

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра технической механики и оборудования целлюлозно-бумажных производств

С.Н. Вихарев

Теория и конструкция машин для размола волоконистых полуфабрикатов

Методические указания для выполнения лабораторных и практических работ по курсам «Теория и конструкция технологических машин и оборудования», «Проектирование и модернизация машин и оборудования ЦБП», «Процессы, технология и оборудование целлюлозно-бумажных производств», «Процессы, технология и оборудование древесно-плитных производств» для студентов очной и заочной формы обучения направлений 15.03.02, 15.04.02

Екатеринбург
2014

Электронный архив УГЛТУ

Рассмотрено и рекомендовано к изданию методической комиссией института ЛБ и ДС

Рецензент В.П. Сиваков

Редактор

Подписано в печать

Плоская печать

Поз.

Формат 60x84 1/16

Печ. л.

Заказ

Тираж

Цена

Редакторско-издательский отдел УГЛТУ

Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Содержание

1. Основные стадии процесса размола волокнистых полуфабрикатов.....	3
2. Принципы работы и систематизация размалывающих машин.....	5
3. Конструкции ножевых размалывающих машин.....	8
4. Принципы работы и систематизация конструкций безножевых машин для дороспуска и размола бумажной массы.....	16
5. Конструкции машин для дороспуска и размола бумажной массы.....	17
6. Безножевое размалывающее оборудование.....	27
Литература.....	31

1. Основные стадии процесса размола волокнистых полуфабрикатов

В зависимости от исходного полуфабриката процесс приготовления массы можно расчленить на отдельные стадии:

если в переработку поступают листы целлюлозы, макулатуры, сухой брак, то основными стадиями можно назвать роспуск, окончательный роспуск (дороспуск), массный размол;

если перерабатывается щепка, сучки, непровар, то предварительной стадией измельчения перед массным размолом являются дефибрация или горячий размол.

Каждая из названных стадий требует применения особых, узкоспециализированных измельчающих и размалывающих машин. Основной целью предварительного роспуска является разрыв и роспуск листов на лепестки, пучки волокон. Эта операция в настоящее время почти повсеместно осуществляется в гидроразбивателях. Для разделения на отдельные волокна лепестков, узелков и пучков применяются 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.

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, благоприятствуя 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 поверхностной оболочки (первичной стенки) волокон; ускорение набухания; внешнее и внутреннее фибриллирование (увеличение активной поверхности волокон и их гибкости, что способствует образованию большого числа водородных связей при формовании бумажного полотна и соответственному повышению его прочности); выравнивание длины волокон - их рубка.

2. Принципы работы и систематизация размалывающих машин

Обработку волокнистых полуфабрикатов можно осуществить с помощью механического воздействия (сдавливания, сдвига, среза) твердых элементов размалывающих машин на обрабатываемый материал, либо гидродинамическими методами. Машин гидродинамического воздействия малоэффективны для массного размола. Наибольшее применение на этой стадии подготовки бумажной массы нашли различного типа машины механического воздействия, из которых наиболее распространенным 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 получают все большее промышленное использование двухвинтовые машины для предварительной обработки массы при 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 уделено теории работы и конструкциям размалывающих машин с ножевой гарнитурой, получивших наибольшее распространение на предприятиях отрасли. Основным принципом действия этих машин - обработка волокна в зазоре между поверхностями перемещающихся относительно друг друга ножей (рис. 1).

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. 1а показано укорачивающее действие при малом зазоре между ножами, на рис. 1б - расчесывающее действие при большом зазоре. Величина рабочих зазоров при размоле массы низкой концентрации (до 5-6%) 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.

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.

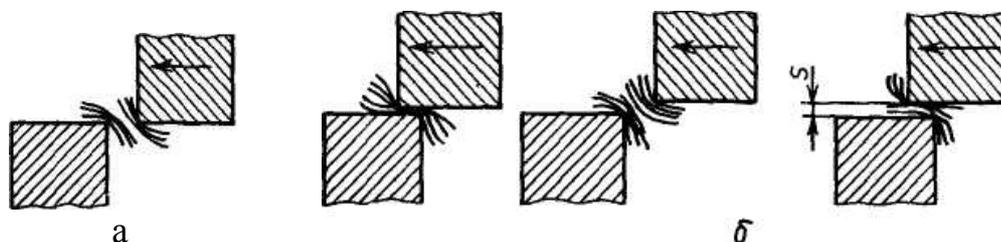


Рис. 1. Схема действия ножей размалывающей машины на древесные волокна:
а — при малом зазоре (резание); б — при большом зазоре (фибриллирование)

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 Жордан (по имени изобретателя). Принципиальные схемы ролла, конической и дисковой мельниц показаны на рис.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 30 %. Общим для всех типов машин является наличие ротора с выступающими ножами и противолежащий им набор ножей на статоре. Расстояние и соответственно удельное давление между ножами регулируется с помощью механизма присадки.

Процесс размола в ролле периодического действия заключается в том, что волокнистый материал загружается порцией в ванну, разбавляется водой до требуемой концентрации и размалывается с опущенным барабаном при определенном удельном давлении. Бумажная масса проходит между ножами ротора (барабана) и статора (планки), размалывается и перебрасывается ножами барабана через горку. Затем масса по уклону, образованному горкой, движется по обратному каналу снова к рояльному 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 масса выгружается и ванна заполняется новой порцией.

В отличие от ролла в конической и дисковой мельницах осуществляется непрерывный подвод массы (чаще всего со стороны малого диаметра гарнитуры). Продвижение массы по каналам между ножами обусловлено как давлением, создаваемым на входе насосом, или винтом, так и центробежными силами, развиваемыми ротором. Необходимая степень помола на выходе регулируется величиной присадки ротора к статору и временем пребывания массы в мельнице путем дросселирования задвижки на выходе из мельницы. Для достижения высокой степени помола производится установка последовательно нескольких мельниц. В настоящее время роллы применяют лишь при производстве некоторых тонких видов бумаги, требующих длительного размола, а также для размола тряпичной полумассы.

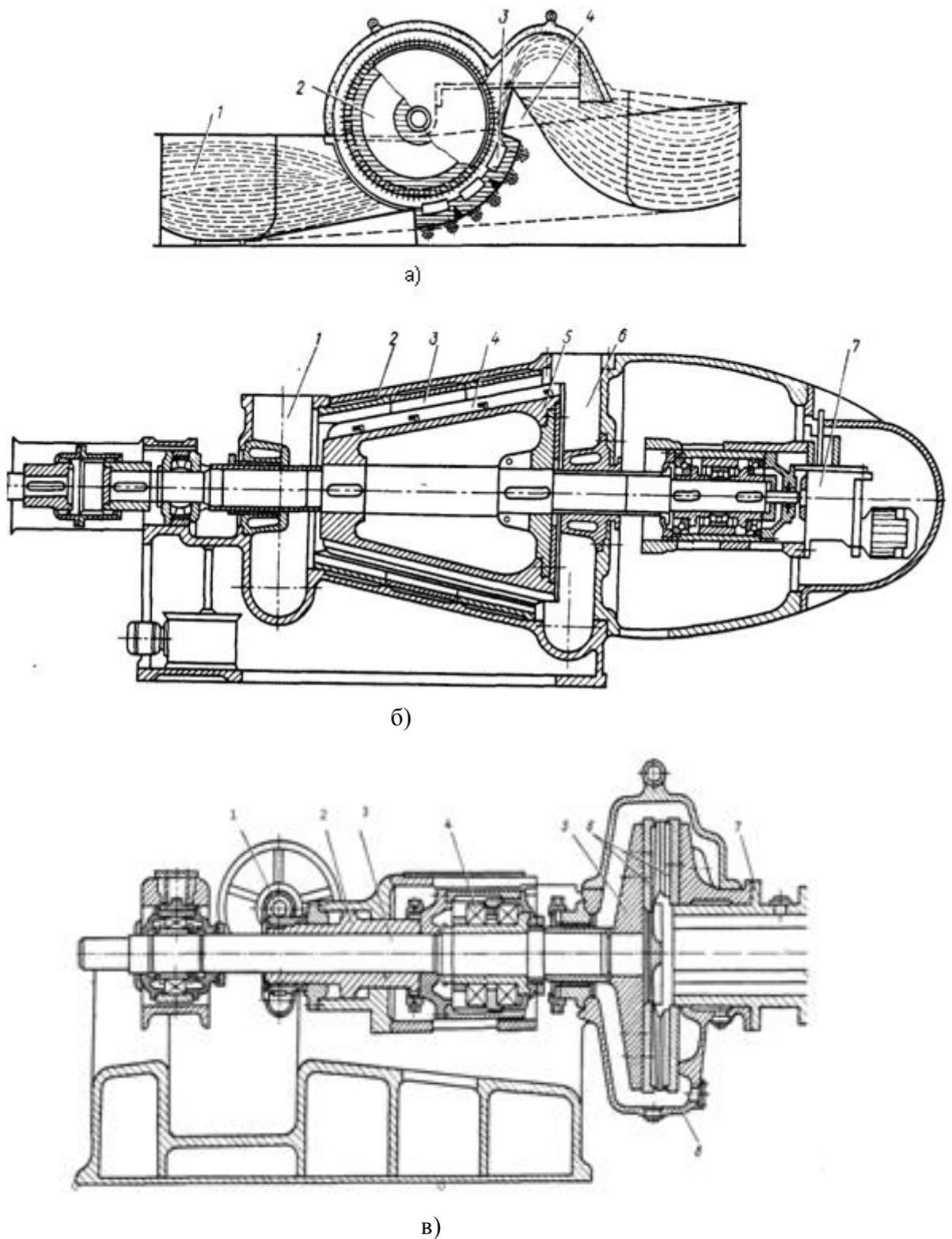


Рис. 2. Основные типы ножевых размалывающих машин: а — ролл: 1 — ванна; 2 — ножевой барабан; 3 — планка с ножами; 4 — горка; б — коническая мельница: 1 — входная полость; 2 — корпус статора; 3, 4 — ножи статора и ротора; 5 — кольцевая стяжка для крепления ножей ротора; 6 — выходная полость; 7 — механизм 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

Кроме того, роллы и теперь еще используются в тех случаях, когда требуется вырабатывать разнообразный ассортимент бумаги.

Для массовых видов бумаги на предприятиях, имеющих большую производительность, размол в настоящее время проводится почти исключительно в машинах непрерывного действия. В дальнейшем будем рассматривать теорию работы и конструкции только этих машин, так как они являются основным размалывающим оборудованием современных предприятий.

Оборудование для размола чрезвычайно энергоемко и потребляет до 50% энергии, необходимой для производства бумаги. Удельный расход энергии на размол колеблется в пределах от 180 до 9000 МДж на тонну целлюлозы. 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 КПД объясняется малой упорядоченностью, хаотичностью размола, практической невозможностью наиболее рационального приложения нагрузки к волокнам. А также сложностью структуры волокон, что обуславливает необходимость многократного воздействия на волокна для отделения фибрилл. Стремление к повышению КПД процесса размола - одна из основных причин развития и совершенствования размалывающих машин. До настоящего времени известно множество типов ножевых размалывающих машин, которые могут быть систематизированы в соответствии со схемой на рис. 3.

3. Конструкции ножевых размалывающих машин

Конические мельницы. В соответствии с классификацией конические мельницы можно разделить на два типа: с горизонтальным и вертикальным валом. Наибольшее распространение получили мельницы с горизонтальным валом, которые делятся на три группы в соответствии с тем, как движется масса по мельнице: от малого диаметра ротора к большому; от большого диаметра к малому (против действия центробежной силы); поперек зоны размола.

В зависимости от угла конусности мельницы можно разделить на две группы: с малым углом 16-22° и с большим 40° (мельницы Клафлина). По технологическому назначению конические мельницы принято делить на два типа: мельницы для гидратации и фибриллирования волокон (гидрофайнеры) и мельницы для гидратации с укорочением волокон (собственно конические мельницы, или жорданы).

Мельницы для гидратации с укорочением волокон работают при сравнительно низких окружных скоростях (15 - 20 м/с.) Гарнитура этих мельниц, как правило, наборная с толщиной ножей 5 - 10 мм. Гидрофайнеры работают при малых удельных давлениях, повышенной концентрации массы до 5-6 % и высокой окружной скорости 25 - 35 м/с, что вызывает необходимость применения литой гарнитуры.

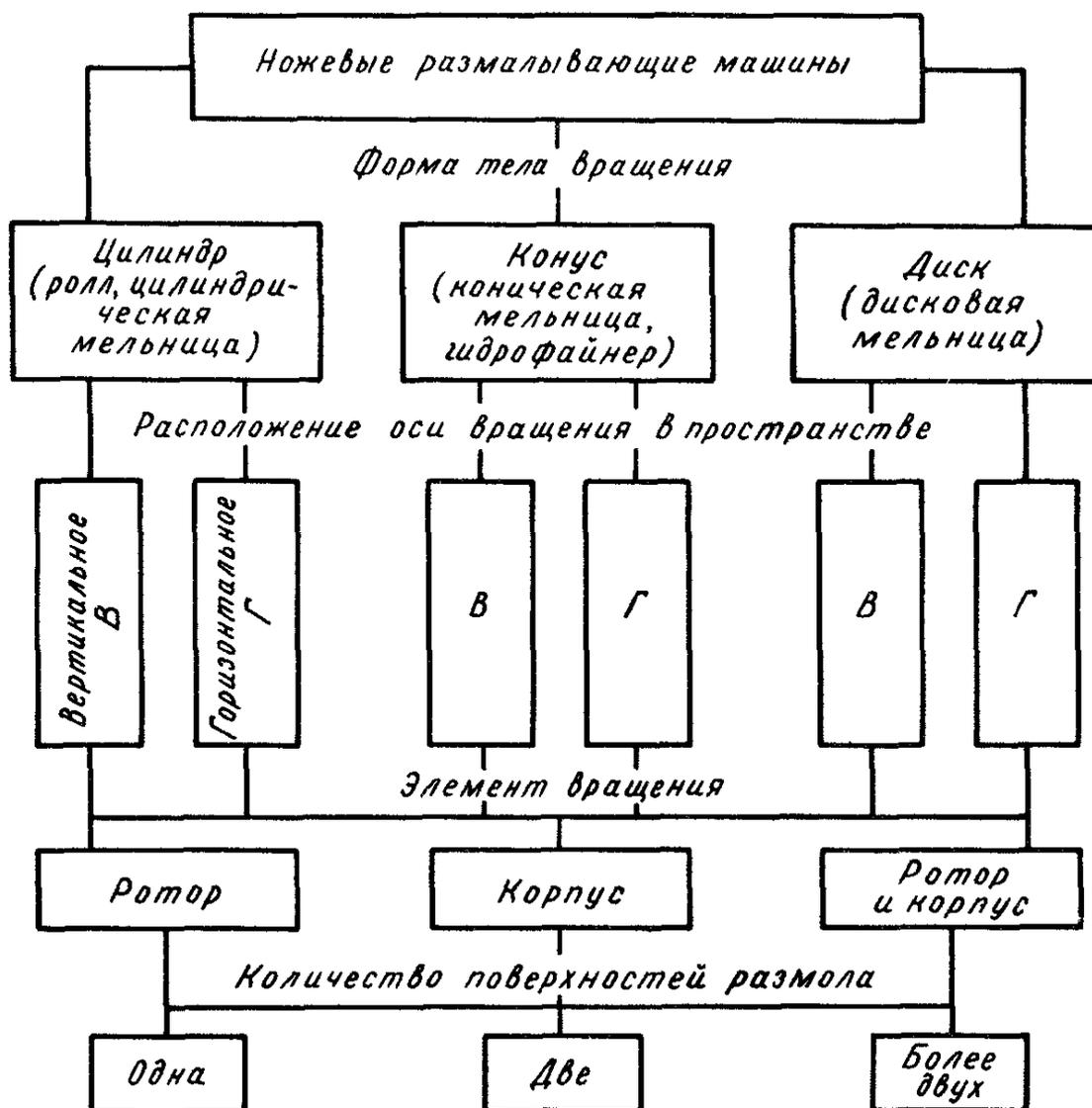


Рис. 3. Систематизация ножевых размалывающих машин

Технология изготовления гарнитуры обуславливает большую ширину ножа — до 16—20 мм, хотя с точки зрения физики процесса размола такая ширина ножей нецелесообразна. Типичная конструкция конической мельницы с наборной гарнитурой с движением массы от малого диаметра к большому представлена на рис. 2 б. На обоих концах вала установлены подшипники, причем со стороны большого торца ротора упорный или радиально-упорный подшипник для восприятия осевых нагрузок. Ротор вместе с подшипниками может перемещаться в осевом направлении по направляющим корпуса, для чего в данном случае использован электромеханический винтовой механизм присадки. Кроме указанного в практике используются и другие механизмы присадки ротора: ручной винтовой, гидравлический и пневматический.

При увеличении угла конусности требования к точности механизма перемещения ротора возрастают. Ротор приводится во вращение от электродвигателя через эластичную муфту, допускающего осевое перемещение. Наборные гарнитуры собираются из отдельных стальных ножей прямоугольного се-

чения разной длины, вырезанных из проката специального профиля. Ножи ротора (рис. 4, *а*) вставляются в прямоугольные пазы рубашки, простроганные по образующей конуса, и крепятся в них с помощью специальных кольцевых стяжек.

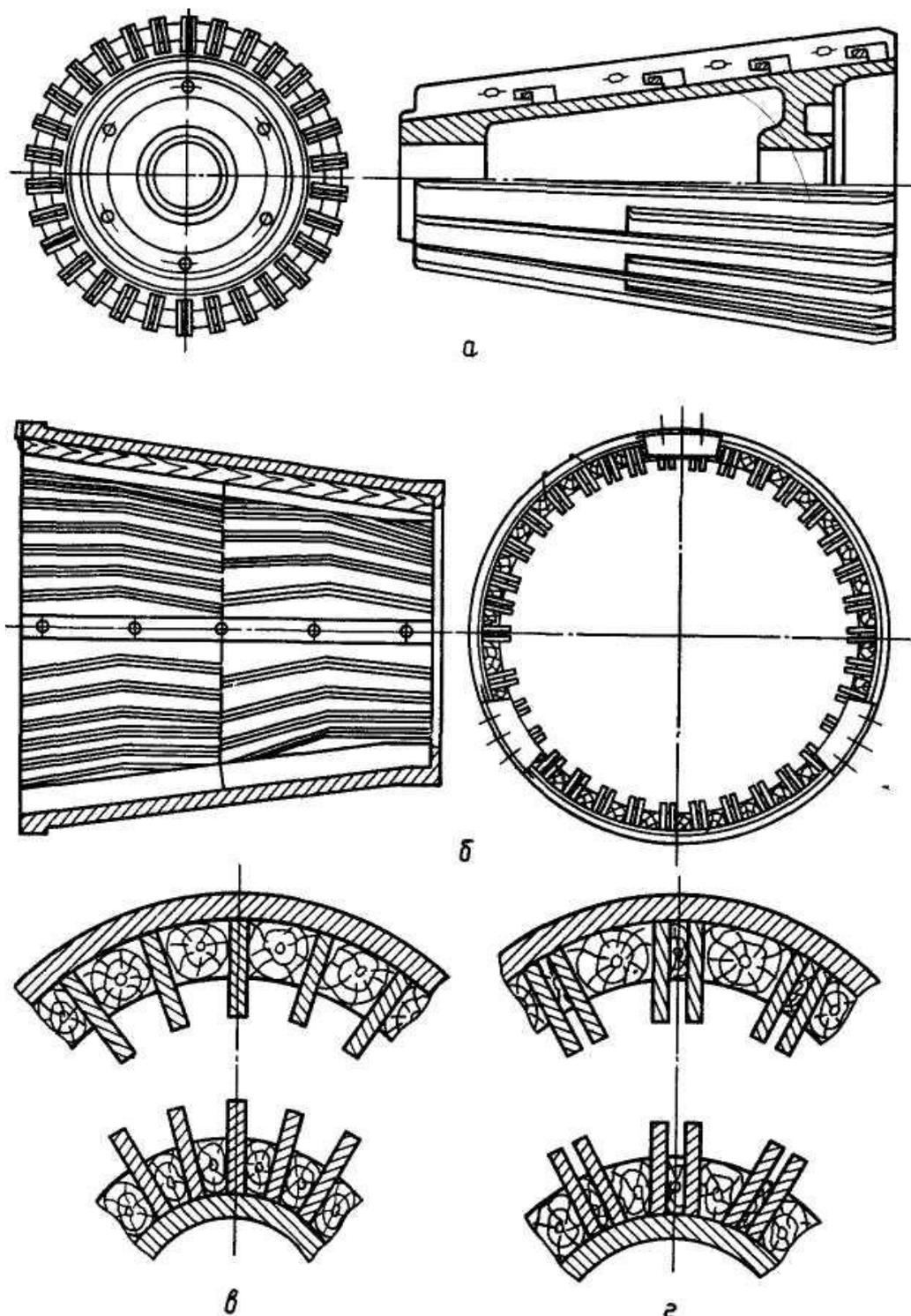


Рис 4. Наборная гарнитура конической мельницы:
 а - гарнитура ротора; б - гарнитура статора; в - равномерное распределение ножей;
 г - спаренные ножи

В промежутках между ножами помещаются прокладки и клинья из дерева. Применяются два варианта распределения ножей по окружности руба-

шек ротора и статора: равномерное (рис. 4, в) и групповое - по два - четыре ножа в группе (рис. 4, г). Ножи статора в отличие от ножей ротора имеют изогнутую форму и крепятся в чугунном корпусе в двух-трех секциях по длине (рис. 3, б) с помощью деревянных прокладок и клиньев. К ножам предъявляются высокие требования по твердости, прочности, износостойкости и ударостойкости. В наибольшей степени указанным требованиям в настоящее время отвечают ножи из марганцовистых сталей 65Г-70Г с поверхностной закалкой. Срок службы таких ножей в 2 раза выше, чем ножей из стали 40Х, применявшейся для этой цели до недавнего времени.

Литая гарнитура ротора и статора изготавливается в виде рубашек 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. В последних конструкциях отечественных и зарубежных мельниц ножи на рубашках ротора и статора располагаются по винтовой линии. Это дает возможность обеспечить несколько большую секундную режущую длину, повысить плавность работы и снизить уровень шума.

Наряду с металлическими гарнитурами применяется базальтовая, выполняемая в виде чугунной рубашки с карманами, в которых с помощью цементной заливки или эпоксидной смолой закрепляются базальтовые бруски

После сборки коническая мельница обкатывается в течение 4-6 ч сначала с водой. Потом производится прициковка (приработка) гарнитур ротора и статора с помощью мелкозернистого песка, добавляемого в воду.

Мельница с движением массы от большого диаметра к малому (мельница Мордена) имеет литую гарнитуру. В этой мельнице масса поступает в полый ротор, который снабжен крылаткой, аналогичной рабочему колесу центробежного насоса. При прохождении крылатки давление массы возрастает на 0,2 - 0,22 МПа. Этому давлению противодействует давление, развиваемое центробежными силами в межножевом пространстве ротора. 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 повышенной 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 в настоящее время основные размалывающие машины благодаря следующим преимуществам перед коническими мельницами :

более широкой области применения - производству древесной массы из щепы, размолу отходов древесно-массного производства, полуцеллюлозы, горячему размолу целлюлозы, массному размолу;

более низкому (на 20 - 25%) удельному расходу энергии, что объясняется меньшими гидродинамическими потерями;

возможности размола массы при высокой концентрации (до 30 %), в то время как конической мельнице до 5-6%;

большей единичной производительности и мощности - до 3 МВт на массном размоле, до 32 МВт - на производстве древесной массы из щепы (коническая мельница — максимум до 0,6 МВт);

значительному сокращению трудоемкости и продолжительности замены изношенной гарнитуры (2- 4 ч вместо нескольких дней).

В настоящее время выпускается три основных типа дисковых мельниц: однодисковые, двухдисковые и сдвоенные (рис. 5). Кроме этих вариантов делались попытки внедрения многодисковых мельниц, но они оказались безуспешными из-за сложности конструкции, трудностей эксплуатации и ремонта.

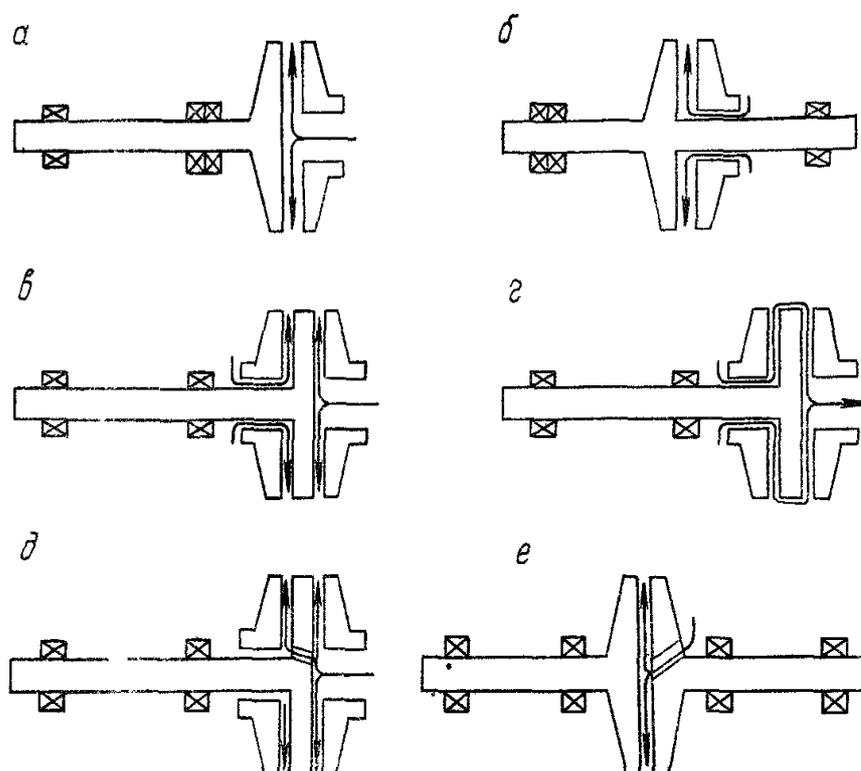


Рис. 5. Основные типы дисковых мельниц:

а, б - однодисковая; е, г, д - 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

Однодисковые мельницы имеют одну зону размола с вращающейся и неподвижной размалывающими поверхностями (рис. 6). Масса подается в центральную часть зоны размола насосом или винтом (при концентрации более 6%) и движется к периферии дисков. Возможны два варианта расположения

дисков: консольное) и между двумя опорами. Сдвоенные дисковые мельницы имеют две зоны размола - с лицевой и тыльной поверхности роторного диска (рис. 7).

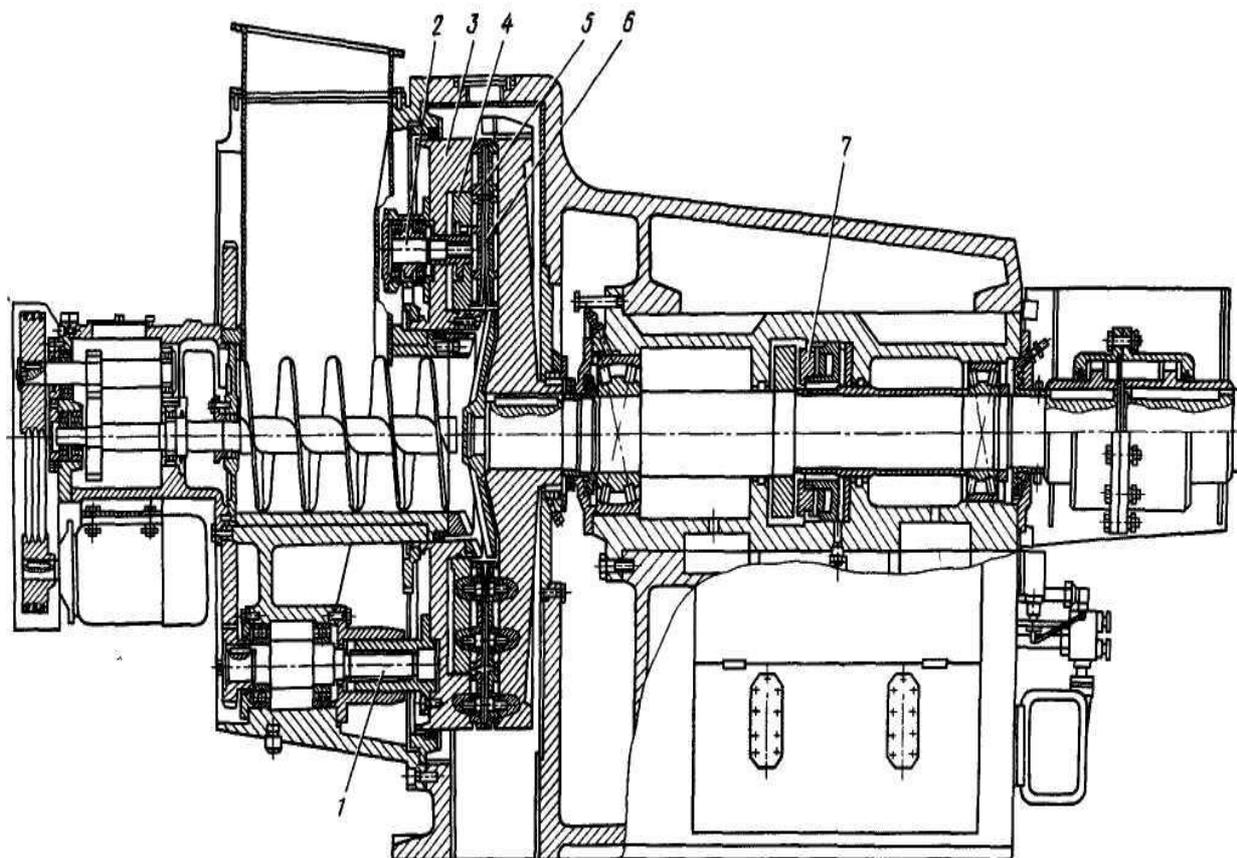


Рис. 6. Однодисковая мельница с винтовой подачей массы: 1 - винтовые пары статора; 2 - винтовые пары статорного кольца; 3 - статор; 4 - статорное кольцо; 5 - гарнитура периферическая; 6 — гарнитура центральная; 7 — упорный подшипник скольжения

Гарнитура дисковых мельниц изготавливается чаще всего в виде секторов, закрепляемых на поверхности несущих дисков ротора и статора, или в виде цельных колец (для мельниц с консольным расположением диска). Существует большое количество вариантов расположения ножей на поверхности гарнитуры, которые могут быть сведены к нескольким наиболее типичным (рис. 8).

Выбор той или иной конфигурации основывается на экспериментальных данных. Наиболее существенными элементами гарнитуры, влияющими на эффективность работы, являются: толщина ножей и расстояние между ними, углы наклона ножей к радиусу, наличие и расположение перегородок в каналах между ножами. В соответствии с ранее изложенными представлениями о работе размалывающих машин производительность мельницы увеличивается, а удельный расход энергии уменьшается при возрастании числа ножей. Это может быть достигнуто за счет уменьшения толщины ножей и расстояния между ними.

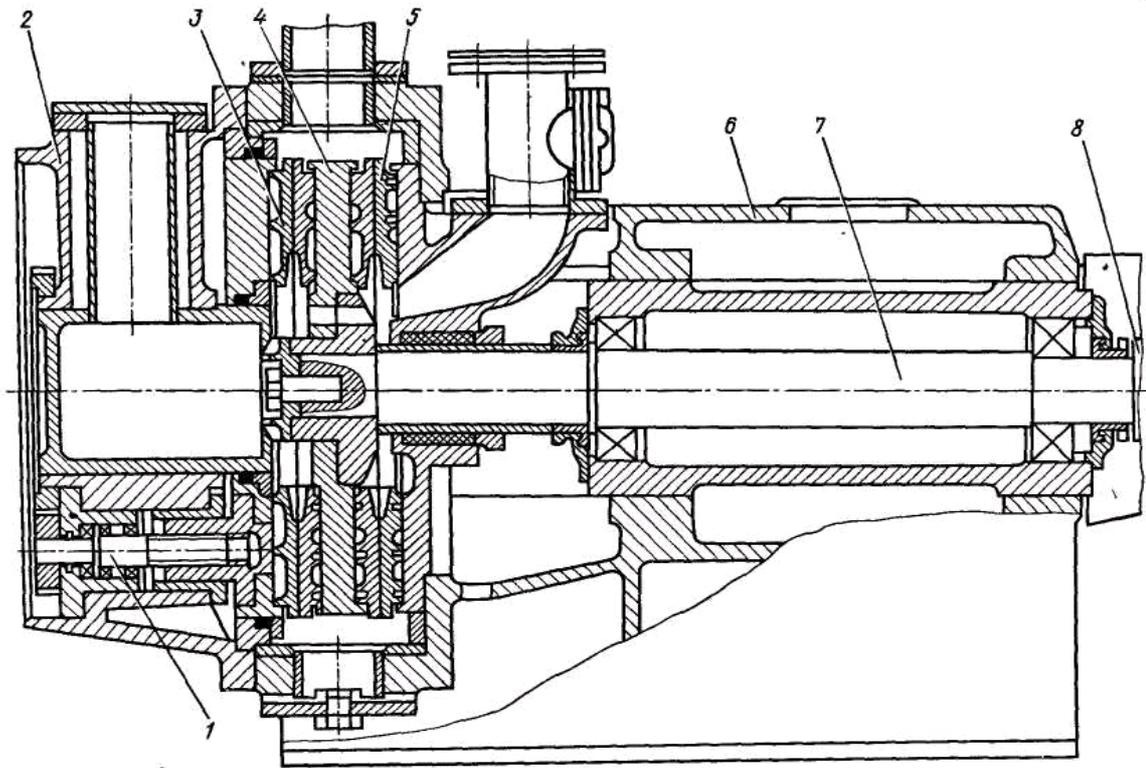


Рис.6. Сдвоенная мельница: 1 - винтовая пара; 2 - крышка камеры; 3 - статор; 4 - диск ротора; 5 - гарнитура размалывающая; 6 - станина; 7 - ротор; 8 - муфта

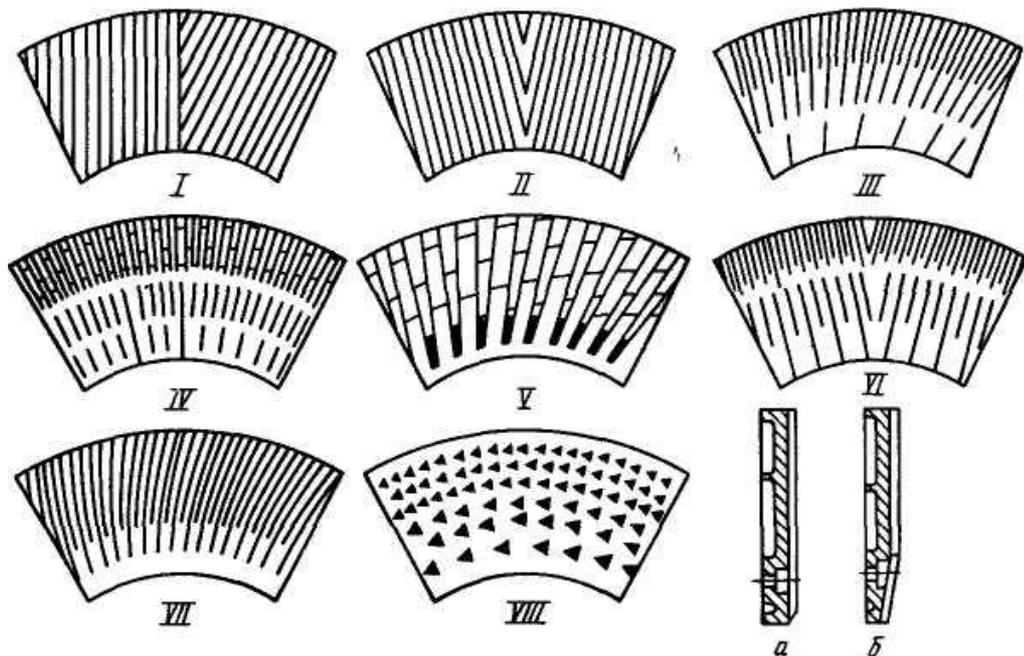


Рис. 7. Варианты расположения ножей на гарнитурах дисковых мельниц: I - параллельное однонаправленное; II, VI - параллельное разнонаправленное (зеркальное); III, IV, V - расходящиеся ножи: под углом к радиусу (III, V) и радиальные (IV); VII — спиральное; VIII—шипообразная гарнитура; а - сечение гарнитур I, II, III типов для массы низкой концентрации; б - сечение гарнитур IV, V, VI типов для массы высокой концентрации

Минимальная толщина ножей ограничивается условиями прочности и технологией изготовления и составляет 3 - 4 мм (в отдельных случаях 2 мм). Расстояние между ножами определяется видом размалываемого полуфабриката и его концентрацией. При размоле массы концентрацией 3 - 5% можно рекомендовать ширину каналов для коротковолокнистой листовенной целлюлозы 2 - 3 мм, для хвойной 4 - 5 мм ..

Перегородки в каналах между ножами устанавливаются для торможения массы и увеличения продолжительности ее пребывания в мельнице. Они целесообразны при размоле массы высокой концентрации, размоле щепы, когда применяются мельницы с открытым выходом, в которых время пребывания массы невозможно регулировать дросселированием задвижки на выходе, как это делается в мельницах, работающих при концентрации до 6 %. Перегородки в каналах устанавливаются по спирали, что обеспечивает более равномерный износ ножей по длине (рис. 7 варианты IV, V, VI). У большинства типов гарнитур (в основном для размолы при высокой концентрации) толщина ножей и расстояние между ними уменьшаются от центра диска к периферии.

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

Угол наклона ножей к радиусу для промышленных мельниц не превышает 20°. Существенное значение для работы мельницы имеет направление вращения ротора по отношению к наклону ножей. Если ножи наклонены по направлению вращения (т.е. режим, соответствующий работе центробежного насоса с лопатками, загнутыми вперед), то мельница работает в режиме "удержания" массы в зоне размолы; наклон ножей против направления вращения ротора обеспечивает увеличение пропускной способности мельницы (режим "прокачивания"). Для гарнитур 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 определяется материалом гарнитуры, удельным давлением при размолы, видом размалываемого материала, наличием загрязнений в массе и колеблется от нескольких часов до 1,5 лет. Гарнитуры изготавливаются либо методом литья (секторы), либо механической обработкой (кольцевая гарнитура с параллельным расположением ножей). В качестве материала используются нержавеющая износостойкая сталь или специальный чугун с присадкой хрома. Ведутся работы по поиску материала для гарнитур. После отливки рабочая поверхность ножей подвергается шлифовке. Твердость рабочих поверхностей стальной гарнитуры 45 - 52HRC, отбеленного чугуна HB 380 - 420. Считается, что материал гарнитуры ротора должен быть более твердым на HRC 5 - 10 по сравнению с гарнитурой статора.

4. Принципы 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 многократного увеличения продолжительности роспуска и расхода электроэнергии. Поэтому окончательный роспуск (дороспуск) гораздо более целесообразно производить в других типах машин. На многих предприятиях этот процесс производят в ножевых размалывающих машинах непрерывного действия: конических (гидрофайнерах) и дисковых мельницах. Однако разработаны и исследованы безножевые машины, предназначенные специально для дороспуска бумажной массы. Такие машины обеспечивают более мягкий, щадящий режим обработки, что особенно важно для коротковолокнистых материалов и макулатуры, волокна которой уже претерпели стадию ножевого размола. Обработка в безножевых машинах оказывается достаточной для подачи массы на бумагоделательную машину, минуя стадию окончательного массного размола в ножевых машинах.

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 размолом 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 :

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 или превалирования того или иного вида воздействия машины для дороспуска и безножевого размола можно систематизировать:

роторно-пульсационные — энтштиппер, 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 - ГАК), аппарат, использующий принцип электрогидравлического эффекта - (ЭГЭ), 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.

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. 8) . Масса концентрацией 2 - 3% из циркуляционной емкости центробежным насосом подается через коническое сопло 1 на преграду 2. Преграды могут быть неподвижными рифлеными (рис. 8, а) и в виде вращающегося о боковую поверхность которого разбивается струя массы (рис. 8, б). Подробные исследования размола с указанными типами преград проведены В. Г. Марковым. В этих экспериментах струя массы 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 массы так же, как и в ножевых размалывающих машинах. Характер помола массы - жирный, длиноволокнистый. Происходит фибрилляция 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 массы, разделенный прорезями на отдельные струи, после ускорения ротором ударяется о передние стенки рабочих выступов первого кольца статора. Каждое последующее кольцо ротора, имеющее большую окружную ско-

рость, создает дополнительный импульс напора, который обеспечивает постепенный проход массы к периферии. Вследствие разделения суспензии на многочисленные струи за 1 секунду происходит $(1,6-2)10^6$ столкновений частиц суспензии с рабочими органами, что и обуславливает высокую степень дисперсности и однородности выходящей массы.

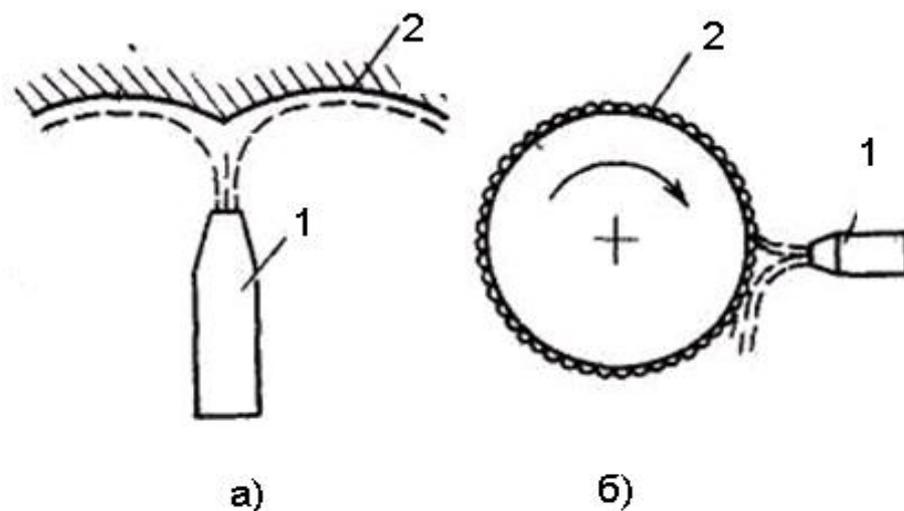


Рис. 8. Схемы аппаратов типа струя - преграда: *а* - с плоской рифленной преградой; *б*- с преградой в виде вращающегося цилиндра; 1 - сопло; 2 — преграда

В энтштиппере (рис. 9) имеют место гидродинамическое воздействие на обрабатываемый материал. Причины и механизм возникновения этих воздействий следующие:

1. Ударное воздействие обусловлено столкновением частиц массы с поверхностями рабочих выступов при переходе суспензии из прорезей ротора в прорези статора и наоборот. Максимальная скорость удара примерно равна окружной скорости колец ротора.

2. Пульсационное (акустическое) воздействие обусловлено гидроударами при быстром замедлении радиального тока массы в моменты периодического перекрытия пазов статора выступами ротора. Пульсации гидродинамического давления вызывают колебания зубцов ротора и статора.

3. 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.

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

5. Механическое действие (сдавливание и сдвиг) перекрещивающихся выступов ротора и статора на пучки волокон, размеры которых превышают величину зазора.

Существуют различные мнения о степени влияния каждого из перечисленных факторов на процесс обработки массы 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 преобладающее влияние ударного действия на обработку волокон в энтштиппере.

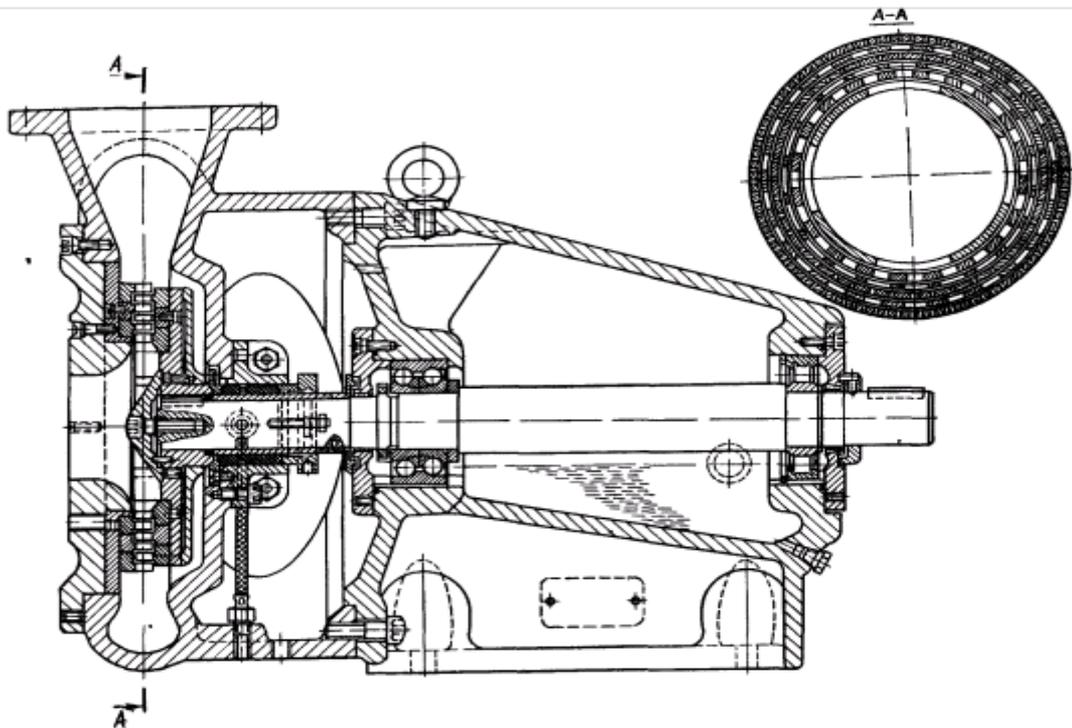


Рис. 9. Схема энтштиппера

Производительность энтштиппера и удельный расход энергии на операции дороспуска зависят как от вида перерабатываемой массы, так и от пер-

воначального 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 массы через аппарат для практически полного диспергирования пучков в массе.

Представляет интерес изменение способности массы к обезвоживанию в процессе дороспуска. Вначале степень помола быстро возрастает, что в первую очередь объясняется интенсивным снижением содержания лепестков, вследствие чего масса становится более однородной 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 массного 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 массы в энтштиппере 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 массы до 30 %. Подача массы обеспечивается в этом случае специальным винтом, устанавливаемым на входе в энтштиппер. Экономия энергии при размоле массы высокой концентрации обусловлена уменьшением количества перекачиваемой воды в массе и усилением напряжений межволоконного трения. Обработку массы 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 длиноволокнистой 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 конического типа МП (рис. 10), которые сочетают в себе принцип радиально-осевого импульсного перемещения массы 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.

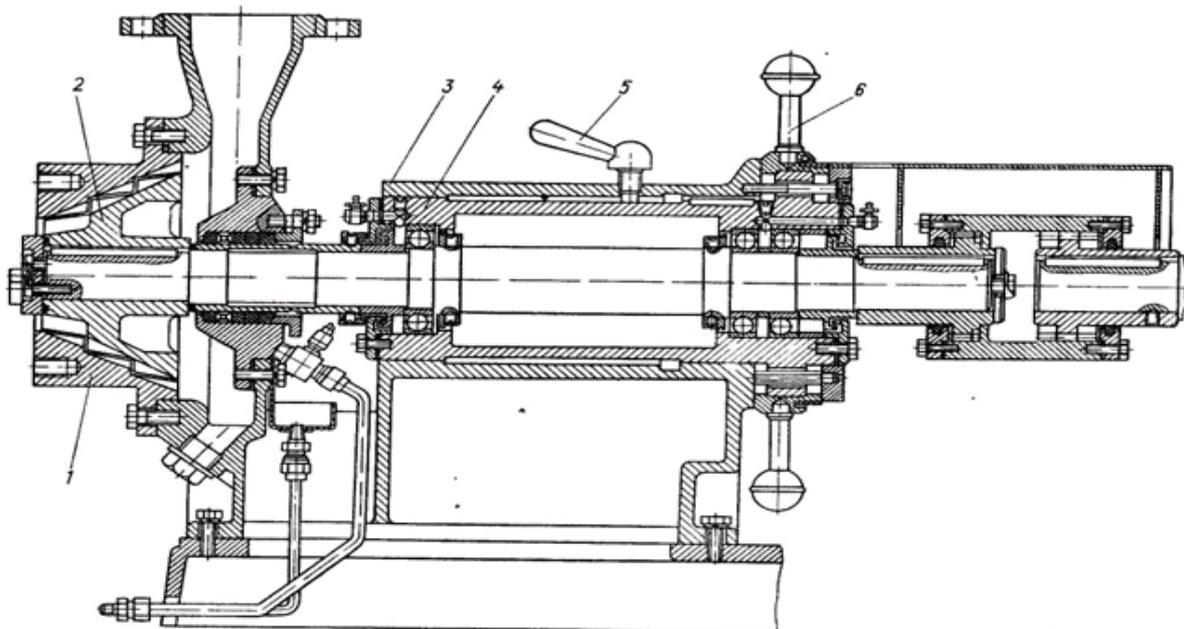
Вал ротора вращается в шариковых подшипниках, установленных в аксиально подвижном стакане. С целью регулирования зазора между вращающимися и неподвижными рабочими элементами ротор вместе с валом и стаканом может перемещаться в осевом направлении относительно станины. Это перемещение осуществляется с 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 .

Масса подается по центральному входному патрубку и поступает в пазы между выступами первого кольца ротора. Масса увлекается во вращение и под действием центробежной силы перебрасывается радиально в пазы первого кольца статора при их совмещении с пазами ротора. В пазах статора масса начинает двигаться вдоль оси мельницы и импульсно перебрасывается в следующий ряд пазов ротора. Такое ступенчатое, зигзагообразное движение массы продолжается до ее выхода из зоны обработки мельницы. Частота пульсаций давления зависит от скорости вращения и количества пазов на роторе.

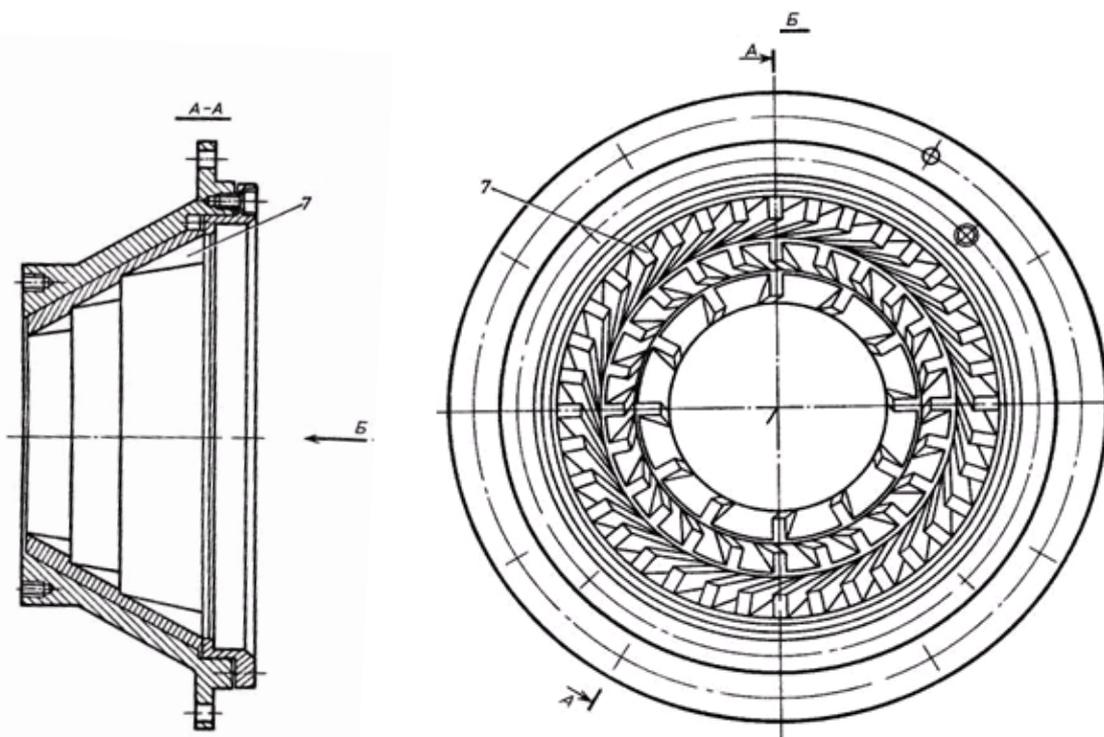
Существенным достоинством пульсационных мельниц типа МП по сравнению с энштиппером является более жесткая и прочная конструкция крепления рабочих выступов, способная выдержать попадание твердых включений. Тем не менее, для увеличения срока службы гарнитуры необходима тщательная очистка входящей массы 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 массы. При этом помол массы 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 массы применяют также фиберайзер – роторно-пульсационную мельницу с перфорированной гарнитурой (рис. 11). Механизм воздействия на волокнистую массу у этой машины такой же, как у энштиппера.

В основу работы электромеханических излучателей (рис.12) 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 .

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 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.



а)



б)

Рис.10. Пульсационная мельница типа МП: а - продольный разрез; б - вариант исполнения статора со сменной рубашкой; 1 — статор; 2 - ротор; 3 - станина; 4 - стакан ротора; 5 - стопор для фиксации положения ротора; 6 - механизм перемещения ротора типа винт—гайка; 7 — рабочие элементы (выступы) статора.

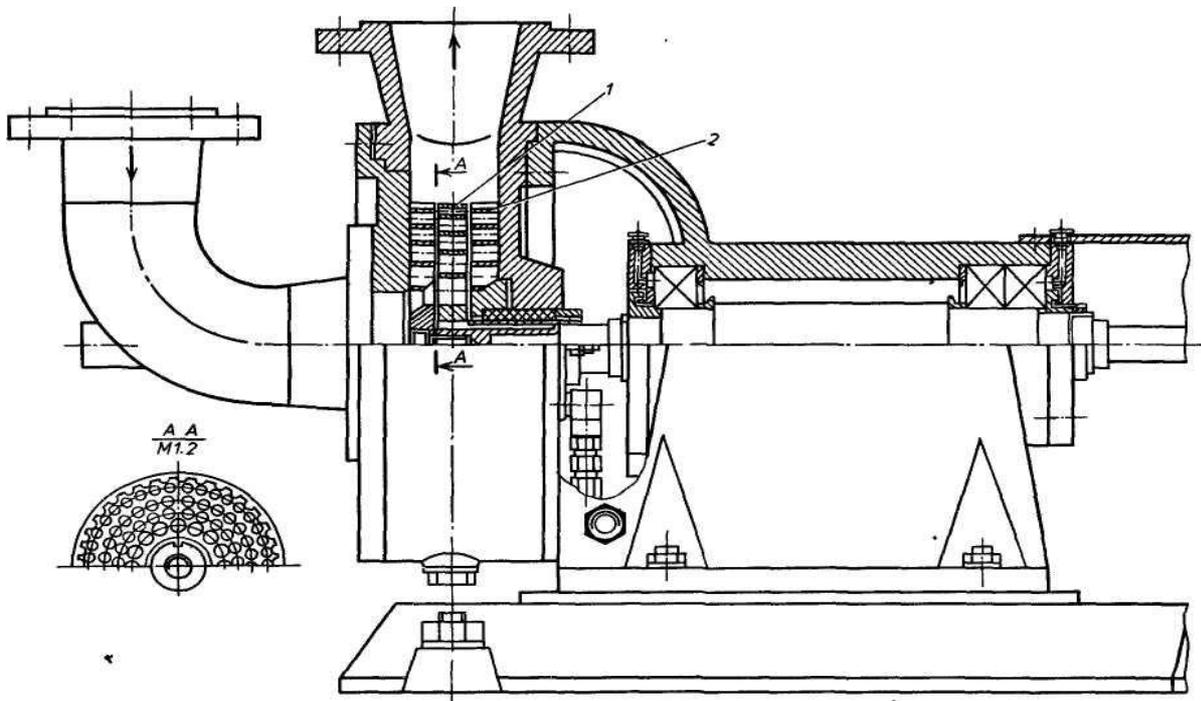


Рис. 11. Схема фибрайзера: 1- перфорированный диск ротора; 2 - перфорированные диски статора

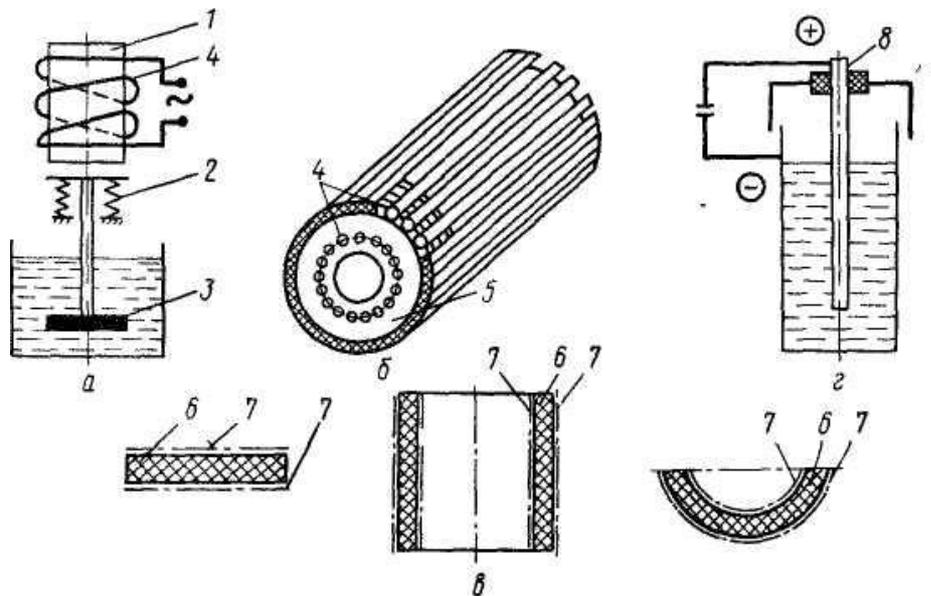


Рис. 12. Электромеханические излучатели: *а* — электромагнитный; *б* — магнитострикционный цилиндрический; *в* — пьезоэлектрический — плоский, цилиндрический, сферический; *г* — аппарат для создания электрогидравлического эффекта; 1 — электромагнит; 2 — яркость; 3 — излучающая пластина; 4 — обмотка; 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 массы, подвергнутой ультразвуковой обработке, 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 ультравысокой частоте (2,0 МГц) происходит наиболее сильное разрыхление структуры волокна. Подобные закономерности размолы объясняются возникновением ультразвуковой кавитации, которая является основной причиной обработки материалов в жидкости при их облучении ультразвуком. Все другие механизмы акустического воздействия малоэффективны.

Кавитационное поле максимально развито 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 массы 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 (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 размол, 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 энтштипперах. 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 в которых генерируются с помощью гидроудара (рис. 13).



Рис. 13 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 Польшмана для дороспуска и размола бумажной массы 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 фибрилляции 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. 14.

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.

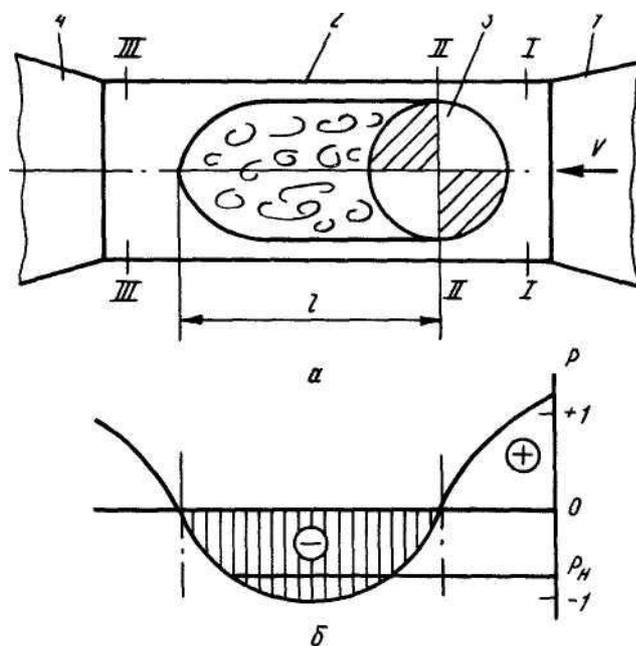


Рис 14. Схема рабочего органа гидродинамического кавитационного размалывающего аппарата (а) и диаграмма распределения давления в кавитационной зоне (б): 1 — диффузор; 2 — рабочая камера; 3 - обтекаемое тело; 4 — конфузор

6. Безножевое размалывающее оборудование.

В различных технологических схемах подготовки волокнистой массы в последние годы в ряде стран все большее распространение получает безножевое размалывающее оборудование. Наиболее распространенным является двухвинтовой аппарат под названием фротапульпер (рис. 15), предназначенный для дефибрирования и предварительного размола различных волокнистых материалов при высокой концентрации.

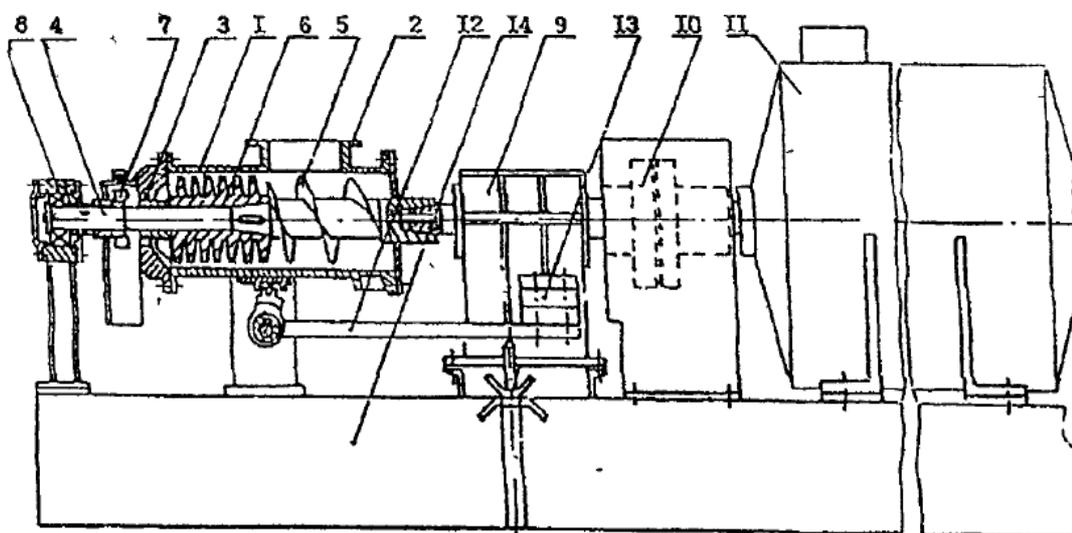


Рис. 15. Схема фротапульпера: 1-корпус; 2-патрубок; 3-кольцевая щель; 4-валы; 5-заходный шнек; 6- рабочий шнек; 7- вертушка; 8- подшипниковая опора; 9- редуктор; 10- муфта; 11- электродвигатель; 12- механизм присадки; 13- груз; 14- рама.

Размалываемый волокнистый материал подхватывается подающими витками шнека и поступает в зону обработки, где в зазорах между витками размалывающих червяков происходит интенсивная обработка волокон под действием сил сжатия и сдвига. Осуществляется трение волокон друг о друга и о металлические поверхности внутри аппарата. Микрофотографии, сделанные на электронном микроскопе, показывают также, что после обработки в фротапульпере волокна лишаются наружных стенок, скручиваются и расщепляются. Обработанный материал выгружается через кольцевые зазоры, образованные внутренними коническими поверхностями боковой крышки и лопастными винтами. Для автоматического регулирования выгрузки обработанной массы служит рычажно-грузовой механизм. По мере заполнения машины массой увеличивается давление на боковую крышку, которая препятствует свободному выходу массы. Когда давление массы достигает величины, превышающей противодействие рычажно-грузового механизма, корпус перемещается в перед, при этом кольцевые зазоры увеличиваются и происходит выдавливание обработанной массы. После этого под действием рычажно-грузового механизма корпус перемещается обратно. Таким образом, регулируется загрузка и выгрузка материала и поддерживается постоянство мощности, потребляемой аппаратом. Опыт эксплуатации фротапульпера показал, что винты аппарата устойчивы к изнашивающему воздействию посторонних частиц, поступающих с массой, если размеры этих частиц не превышают зазоров между витками и корпусом. Срок службы винтов от 8 мес. до 1,5 лет в зависимости от вида обрабатываемого материала, причем потом их можно поменять местами и они будут работать не изношенными участками витков.

Фротапульпер в настоящее время используется при массном размоле на различных ступенях. Рассмотренные особенности обработки волокнистых материалов объясняются наличием весьма значительных давлений сжатия и напряжений сдвига в межвитковых зазорах. В боковых клинообразных зазорах сдвиговые напряжения возникают в следствии разности по величине и направлению скоростей витков в различных точках. Мощность, потребляемая машиной, расходуется на трение материала о поверхность витков в межвитковых зазорах, а также на трение "пробки" материала, образовавшейся на выходе, о внутреннюю поверхность боковой крышки. Высокое давление в межвитковых зазорах в сочетании со сдвигом вызывает в волокнах большие внутренние напряжения, которые обуславливают нарушение внутренних связей, увеличение гибкости. Внешнее фибриллирование практически не развивается, волокна не укорачиваются. Это приводит к тому, что сопротивление фильтрации и соответственно степень помола массы меняются незначительно. Тем не менее обработка вызывает в волокне столь значительные внутренние изменения, что дальнейший размол в обычных размалывающих машинах происходит при существенно меньших затратах энергии по сравнению с размолом без предварительной обработки.

Еще одним безножевым аппаратом является аппарат с вихревым слоем ферромагнитных частиц. В основе принципа работы аппарата лежит преобразование энергии электромагнитного поля в другие виды энергии, в частности в механическую, непосредственно в зоне обработки. Аппарат такого типа представляет собой трубу, вокруг которой смонтирован индуктор вращающегося магнитного поля (рис. 16). В трубу помещаются ферромагнитные частицы (отрезки стальной проволоки диаметром $b = 1,6-2,0$ мм и длиной $l = 16-20$ мм, в промышленном варианте $b = 35$ мм, $l = 40$ мм), которые под воздействием переменного магнитного поля образуют так называемый вихревой слой. Каждая ферромагнитная частица стремится повернуться вслед за магнитным полем. Однако вращение ее ограничено из-за столкновения с соседними частицами. Экспериментальное и теоретическое исследования размола целлюлозы в аппарате, показало, что основной причиной размола является механическое воздействие на волокна по площадкам соударения частиц друг с другом. Установлено, что длительность ударного импульса составляет около $1,3 \cdot 10^{-5}$ с. Расчеты показывают, что при соударении частиц проволоки диаметром 2 мм и длиной 20 мм действует сила до 300 Н, а напряжение в зоне удара равно 4800 МПа. Этого напряжения достаточно не только для частичного фибриллирования, но и для перерубания волокон.

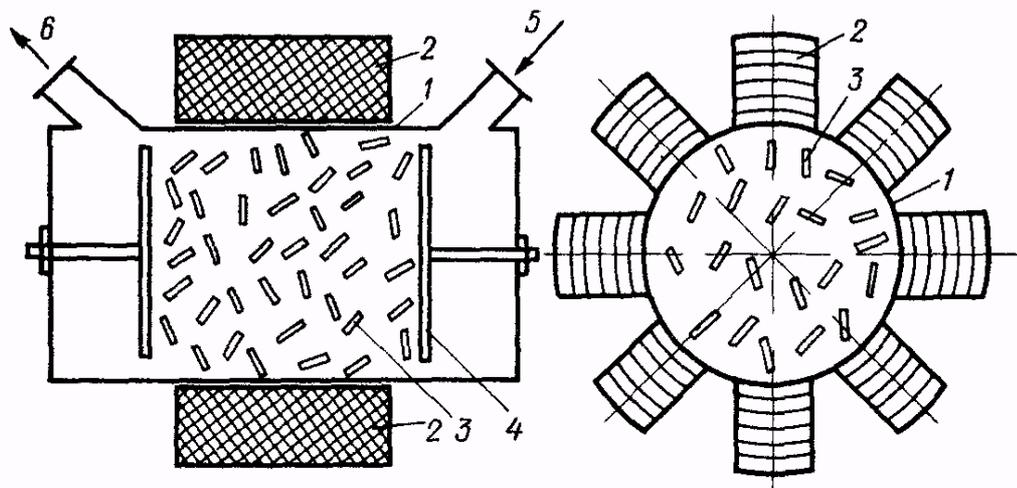


Рис. 16. Аппарат с вихревым слоем ферромагнитных частиц:

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

Негативным моментом, сдерживающим пока широкое внедрение указанного аппарата, является интенсивный износ частиц и стенок камеры, которая должна изготавливаться из материала (лучше неэлектропроводного - для уменьшения индукционных потерь), обладающего высокой износостойкостью.

К безножевому размалывающему оборудованию относится виброинерционная мельница. Схема устройства приведена на рис. 17. Мельница работает следующим образом: ротор 4, приводимый во вращение от электродвигателя, создает вращающийся слой частиц, который ударяется о неподвижные элементы статора, вызывая размоление.

тродвигателя 1 через гибкую муфту 2, за счет дисбаланса 5 совершает колебательные движения в цилиндрическом корпусе 3. Подаваемая на размол масса, проходя между стенкой корпуса и колеблющимся ротором 4, размалывается. Так как в процессе размола не возникает режущих усилий то качество массы на выходе очень высокое. Помимо этого размол происходит при меньших энергозатратах по сравнению с дисковыми мельницами. Эта мельница не нашла широкого применения из-за небольшой производительности и повышенного шума.

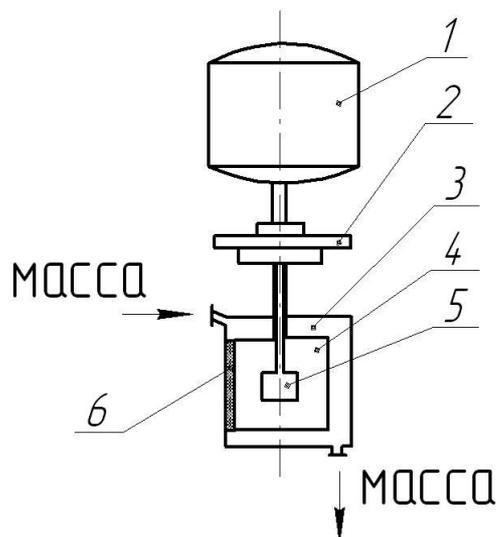


Рис. 17 Схема виброинерционной мельницы: 1— электродвигатель; 2 — гибкая муфта; 3 — корпус цилиндрический; 4 - ротор; 5 -дисбаланс; 6 — слой сжатых волокон.

Валковая мельница – также относится к безножевому размалывающему оборудованию. Схема машины приведена на рис. 18.

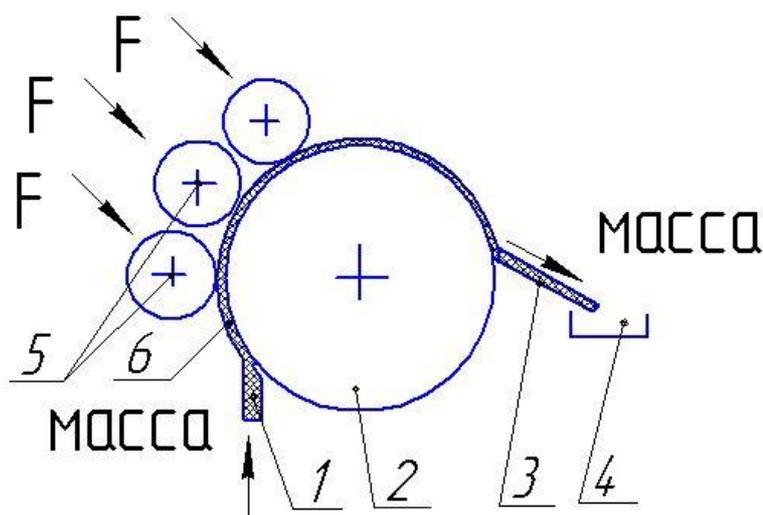


Рис. 18. Схема валковой мельницы: 1— фильтр жидкостного давления; 2 — центральный вал; 3 — шабер; 4 – бассейн размолотой массы; 5 –прижимные валки; 6 — слой сжатых волокон.

Мельница работает следующим образом: фильтр жидкостного давления 1 нагнетает на центральный вал 2 слой массы, под действием силы F , действующей на валки 3, создается слой жатых волокон между центральным валом 2 и прижимными валками 5. Размолотая масса снимается с помощью шабера 3 и поступает в массный бассейн.

Меньшие энергозатраты и лучшая регулируемость процесса размола, за счет изменения усилий валков эта мельница выигрывает у дисковых мельниц, но небольшая производительность и сложность конструкции фильтра жидкостного давления не позволили этой мельнице найти широкого применения.

Литература

1. Корда И., Либнар З., Прокоп И. Размол бумажной массы. - М.: Лесная промышленность, 1967. - 421 с.
2. Гаузе А. А., Гончаров В. Н. Оборудование для подготовки бумажной массы. - М.: Лесная промышленность, 1991. - 256 с.
3. Легоцкий С. С., Лаптев Л. Н. Размол бумажной массы. - М.: Лесная промышленность, 1981. - 94 с.
4. Вихарев С.Н. Производство древесной массы из щепы. Расчет рафиниров. Методические указания: УГЛТУ, 2004.- 37 с.
5. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. I. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 2. Производство полуфабрикатов. — СПб.: Политехника, 2003. — 633 с.
6. Современное производство древесной массы: учеб. пособие / Ф.Х. Хакимова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 117 с.