волокон этими методами имеет ряд особенностей по сравнению с ножевым размолотом и, в частности, обеспечивается более интенсивная гидратация и фибриллирование практически без укорочения волокна.

Все безножевые методы и устройства для дороспуска и размола волокнистой массы основаны на явлениях, протекающих в жидкостях и вызванных действием гидродинамических факторов. Чаще всего обработка волокнистых материалов в этих машинах обеспечивается совокупностью целого ряда физических воздействий, которые можно разделить на четыре основные группы [15, 16]:

- ударное воздействие, возникающее при встрече быстро движущихся относительно друг друга волокон и твердых элементов устройства;
- кавитационное воздействие, обусловленное явлением возникновения, развития и захлопывания (замыкания) кавитационных пузырьков при определенных условиях в жидкости и их взаимодействием с волокнистым материалом;
- пульсационное воздействие за счет чередующегося повышения и понижения гидравлического давления в массовой суспензии; пульсационное воздействие взаимосвязано с явлением прохождения волн давления и разрежения в жидкости, поэтому часто вместо термина «пульсационное воздействие» используется термин «акустическое воздействие»;
- действие сил трения, обусловленное вязкостью и градиентом скоростей в движущейся жидкости.

В зависимости от принципа работы машины для дороспуска и безножевого размола можно систематизировать следующим образом:

- роторно-пульсационные – энштиппер, фиберайзер, супратонатор, пульсационные мельницы;
- типа струя-преграда – аппарат для размола с неподвижной и движущейся преградой;
- кавитационные – аппарат типа кавитационной гидродинамической трубы;

– акустические – аппарат типа струя-пластина (гидродинамический генератор акустических колебаний), аппарат, использующий принцип электрогидравлического эффекта, аппарат для создания гидравлического удара, пьезо- и магнитострикционные излучатели.

Следует отметить известную условность предлагаемой систематизации, так как в любом из названных видов машин присутствуют в той или иной степени все виды гидродинамических воздействий. Роль отдельных факторов гидродинамической обработки волокон в безножевых машинах исследована в работах Ю. Д. Алашкевича, А. В. Бывшева, Л. А. Горбачева, Д. С. Добровольского, В. Г. Маркова, Е. Е. Савицкого, Э. В. Шемякина [16].

3.5. Конструкции машин для дороспуска и размола бумажной массы

Аппараты типа струя-преграда. В аппаратах этого типа реализован принцип ударного воздействия волокон о твердую поверхность (рис. 3.9) [16]. Волокнистый материал концентрацией 2...3 % из циркуляционной емкости подается центробежным насосом через коническое сопло 1 на преграду 2. Преграды могут быть неподвижными рифлеными (рис. 3.9, а) и в виде преграды, о боковую поверхность которой разбивается струя (рис. 3.9, б). Подробные исследования размола с указанными типами преград проведены В. Г. Марковым. В этих экспериментах струя волокнистого материала выбрасывалась под давлением от 0,6 до 1,4 МПа. Расчетная скорость струи составляла 35...50 м/с.

При многократном пропуске целлюлозной суспензии можно получить любую желаемую степень помола волокнистого материала так же, как и в ножевых размалывающих машинах. Характер помола волокнистого материала – жирный, длинноволокнистый. Происходит фибриляция волокон и незначительное их укорочение. Наблюдается расщепление волокон и особенно их концов на более тонкие нити вдоль оси.

В роторных пульсационных машинах (энтштиппер, фиберайзер, пульсационная мельница) массная суспензия, содержащая пучки волокон, поступает через центральный патрубок и, попадая в радиальные прорезы внутреннего роторного кольца, увлекается им во вращательное движение. Поток волокнистого материала, разделенный прорезями на отдельные струи, после ускорения ротором ударяется о передние стенки рабочих выступов первого кольца статора. Каждое

последующее кольцо ротора, имеющее большую окружную скорость, создает дополнительный импульс напора, который обеспечивает постепенный проход волокнистого материала к периферии. Вследствие разделения суспензии на многочисленные струи за 1 с происходит $(1,6-2) \cdot 10^6$ столкновений частиц суспензии с рабочими органами, что и обуславливает высокую степень дисперсности и однородности выходящей волокнистого материала.

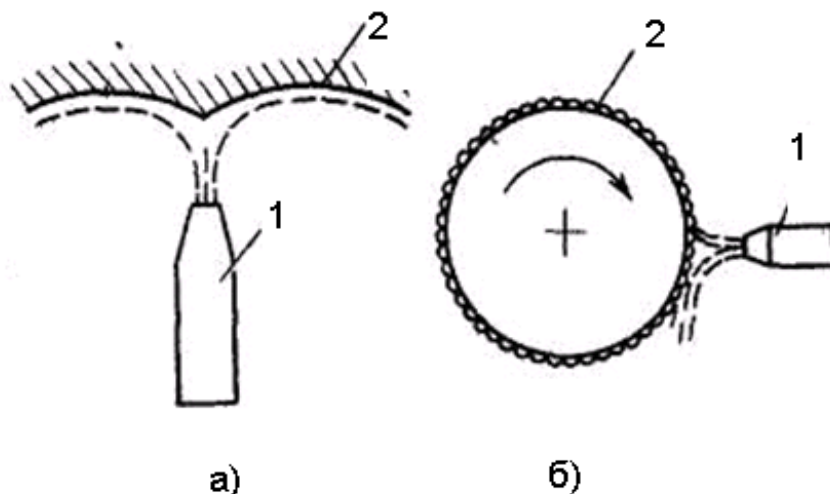


Рис. 3.9. Схемы аппаратов типа струя-преграда:
а – с плоской рифленой преградой; *б* – с преградой в виде вращающегося цилиндра; 1 – сопло; 2 – преграда

В энтштиппере (рис. 3.10) имеет место гидродинамическое воздействие на обрабатываемый материал. Причины и механизм возникновения этих воздействий следующие [16]:

- ударное воздействие обусловлено столкновением частиц волокнистого материала с поверхностями рабочих выступов при переходе суспензии из прорезей ротора в прорези статора и наоборот. Максимальная скорость удара примерно равна окружной скорости колец ротора;

- пульсационное воздействие обусловлено гидравлическими ударами при быстром замедлении радиального тока волокнистого материала в моменты периодического перекрытия пазов статора выступами ротора. Пульсации гидродинамического давления вызывают колебания зубцов ротора и статора;

- кавитационное воздействие обусловлено образованием пульсирующего кавитационного облака, образующегося в области пониженного давления вслед за обтекаемыми зубьями статора или ротора.

Кавитационное облако претерпевает периодические изменения, достигая максимального объема в момент перекрытия прорези статора зубцом ротора, после чего размер его уменьшается. Облако содержит большое число пульсирующих кавитационных пузырьков, часть из которых захлопывается;

- воздействие жидкостного трения (гидродинамического сдвига) осуществляется в основном в зоне существования максимального градиента скоростей, т. е. в зазоре между кольцами статора и ротора;

- механическое действие перекрещивающихся выступов ротора и статора на пучки волокон, размеры которых превышают величину зазора.

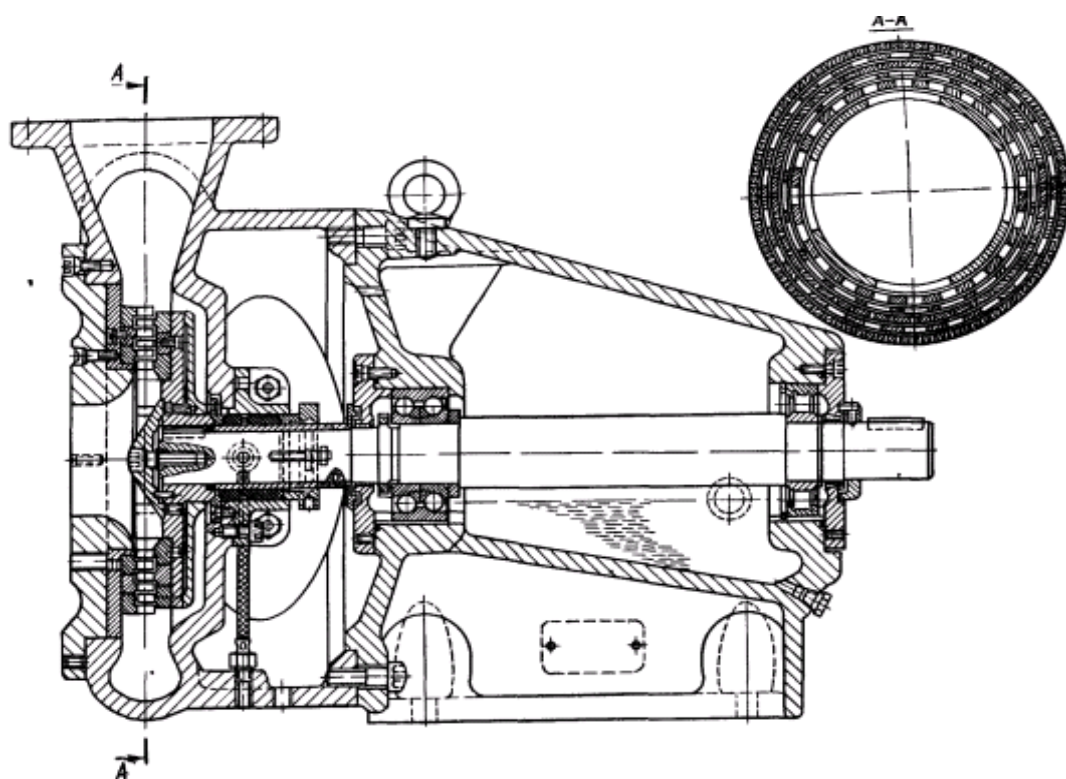


Рис. 3.10. Схема энтштиппера

Существуют различные мнения о степени влияния каждого из перечисленных факторов на процесс обработки волокнистого материала в энтштиппере. Однако в качестве основного следует выделить ударное воздействие. Кроме того, на начальных стадиях дороспуска, когда в массе присутствуют еще достаточно большие пучки, активно действует и последний из пяти перечисленных факторов. Об ударном воздействии косвенно свидетельствуют износ рабочих выступов. Острые

передние кромки зубцов, особенно на статорных кольцах, через довольно короткое время работы несколько притупляются.

Диспергирование пучков в первое время улучшается, так как при умеренном притуплении острых граней повышается вероятность ударов в наиболее выгодном направлении – под прямым углом к поверхности удара. Интенсивность расщепления начинает уменьшаться только при значительном износе зубьев, когда скорость ударов падает вследствие удлинения пути прохождения частиц между кольцом ротора и статора. В то же время такие виды воздействия, как пульсационное, кавитация и гидродинамический сдвиг, изменяются незначительно при износе зубьев. Это показывает превалирующее влияние ударного действия на обработку волокон в энтштиппере.

Производительность энтштиппера и удельный расход энергии на операции дороспуска зависят как от вида перерабатываемой волокнистого материала, так и от первоначального содержания лепестков в поступающей массе, которое может колебаться от 15 до 50 %. Операция дороспуска считается законченной, если в выходящей массе практически не содержится нераспущенных лепестков (пучков) волокон. В соответствии с исследованиями для большинства видов перерабатываемых полуфабрикатов достаточно одного–двух пропусков волокнистого материала через аппарат для практически полного диспергирования пучков в массу.

Представляет интерес изменение способности волокнистого материала к обезвоживанию в процессе дороспуска. Вначале степень помола быстро возрастает, что, в первую очередь, объясняется интенсивным снижением содержания лепестков, вследствие чего волокнистый материал становится более однородным и способность к обезвоживанию ухудшается. После достижения полного роспуска (отсутствия лепестков) степень помола меняется незначительно, что свидетельствует о малом влиянии обработки в энтштиппере на разработку волокна.

Исследование энтштиппера как самостоятельной машины для массового размола показывает, что размалывающее действие повышается с уменьшением зазора, что вполне естественно, так как усиливаются чисто механические факторы. Но даже при минимальном зазоре 0,1 мм, который вообще не свойствен энтштипперу, размалывающее действие его существенно ниже, чем конической мельницы. Расход энергии в энтштиппере в 5–10 раз выше, чем в конической мельнице для достижения сопоставимых степеней помола и разрывной длины. Положительным эффектом обработки волокнистого материала в эн-

штиппере можно считать отсутствие укорочения волокна, о чем свидетельствует лишь незначительное снижение сопротивления раздиранию.

Повышение экономичности размола при сохранении мягкого (без укорочения) характера обработки волокна может быть получено за счет увеличения концентрации волокнистого материала до 30 %. Подача волокнистого материала обеспечивается в этом случае специальным винтом, устанавливаемым на входе в энтштиппер. Экономия энергии при размоле волокнистого материала высокой концентрации обусловлена уменьшением количества перекачиваемой воды в массу и усилением напряжений межволоконного трения. Обработку волокнистого материала в энтштиппере при высокой концентрации особенно целесообразно применять при обработке целлюлозы из листовых пород и однолетних растений, содержащих большое количество короткого волокна. В ряде случаев, например, при выработке мешочных бумаг, представляется целесообразным также производить обработку в энтштиппере длинноволокнистой хвойной целлюлозы высокой концентрации. Это обеспечивает повышенное сопротивление раздиранию и растяжимость при относительно невысокой плотности, что особенно важно для мешков, испытывающих большие динамические нагрузки.

Из других типов роторно-пульсационных машин наибольшего внимания заслуживают пульсационные мельницы отечественного производства типа МП (рис. 3.11), которые сочетают в себе принцип радиально-осевого импульсного перемещения волокнистого материала в зоне обработки. Для создания такого движения гарнитура, закрепленная на валу ротора и в корпусе статора, имеет три ряда пазов и выступов на конических поверхностях.

Вал ротора вращается в шариковых подшипниках, установленных в аксиально подвижном стакане. С целью регулирования зазора между вращающимися и неподвижными рабочими элементами ротор вместе с валом и стаканом может перемещаться в осевом направлении относительно станины. Это перемещение осуществляется с помощью механизма присадки, работающего по принципу «винт-гайка». Рабочие поверхности ротора и статора не соприкасаются, а зазор при оптимальной регулировке превышает в десятки раз среднюю толщину волокна [16].

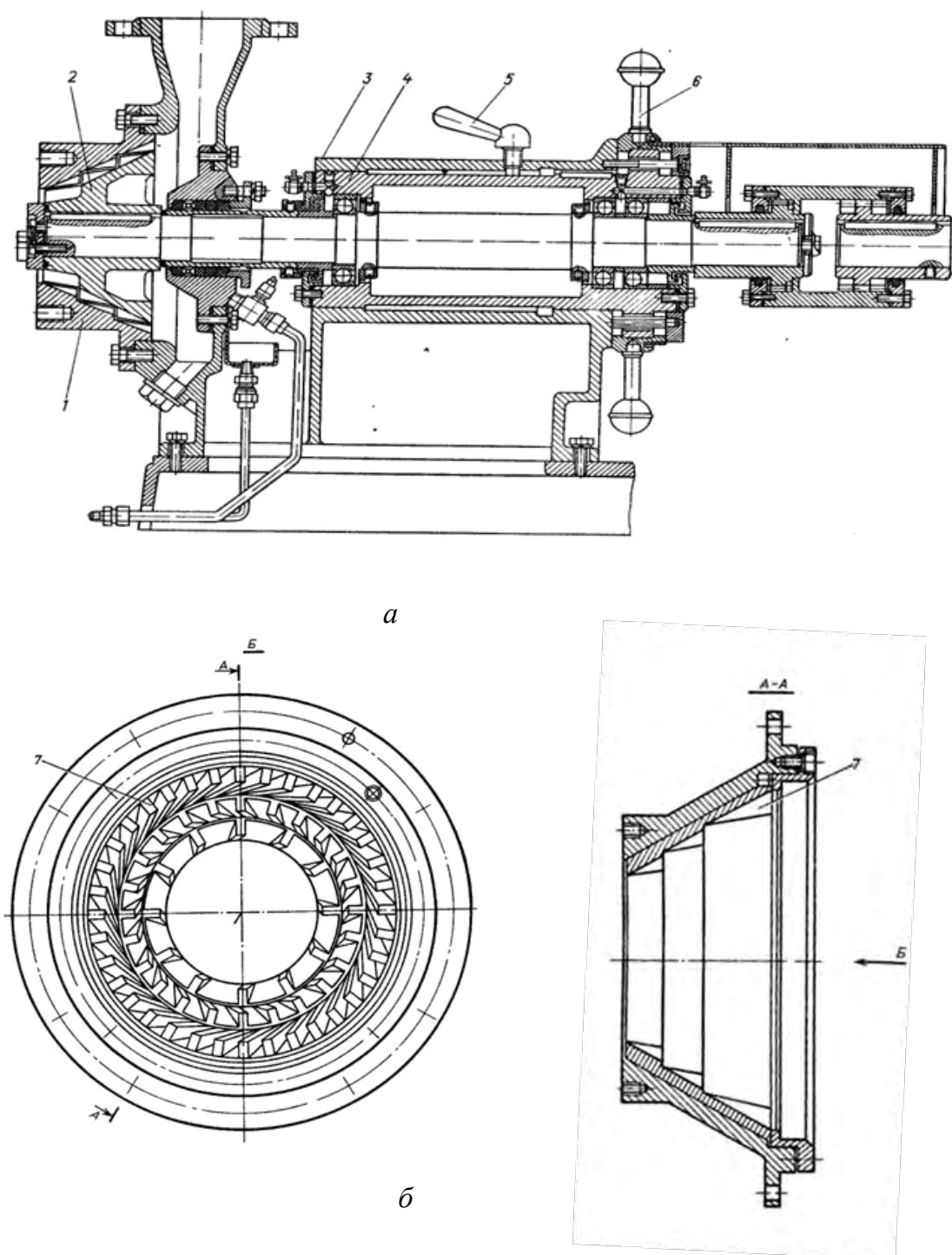


Рис. 3.11. Пульсационная мельница типа МП:

a – продольный разрез: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – станина; 4 – стакан ротора;
 5 – стопор для фиксации положения ротора; 6 – механизм перемещения ротора
 типа винт-гайка; *б* – вариант исполнения статора со сменной рубашкой:
 7 – рабочие элементы статора

Волокнистый материал подается по центральному входному патрубку и поступает в пазы между выступами первого кольца ротора.

Волокнистый материал увлекается во вращение и под действием центробежной силы перебрасывается радиально в пазы первого кольца статора при их совмещении с пазами ротора. В пазах статора волокнистый материал начинает двигаться вдоль оси мельницы и импульсно перебрасывается в следующий ряд пазов ротора. Такое ступенчатое, зигзагообразное движение волокнистого материала продолжается до его выхода из зоны обработки мельницы. Частота пульсаций давления зависит от скорости вращения и количества пазов на роторе.

Существенным достоинством пульсационных мельниц типа МП по сравнению с энштиппером является более жесткая и прочная конструкция крепления рабочих выступов, способная выдержать попадание твердых включений. Тем не менее для увеличения срока службы гарнитуры необходима тщательная очистка входящего волокнистого материала от твердых загрязнений. При дороспуске брака тарного картона за один проход содержание пучков уменьшается с 10 до 0,1 %, т. е. производится практически полный дороспуск волокнистого материала. При этом помол волокнистого материала увеличивается незначительно – на 1...2 °ШР, без укорочения волокна. Удельный расход энергии составляет 56...70 МДж/т, что в 3–5 раз ниже, чем при применении конических мельниц для тех же целей. Для дороспуска волокнистого материала применяют также фиберайзер – роторно-пульсационную мельницу с перфорированной гарнитурой (рис. 3.12). Механизм воздействия на волокнистую массу у этой машины такой же, как у энштиппера.

В основу работы электромеханических излучателей (рис. 3.13) положен принцип преобразования электрической энергии в механическую. По принципу действия электромеханические излучатели делятся на электромагнитные, электродинамические, магнитострикционные и пьезоэлектрические. Для создания низкочастотных пульсаций давления большой интенсивности используется также электрогидравлический эффект Юткина [16].

С помощью электромеханических излучателей можно создавать механические колебания как относительно низких частот в пределах от десятков герц до единиц килогерц (электромагнитные, электродинамические), так и высоких частот в пределах от десятков килогерц до сотен мегагерц (магнитострикционные, пьезоэлектрические). Работа электромагнитных излучателей основана на возбуждении колебаний подвижной механической системы (мембраны, пластины, стержни) под действием электромагнита, возбуждаемого переменным электрическим током.

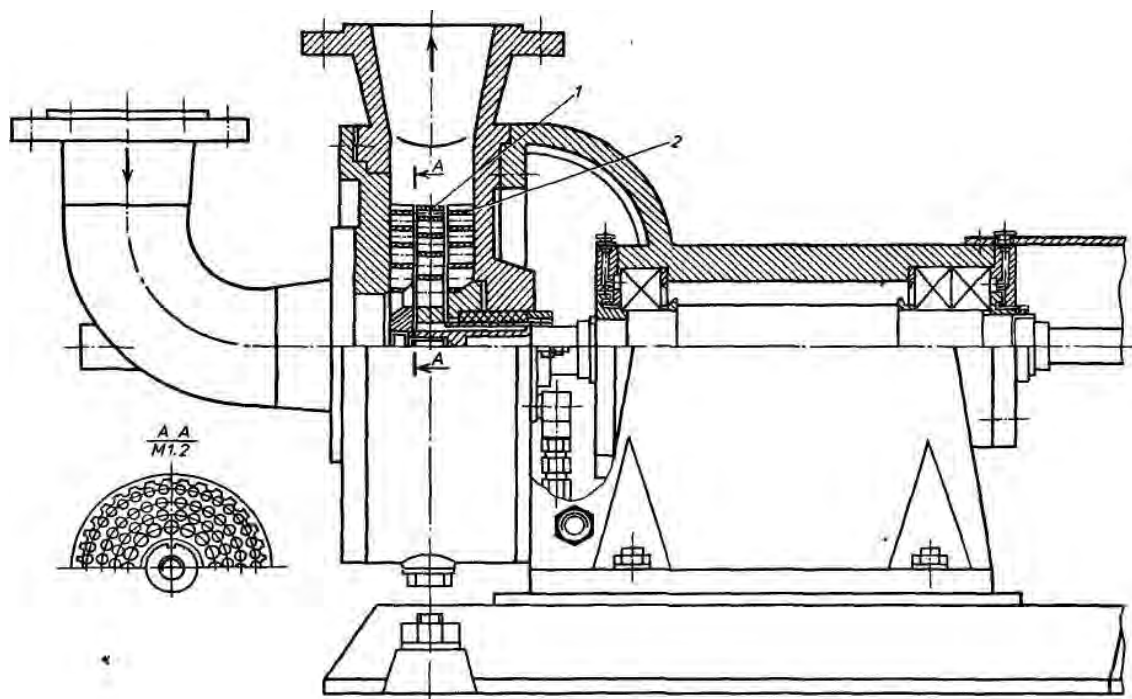


Рис. 3.12. Схема фиберайзера:
1 – перфорированный диск ротора; 2 – перфорированные диски статора

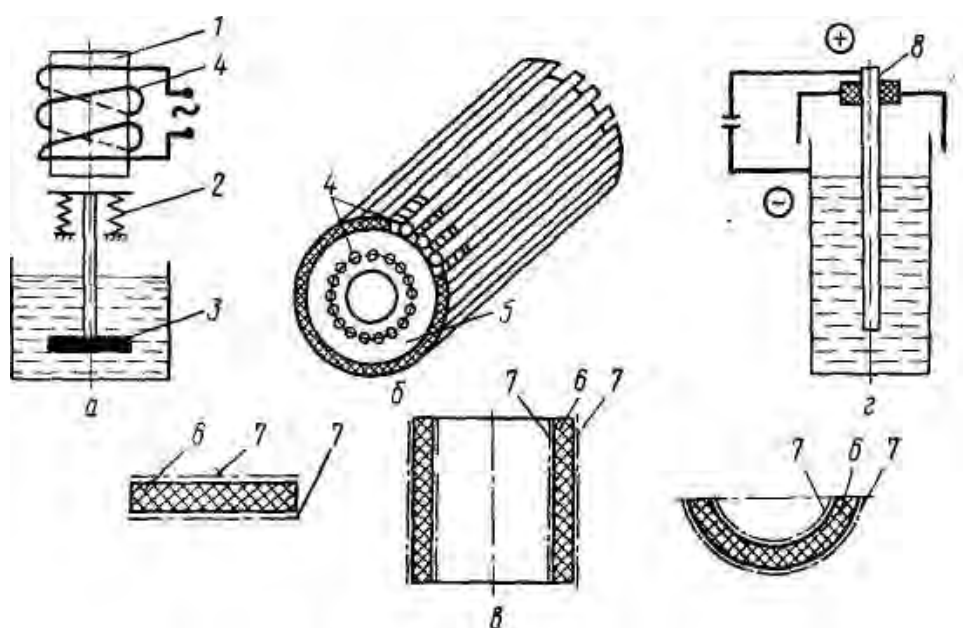


Рис. 3.13. Электрохимические излучатели: а – электромагнитный; б – магнитоупругий цилиндрический; в – пьезоэлектрический – плоский, цилиндрический, сферический; г – аппарат для создания электрогидравлического эффекта; 1 – электромагнит; 2 – ярмо; 3 – излучающая пластина; 4 – обмотка; 5 – кольцевые пластины; 6 – пьезокерамика; 7 – серебряное покрытие; 8 – положительный электрод

В электродинамическом излучателе происходит взаимодействие проводника (катушки), несущего переменный ток, с магнитным полем неподвижного электромагнита, питаемого постоянным током. Если к проводнику (катушке) жестко прикрепить мембрану, то она будет колебаться с частотой изменения магнитного поля.

В магнитострикционных излучателях использован эффект изменения размеров ферромагнитных материалов при помещении их в магнитное поле. Удлинение стержня, вызываемое магнитострикцией, пропорционально величине магнитной индукции. Амплитуда колебаний излучающей поверхности магнитострикционных преобразователей не превышает 15...20 мкм. Магнитострикционные ультразвуковые преобразователи имеют ряд преимуществ, заключающихся в большой единичной мощности, высокой удельной мощности излучения, большой механической прочности.

Пьезоэлектрические излучатели способны генерировать наиболее высокую частоту механических колебаний – до 3 МГц. В основу их создания положен обратный пьезоэлектрический эффект, который заключается в том, что некоторые кристаллические материалы деформируются при помещении их в электрическое поле.

Наиболее известными пьезоэлектриками являются кварц, титанат бария, сегнетова соль. С помощью пьезоэлектрических преобразователей можно получить небольшие интенсивности ультразвука, что связано с ограниченной усталостной прочностью материала излучателя и его нагревом. Для усиления интенсивности ультразвуковой обработки прибегают к фокусировке ультразвука, для чего излучателю придают сферическую или цилиндрическую форму.

Действие ультразвука на размол целлюлозных волокон с помощью указанных типов излучателей исследовано в ряде работ советских и зарубежных исследователей. Установлено, что воздействие ультразвука идет в направлении разрыхления структуры волокна, усиления его набухания, продольного расщепления волокон на отдельные фибриллы. Укорочения волокна практически не наблюдается. При достаточно длительном ультразвуковом облучении может произойти полная деструкция волокна.

Бумага, отлитая из волокнистого материала, который прошел ультразвуковую обработку, отличается повышенной механической прочностью. Характер обработки волокон в сильной степени зависит от частоты ультразвука. Так, при низкой частоте (22 кГц) происходит грубое фибриллирование и постепенное разрушение волокон. При

средней частоте (500 кГц) фибриллирование усиливается, сопровождаясь отделением клеточных стенок и разрушением волокнистой структуры. При высокой частоте (2,0 МГц) происходит наиболее сильное разрыхление структуры волокна. Подобные закономерности размола объясняются возникновением ультразвуковой кавитации, которая является основной причиной обработки материалов в жидкости при их облучении ультразвуком. Все другие известные механизмы акустического воздействия малоэффективны для обработки древесного волокна.

Кавитационное поле максимально развивается лишь в области, прилегающей к поверхности ультразвукового излучателя, вызывая его интенсивную эрозию. Насыщенная пузырьками зона интенсивно поглощает волны, идущие от излучателя, поэтому повышение амплитуды колебаний поверхности излучателя практически не интенсифицирует процесс вдали от излучателя. Кроме того, сильное демпфирующее действие на распространение ультразвука оказывает сама массная суспензия. При обработке ультразвуком приходится разбавлять массу до концентрации 0,1 %, что в промышленных потоках практически недопустимо. Все эти обстоятельства в сумме приводят к тому, что размол волокнистого материала с помощью ультразвука оказывается слишком энергоемким и малопродуктивным процессом. Однако ультразвук является хорошим и достаточно тонким инструментом при проведении исследовательских работ по размолу волокон.

В различных областях промышленной технологии исследуется и используется еще один способ генерирования ударных волн большой интенсивности в жидкости на основе открытого Л. А. Юткиным электрогидравлического эффекта (далее ЭГЭ). Сущность его состоит в том, что при генерировании в жидкости высоковольтного электрического разряда в ней возникает мощный гидравлический удар. Было обнаружено, что листовая целлюлоза, макулатура, тряпье под воздействием ЭГЭ распускались на отдельные волокна, но размола, т. е. расщепления или укорачивания волокон, не происходило. Расход энергии на роспуск макулатуры этим методом даже в несовершенном опытном аппарате составил 125...250 МДж (в зависимости от сорта макулатуры), т. е. примерно столько же, сколько затрачивается на этот процесс в энштипперах. Обработка материалов методом ЭГЭ обусловлена значительными градиентами давления при прохождении ударной волны, роль кавитационных явлений незначительна. К механическим излучателям относятся различные устройства гидродинамического действия:

излучатели с пластинчатыми резонансными колебательными устройствами (типа струя-пластина); роторные излучатели (типа роторно-пульсационных машин); аппараты, пульсации давлений которых генерируются с помощью гидравлического удара (рис. 3.14).

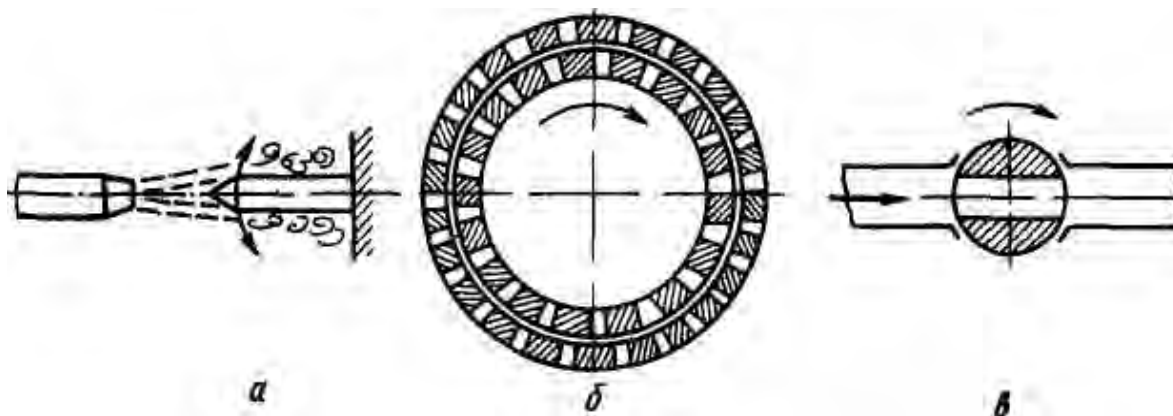


Рис. 3.14. Механические излучатели: *а* – типа струя-пластина; *б* – роторного типа; *в* – использующие принцип гидроудара

Принцип работы излучателей с пластинчатыми или стержневыми резонансными колебательными устройствами основан на возбуждении колебаний струей жидкости, вытекающей из сопла. Конец пластинки или стержня, направленный навстречу струе, имеет клиновидную или коническую заточку. В струе жидкости, обтекающей пластину, в результате срыва потока образуются две дорожки вихрей Кармана. Периодически меняющееся давление в зоне вихрей с обеих сторон пластинки вызывает ее колебания. Если подобрать размеры пластинки такими, чтобы ее резонансная частота совпадала с частотой следования вихрей, то интенсивность генерируемых звуковых колебаний намного увеличится. Пластины могут крепиться консольно, в двух узловых точках и в центре. Собственная частота колебаний пластин зависит от их формы, размеров, способов крепления, свойств материала.

Сопло имеет прямоугольную выходную щель, ширина которой несколько меньше ширины пластины. Идея использования принципа сирены Польмана для дороспуска и размола бумажного волокнистого материала положена в основу конструкций гидроакустических аппаратов, разработанных и исследованных Д. С. Добровольским, А. В. Бывшевым и др.

Отмечается, что размол в гидроакустическом аппарате проходит в направлении фибриллирования и гидратации без существенного изменения длины волокна (так же, как в аппарате типа струя-преграда).

Удельный расход энергии в 2–5 раз превышает этот показатель для ножевых машин. Из всех силовых факторов, действующих на волокно, наибольшее воздействие в этом аппарате оказывают удар волокон о кромку пластин и элементы крепления, а также кавитация на поверхностях пластин при обтекании их потоком.

Наиболее активное кавитационное воздействие на волокно осуществляется в кавитационном аппарате, конструкция которого предложена Р. А. Солоницыным и Л. А. Горбачевым. В основу работы аппарата положен принцип возбуждения кавитации в потоке жидкости в следе за обтекаемым телом, установленным в гидродинамической кавитационной трубе. Схема рабочего органа гидродинамического кавитационного размалывающего аппарата показана на рис. 3.15.

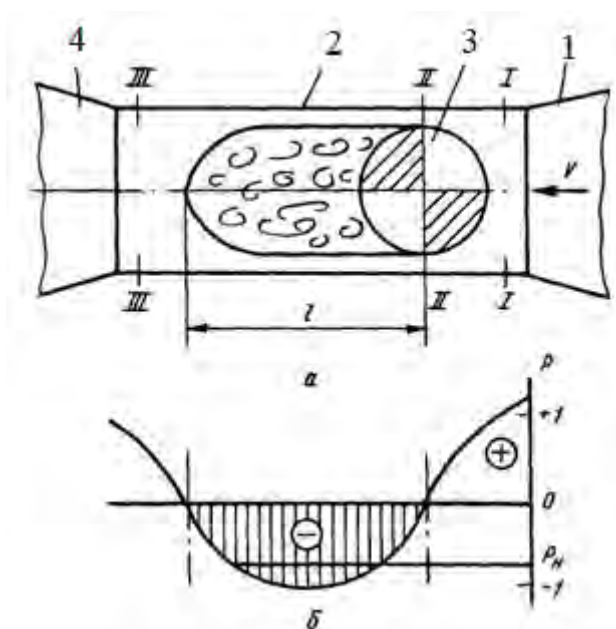


Рис. 3.15. Схема рабочего органа гидродинамического кавитационного размалывающего аппарата (а): 1 – диффузор; 2 – рабочая камера; 3 – обтекаемое тело; 4 – конфузор; диаграмма распределения давления в кавитационной зоне (б)

Возникновение кавитации обусловлено резким падением давления в жидкости при попадании ее в сужающийся зазор между обтекаемым телом и стенками кавитационной камеры. Волокна, движущиеся вместе с потоком, также подвергаются «эрозионному» (в данном случае полезному размалывающему) действию пульсирующих и замыкающих в объеме камеры кавитационных пузырьков. Для оценки эффективности кавитационного воздействия в рабочем объеме камеры необходимо знать основные параметры работы кавитатора и, в частности, средний размер пузырьков и их концентрацию.

3.6. Безножевое размалывающее оборудование

В настоящее время для подготовки волокнистого материала в России и за рубежом используют безножевое размалывающее оборудование [12, 16]. Широкое применение получил двухвинтовой аппарат, или фротапульпер (рис. 3.16).

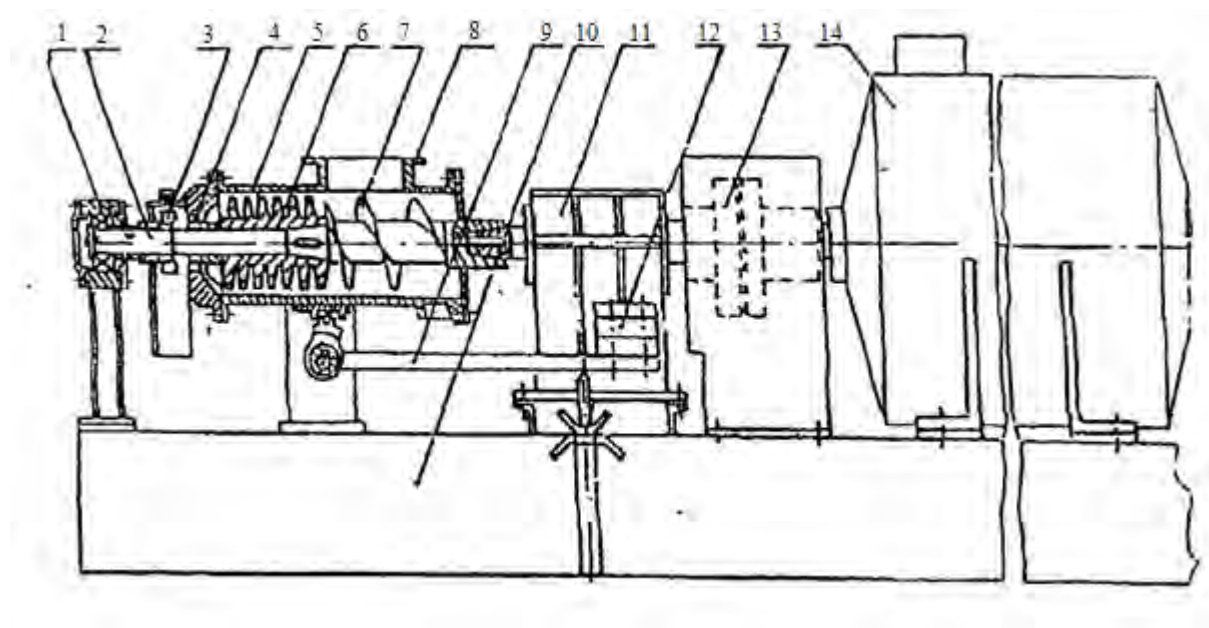


Рис. 3.16. Схема фротапульпера:

1 – подшипниковая опора; 2 – валы; 3 – вертушка; 4 – кольцевая щель;
5 – корпус; 6 – заходный шнек; 7 – рабочий шнек; 8 – патрубок; 9 – механизм присадки; 10 – рама; 11 – редуктор; 12 – груз; 13 – муфта; 14 – электродвигатель

Фротапульпер используется для предварительного размола различных волокнистых материалов высокой концентрации.

Размалываемый волокнистый материал транспортируется подающими витками шнека и поступает в зону размола, где в зазоре между витками шнека происходит разمول древесных волокон под действием сил сжатия и сдвига. Возникает интенсивное трение древесных волокон друг о друга и о элементы машины. Исследования показывают, что при обработке в двухвинтовой машине у древесных волокон отсутствуют наружные стенки, волокна становятся гибкими и пластичными. Волокнистый материал выходит из зазоров, которые возникают между корпусом и шнеком. Для управления производительностью машины используют рычажно-грузовой механизм. После пуска возрастает давление волокнистого материала на боковую крышку, которая содержит кольцевую щель. При давлении волокнистого полуфабриката кольце-

вые зазоры становятся больше и происходит выдавливание обработанного волокнистого материала из машины. Происходит поддержание постоянной производительности и мощности машины. Эксплуатация этой машины показала, что шнеки устойчивы к износу, если размеры посторонних включений, поступающих с массой, не превышают зазора между витками шнеков. Технический ресурс шнеков достигает 1,5 лет. Технический ресурс определяется видом и загрязненностью обрабатываемого материала, конструкцией и материалом шнеков.

Фротапульпер применяется при массном размолу полуфабрикатов высокой концентрации. В зазорах шнеков возникают сдвиговые напряжения, которые воспринимает волокнистый материал. Мощность фротапульпера в основном определяется трением волокнистого материала о лопасти шнека и о элементы размалывающей машины. Большое напряжение сжатия и сдвига между витками шнека вызывает в древесных волокнах сильные внутренние напряжения, которые приводят к размолу волокнистого материала. Внешнее фибриллирование волокон отсутствует, и волокна не укорачиваются. При этом степень помола волокнистого материала практически не изменяется. Обработка полуфабриката приводит к значительным внутренним изменениям в древесных волокнах, поэтому дальнейший размол в размалывающих машинах происходит при меньшей энергоемкости по сравнению с размолу полуфабриката без предварительной обработки на фротапульперах.

Еще одним безножевым аппаратом является аппарат с вихревым слоем ферромагнитных частиц. Принцип действия этого аппарата основан на энергии электромагнитного поля, которая преобразуется в механическую энергию в зоне обработки волокон. Аппарат содержит трубу и индуктора вращающегося магнитного поля (рис. 3.17). В трубе также есть ферромагнитные частицы (отрезки ферромагнитной проволоки), которые совершают движения под действием индуктора вращающегося магнитного поля. Каждая ферромагнитная частица двигается под воздействием магнитного поля. Исследования процесса размола в аппарате показали, что размол древесных волокон происходит из-за механического воздействия на полуфабрикат частиц проволоки. Период ударного импульса частиц на волокна составляет $1,3 \cdot 10^{-5}$ с. Сила ударного импульса достаточна для необратимых деформаций волокон, т. е. для их размола. Недостаток этого аппарата – сильный износ частиц и стенок камеры.

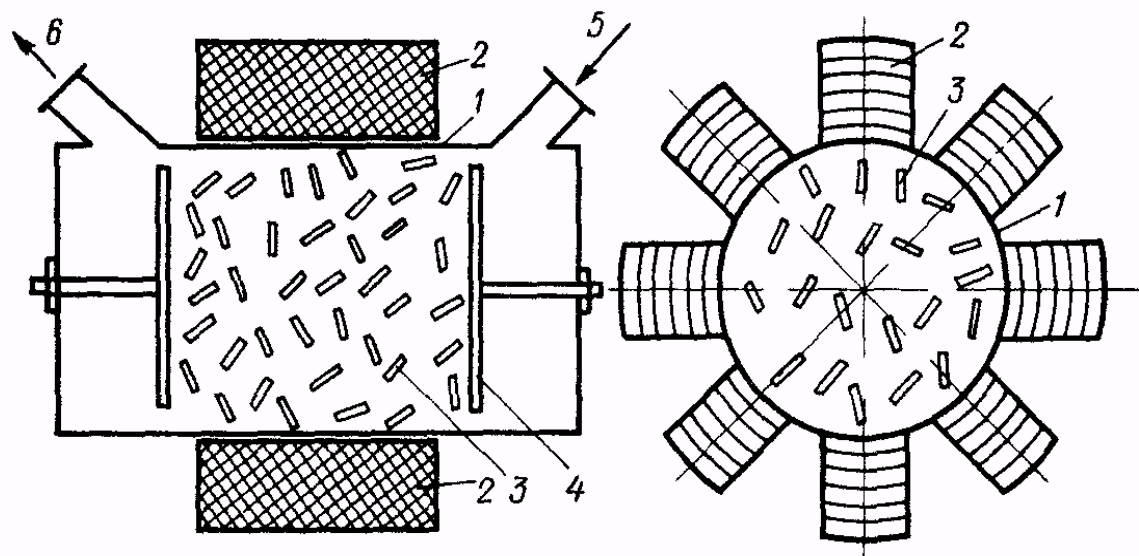


Рис. 3.17. Аппарат с вихревым слоем ферромагнитных частиц:

- 1 – размольная камера;
- 2 – индуктор вращающегося электромагнитного поля;
- 3 – ферромагнитные частицы; 4 – отражатели;
- 5, 6 – входной и выходной патрубки

К безножевому размалывающему оборудованию относится виброинерционная мельница. Схема мельницы показана на рис. 3.18. Мельница работает следующим образом. Ротор 4 вращается при помощи электродвигателя 1 через гибкую муфту 2. За счет дисбаланса 5 ротор совершает колебания и обкатывается по цилиндрическому корпусу 3. Подаваемый волокнистый материал, проходя между стенкой корпуса и ротором, размалывается. В процессе размола не возникает усилий резания на древесные волокна, и они сохраняют свою первоначальную длину. Процесс размола на этих машинах менее энергоемок по сравнению с дисковыми мельницами. Эта размалывающая машина не получила широкого применения в промышленности из-за маленькой производительности и повышенного шума.

Валковая мельница – это безножевое размалывающее оборудование. Схема валковой мельницы представлена на рис. 3.19.

Валковая мельница работает следующим образом: фильтр жидкостного давления 1 нагнетает на центральный вал 2 слой волокнистого материала, под действием силы F , действующей на валки 5, создается слой сжатых волокон между центральным валом 2 и прижимными валками 5. Размолотый волокнистый материал снимается с помощью шабера 3 и поступает на дальнейшую обработку.

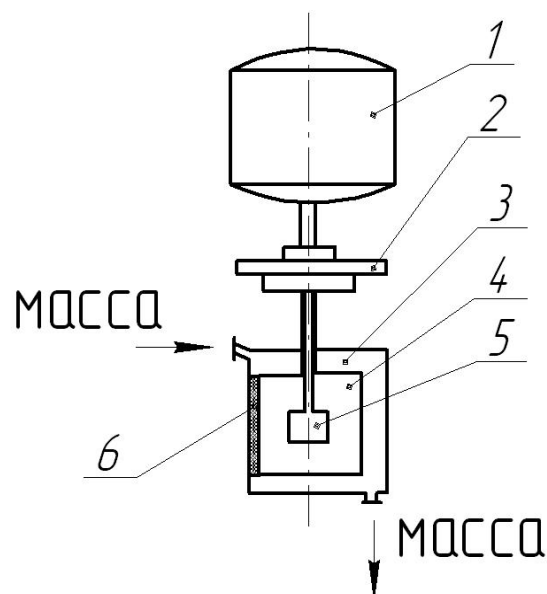


Рис. 3.18. Схема виброинерционной мельницы: 1 – электродвигатель; 2 – гибкая муфта; 3 – корпус цилиндрический; 4 – ротор; 5 – дисбаланс; 6 – слой сжатых волокон

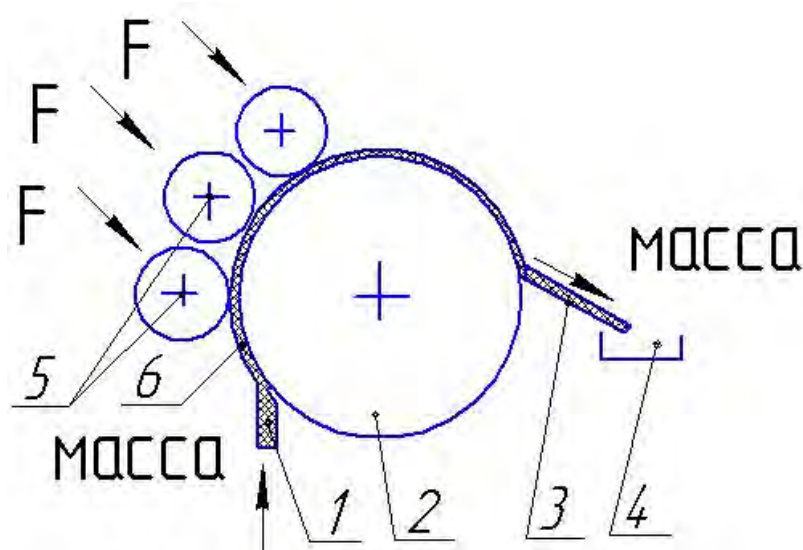


Рис. 3.19. Схема валковой мельницы: 1 – фильтр жидкостного давления; 2 – центральный вал; 3 – шабер; 4 – бассейн размоленного волокнистого материала; 5 – прижимные валки; 6 – слой сжатых волокон

Преимущества валковой мельницы – небольшой расход энергии по сравнению с дисковыми мельницами и высокое качество получаемой волокнистой массы. Недостатки этой машины – небольшая производительность и сложность конструкции фильтра жидкостного давления, поэтому эти мельницы не получили широкого распространения в промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаузе А. А., Гончаров В. Н., Кугушев И. Д. Оборудование для подготовки бумажной массы. М. : Экология, 1992. 352 с.
2. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3-х т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов / П. С. Осипов, С. С. Пузырев, Э. В. Виролайнен, Ю. А. Поляков. СПб. : Политехника, 2004. 316 с.
3. Житков А. В., Мазарский С. М. Хранение и подготовка древесного сырья в ЦБП. М. : Лесная промышленность, 1980. 224 с.
4. Вьюков Б. Е. Малоотходная технология подготовки древесного сырья в ЦБП. М. : Лесная промышленность, 1987. 264 с.
5. Вихарев С. Н. Производство древесной массы из щепы. Расчет рафинеров. Екатеринбург : УГЛТУ, 2004. 37 с.
6. Витвинин А. М., Вихарев С. Н., Зарубин С. А. Корообдирочные барабаны. Теория окорки, конструкция, монтаж и ремонт. Екатеринбург : Изд-во УГЛТА, 1997. 57 с.
7. ГОСТ 15815–83. Щепа технологическая. Технические условия. Введен 01.01.1985. М. : Изд-во стандартов, 1983. 36 с.
8. Житков А. В. Подготовка древесины для производства целлюлозы и древесной массы. М. : Гослесбумиздат, 1962. 186 с.
9. Вальщиков Н. М. Рубительные машины. Л. : Машиностроение, 1970. 286 с.
10. Коперин Ф. И. Производство технологической щепы в леспромпхозах. М. : Лесная промышленность, 1970. 236 с.
11. Вихарев С. Н., Степанова Е. Н. Рубительные машины. Теория. Конструкция. Расчет. Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. 39 с.
12. Гончаров В. Н. Ножевые размалывающие машины. Л. : ЛТА, 1960. 281 с.
13. Корда И., Либнар З., Прокоп И. Размол бумажной массы. М. : Лесная промышленность, 1967. 421 с.
14. Легоцкий С. С., Лаптев Л. Н. Размол бумажной массы. М. : Лесная промышленность, 1981. 94 с.
15. Хакимова Ф. Х. Современное производство древесной массы. Пермь : ПГТУ, 2007. 117 с.
16. Вихарев С. Н. Теория и конструкция машин для размола волокнистых полуфабрикатов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. 39 с.

Учебное издание

Вихарев Сергей Николаевич

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ БУМАЖНОЙ МАССЫ

ISBN 978-5-94984-994-1



Редактор П. С. Фенина
Оператор компьютерной верстки О. А. Казанцева

Подписано в печать 07.07.2026. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Цифровая печать.

Уч.-изд. л. 5,00. Усл. печ. л. 5,35.

Тираж 300 экз. (1-й завод 7 экз.).

Заказ № 8472.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет». 620100,
Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.
Редакционно-издательский отдел. Тел. 8 (343) 221-21-44.

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ».
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, пер. Лобачевского, 1, оф. 15.
Тел. 8 (343) 362-91-16.