СОРТИРОВАНИЕ И ОЧИСТКА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Круг задач, решаемых в очистном отделе гораздо шире, чем просто очистка массы. Это предварительный размол волокнистых полуфабрикатов или сепарирование; операции разделения волокнистой массы, переработка отходов сортирования, сгущение и аккумулирование массы.

При выгрузке целлюлозной массы из котла по методу выдувки на современном оборудовании масса уже хорошо разделена на волокна и может быть отправлена непосредственно на очистку. Сепарирование массы необходимо в том случае, если сваренная целлюлоза после выгрузки из котла имеет форму щепы, её предусматривают в случаях производства СФИ и СФА целлюлозы высокого выхода. Для сепарирования целлюлозы высокого выхода, которое называют, горячим размолом, потому что масса размалывается вместе с горячим щелоком, используют мельницы различных конструкций и рафинеры, аналогичные используемым при производстве ДМ. В случае если это необходимо, для сепарирования массы нормального выхода применяют сепараторы и фибриллизаторы, которые работают при концентрации массы 1,5…3,5 % и одновременно выполняют работу сучколовителей.

Характеристика загрязнений

Качество готовой продукции (товарной целлюлозы, бумаги) во многом зависит от процессов сортирования и очистки волокнистых полуфабрикатов. В полученной массе после варки содержатся нежелательные включения – непровар, крупный и мелкий сор, кастра, мелкое волокно, минеральные частицы, от которых необходимо очистить массу. Все виды загрязнений делятся на технологический и технический сор.

Технологический сор

Непровар – это плохо проварившиеся щепочки или сучки, а также более крупные и толстые щепки, которые не успевают провариться. При варке жесткой целлюлозы, количество непровара всегда больше, чем при варке мягкой целлюлозы. В среднем, количество непровара в производственных условиях колеблется для СФИ завода 1…5 %, для СФА – 0,5…3,0 %.

Целлюлозная масса, полученная в результате варки не только неоднородна по длине волокна, но содержит ряд загрязнений – пучков волокон, отличающихся размером, формой, удельной массой – костра. Костра является основным загрязнителем массы (65…75 %). Она образуется при отделении от сучков, непровара, слабо делигнифицированных пучков волокон, имеющих более темную окраску по сравнению с целлюлозой.

Сорность, обусловленная частичками коры, больше всего проявляется при производстве СФИ целлюлозы. Потому что сульфитная кислота не делигнифицирует пробковые клетки коры, поэтому содержание в щепе коры при выработке СФИ целлюлозы строго регламентируется. Содержание частиц коры достигает 20…25 % от общего количества сора. Для сульфатной целлюлозы наличие в суспензии частиц коры не характерно, так как при сульфатной варке кора растворяется практически полностью.

При выработке высокосортной целлюлозы, к числу нежелательных компонентов, относится мелкое или нулевое волокно. С отделением мелкого волокна связано снижение смолистости целлюлозы. Наличие смолы в целлюлозе это естественное следствие содержания экстрактивных веществ в древесине. В целлюлозном производстве различают общую и «вредную» смолу. «Вредная» смола играет негативную роль при производстве целлюлозы, она из-за своей липкости и способности собираться в крупные частицы оседает и загрязняет производственное оборудование и целлюлозное волокно. Часть смолистых веществ древесины эмульгируется в щелоке, а часть остается внутри мелких не разрушенных клеток и именно она является источником вредной смолы. Поэтому одним из средств снижения вредной смолы является удаление мелкого нулевого волокна.

Количество мелких клеток в исходной хвойной древесине, заполненных питательными веществами, крахмалом, жирами и смолой составляет около 5…6 %.

Удаление нулевого волокна размером менее 0,5 мм не только снижает смолистость, но и оказывает благоприятное изменение и некоторых других параметров, возрастает массовая доля α-целлюлозы, снижается расход химикатов на отбелку, улучшается впитывающая способность.

Технический сор

К техническому сору относятся загрязнения в виде минеральных частиц, которые попадают в котел со щепой в виде песка и глины, бетона, ржавчины, приносятся с варочными растворами в виде гипса и моносульфита при СФИ варке, и в виде карбоната кальция при СФА варке. Сюда же относится и образующаяся на оборудовании слизь.

Наиболее часто для определения содержания в целлюлозной суспензии посторонних включений используют визуальный метод. В этом случае изготавливается отливка целлюлозы стандартной площади (0.0314 $м^2$) и массы 1 $м^2$ (250 или 500 $г/м^2$). Подсчет количества соринок, отличающихся по цвету от фона отливки, производится в проходящем свете на 10 отливках. Для классификации соринок по площади применяют специальный шаблон. Второй способ – определение массы сора (загрязнений), отделяемого на лабораторной щелевой сортировке (метод Соммервиля).Этот способ используют при наладке схем сортирования. При определении сорности по методу Соммервиля навеску целлюлозы массой 25 г пропускают через щелевое сито, имеющее ширину щелей 0,15 мм и длину 45 мм. Количество щелей на сите 756 шт. Концентрация массы при сортировании 0,25%, продолжительность анализа 20 мин.

Последовательность операций и основные понятия процесса сортирования

Основной целью очистки массы является отделения посторонних включений из целлюлозной суспензии при небольших потерях годного волокна, минимальном расходе энергии. Процесс сортирования и очистки целлюлозы состоит из нескольких стадий:

- разделение проваренной щепы на отдельные волокна сепарирование массы;
- отделение от массы сучков и непровара – грубое сортирование;
- отделение от массы костры, коры, луба – тонкое сортирование;
- отделение от массы минеральных включений – очистка массы на центриклинерах;
- отделение мелкого волокна, состоящего из обрывков трахеид, смолосодержащих сердцевинных лучей, паренхимных клеток – фракционирование массы.

Первые три стадии относятся к сортированию небеленой целлюлозы. Грубое сортирование, переработка отходов сортирования является обязательной ступенью производства небеленой целлюлозы.

Теория и факторы сортирования

Процесс сортирования волокнистых полуфабрикатов основан на пропускании суспензии через перфорированную пластину (сито). При протекании суспензии через сито на поверхности последнего образуется волокнистый слой, создающий дополнительную фильтрующую поверхность. Толщина фильтрующего слоя, а также характер движения волокна в слоях, прилегающих к ситу, определяют эффективность сортирования.

Оптимальная толщина слоя обеспечивается как условиями его образования, так и разрушения. В зависимости от способа разрушения фильтрующего слоя все сортировки делятся на вибрационные, центробежные, напорные. В вибрационных сортировках разрушение фильтрующего слоя обеспечивается тряской сита. В центробежных сортировках фильтрующий слой разрушается в результате подачи к ситу разбавляющей воды. В напорных сортировках создаются условия для пульсации массы на поверхности сита за счет особой конструкции ротора. Толщина фильтрующего слоя зависит от коэффициента перфорации сита *k*. Для сит с круглыми отверстиями величина этого коэффициента определяется по формуле (1):

$$k = \frac{b \times l \times 100}{t \times m} \qquad (1)$$

где: d – диаметр отверстий; t – шаг.

Для сит со щелевыми отверстиями величина коэффициента перфорации определяется по формуле (2):

$$k = \frac{b \times l \times 100}{t \times m} \qquad (2)$$

где: b – ширина щели, мм;

l – длина щели, мм;

t – шаг;

m – продольный шаг.

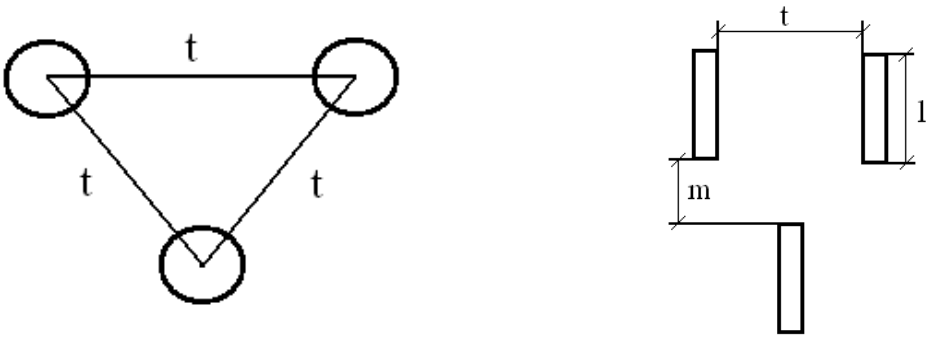


Рисунок − Пояснения к формулам 1, 2

Процесс сортирования зависит от:

- конструкции и принципа работы сортировки (модель ротора, скорость его вращения);
- конструкции ситового барабана (форма и размер отверстий, способ изготовления);
- условий работы сортировки (концентрации поступающей массы, перепада давления, количества поступающей массы и отходов);
- числа каппа поступающей массы (гибкости волокна);
- количества загрязнений.

Помимо толщины фильтрующего слоя, коэффициент перфорации влияет на степень ориентации волокон в пристенном слое. Чем больше шаг, тем выше степень ориентации волокон, ниже турбулентность, выше возможность проникновения частиц загрязнений через отверстия сита. Высокая турбулентность, а, следовательно, отсутствие ориентации, создают условия для формирования волокнистого слоя.

Кроме того, на эффективность сортирования большое влияние оказывает характер движения суспензии в сортировке. В напорных сортировках подача суспензии производится тангенциально, а вращение ротора придает жидкости вращательное движение. Во вращающемся потоке частицы загрязнений стремятся сориентироваться по направлению движения потока, причем ориентация частиц тем выше, чем больше отношение площади частиц загрязнений к их объему, или длины соринки к ее диаметру.

Минимальная скорость вращения потока наблюдается вблизи сита и составляет примерно 30 % от скорости вращения ротора. При этом образуется несколько соосных зон, в которых частицы загрязнений ориентированы по потоку массы. Максимальная ориентация наблюдается в слое вблизи сита.

Чтобы нарушить ориентацию волокон, необходимо создать турбулентность в слое, прилегающем к ситу. Для обеспечения высокой турбулентности потока массы у поверхности сита используется так называемое профильное сито.

Основные показатели работы сортировки

Количество отходов (R_w), % :

$R_w = mR/100mF$,

где mR – количество волокна, поступающего в отходы;

mF – количество волокна, поступающего на сортирование, кг/т

Количество отходов – один из основных регулируемых параметров процесса сортирования.

Коэффициент сгущения (T_c):

$T_c = cR/cF$,

где cR – концентрация отходов, кг/м^3;

cF – концентрация поступающей массы, кг/м^3.

Эффективность очистки (E_c):

$E_c = (1-S_a)/S_f$,

где S_a – сорность очищенной массы, % по Соммервилю

S_f – сорность поступающей массы, % по Соммервилю

Факторы сортирования

В соответствии с вышеизложенным механизмом сортирования целлюлозной суспензии на эффективность сортирования оказывают влияние следующие факторы:

Свойства волокна. Удельная поверхность волокна является одним из основных факторов, поскольку при сортировании волокно находится в воде и транспортируется к ситу потоком воды. Волокна с более развитой поверхностью и большим содержанием свободных гидроксильных групп гидратируются сильнее, их плотность ниже, по сравнению с гладкими волокнами. В результате, эти волокна находятся под действием более высокой тяговой силы и легче проходят через отверстия сита. Вследствие этого при сортировании сульфитной целлюлозы следует использовать сита с меньшим размером перфорации. Длина, толщина и гибкость волокон также оказывают влияние на эффективность разделения загрязнений и годной массы. Минимальную возможность для прохождения через отверстия сита имеют длинные жесткие волокна. Из-за высокой тангенциальной скорости они не в состоянии сориентироваться в пристенном слое и беспрепятственно пройти через отверстия сита. При одинаковой длине волокон решающую роль здесь играет гибкость волокон, а при одинаковой гибкости – длина волокон. Число каппа целлюлозы влияет на гибкость волокон – чем ниже число каппа, тем более гибкими являются волокна, тем выше плотность волокнистого слоя. В результате снижается производительность сортировки, но возрастает эффективность сортирования.

Концентрация поступающей массы (cF). Повышение концентрации поступающей массы приводит к увеличению толщины волокнистого слоя, увеличению концентрации и количества отходов. При работе сортировки в оптимальных условиях повышение концентрации поступающей массы сопровождается повышением эффективности удаления сора. Оптимальная концентрация зависит от типа сортировки, свойств волокон, температуры массы и геометрических характеристик ситовой пластины. Увеличение концентрации массы выше оптимальных значений приводит к резкому снижению производительности сортировки и забиванию сита. Снижение концентрации поступающей массы ниже оптимального уровня сопровождается повышением сорности отсортированной массы.

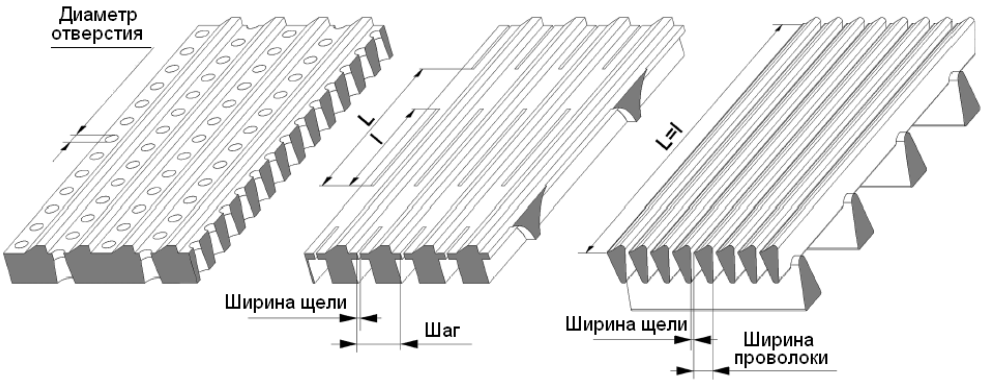
Количество поступающей массы (mF). Увеличение объемного расхода массы приводит к повышению перепада давлений, что может сопровождаться забиванием сита и снижением эффективности сортирования. Увеличение количества поступающего волокна при постоянной **гидравлической** нагрузке приводит к повышению концентрации массы и количества отходов. Если сортировка

работает в режиме отбора постоянного количества отходов, возрастает концентрация, а значит, и количество отходов сортирования.

Количество отходов (R_w). Увеличение количества отходов повышает осевую скорость потока и время нахождения массы в сортировке, и снижает скорость прохождения волокна через отверстия сита. Это приводит не только к повышению чистоты массы, но и к увеличению содержания годного волокна в отходах. Поэтому в схемах сортирования предусматривается от 3 до 5 ступеней сортирования с постоянно увеличивающимся количеством отходов. Изменяя количество отбираемых отходов можно обеспечить требуемую чистоту отсортированной массы при изменении производительности сортировки.

Конструкции ситовых барабанов, тип и размер перфорации. Для сортирования целлюлозной суспензии применяют несколько типов ситовых пластин. Ситовые барабаны с круглыми отверстиями различного диаметра (от 1.2 до 3.5 мм) были основным типом ситовых пластин. Для обеспечения беспрепятственного прохождения волокон через перфорацию сита отверстия выполнялись с раззенковкой. Однако эта конструкция сит, используемых в центробежных сортировках, не обеспечивала требуемую производительность и эффективность сортирования. Для повышения эффективности сортирования круглые отверстия заменили на щелевые с шириной щели от 0.20 до 0.45 мм. Однако при этом производительность сортировки по волокну снизилась примерно в 2 раза. Следующим шагом в развитии конструкции сит, была разработка сит с круглыми отверстиями, с профильной поверхностью сита.

Далее с целью увеличения пропускной способности сита, т.е. увеличения отрытой площади при сохранении высокой эффективности сортирования в напорных сортировках была разработана конструкция щелевого профильного сита.



А *Б* *В*

Рисунок – Типы перфорации сит

Специфический характер поверхности сита создает высокую турбулентность движения потока у поверхности сита со стороны поступления массы в сортировку. При этом поток ориентируется по направлению вращения ротора. Высокая турбулентность потока исключает возможность ориентации частиц сора по направлению потока, в результате, частицы сора не проходят через отверстия сита. Такая конструкция ситового барабана обеспечивает высокую эффективность сортирования и сохранение производительности сортировки.

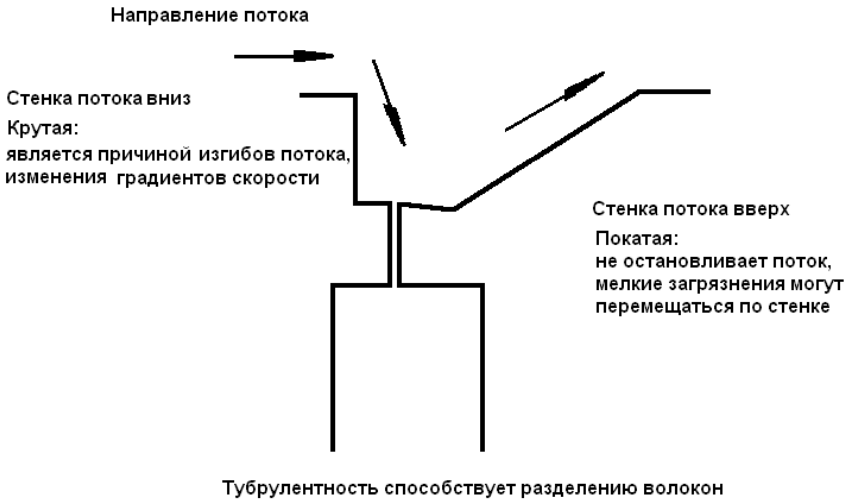


Рисунок − Характер движения потока массы на профильном сите AFT^{TM}

При использовании шлицевых профилированных сит предъявляются повышенные требования к технологии изготовления ситовых барабанов. Производство ситовых пластин с узкими щелями связано с высокими производственными затратами. Кроме того, живое сечение сит в этом случае было недостаточным.

Другим способом увеличения пропускной способности ситовых барабанов стало изготовление проволочных сит (Welded Wire) с непрерывной щелью. В ситах этой конструкции, благодаря увеличению длины щели, возрастает живое сечение сита. Недостатками такой технологии изготовления сита являются: трудность регулирования ширины щели; недостаточная прочность сита.

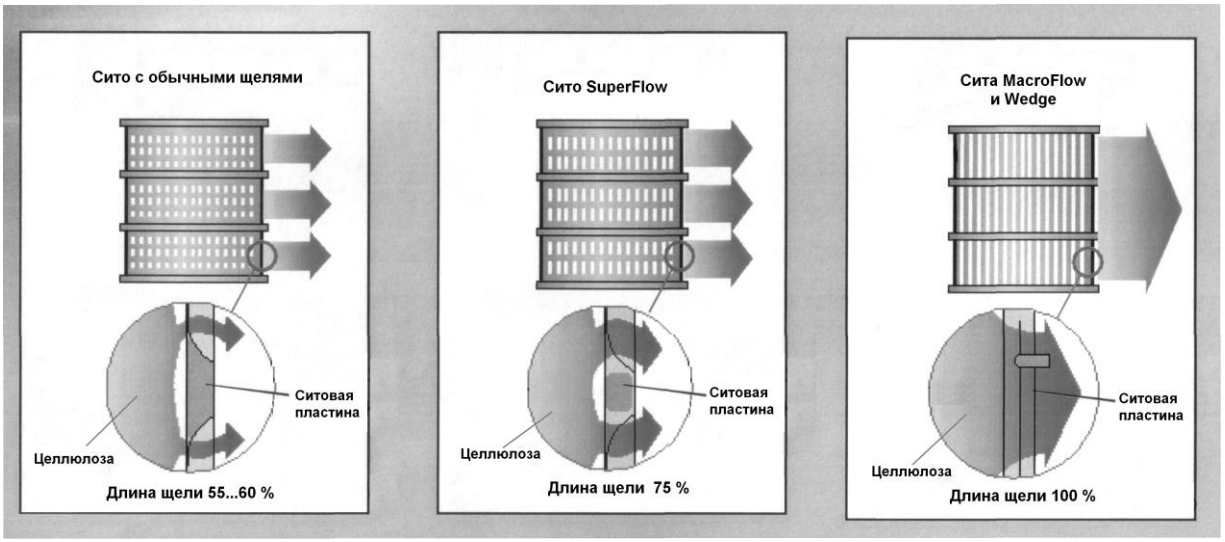


Рисунок − Конструкция профильных сит:
а) стандартное щелевое сито; б) Super Flow; в) Welded Wire.

Конструкции сортировки. Основной тип сортировок, который используется в настоящее время – закрытые напорные сортировки с закрытым ротором. Другой вариант – напорные сортировки с гидродинамическими лопастями, расположенными со стороны несортированной массы. Такие сортировки вызывают дробление сора, поэтому их устанавливают перед буммашинами. Производительность напорных сортировок напрямую связана со скоростью вращения ротора.

Как уже отмечалось, конструкции сортировок отличаются по способу разрушения фильтрующего волокнистого слоя и делятся на: вибрационные, центробежные горизонтальные и напорные вертикальные. Последние нашли самое широкое применение

на современных целлюлозных заводах. В то же время на отечественных предприятиях до сих пор используются и другие типы сортировок.

Вибрационные сортировки могут быть плоскими (сучколовители Джонсона или СВ) и цилиндрическими (сортировки Иенсен-Линдгрена или СВЦ).

Плоские вибрационные сортировки используются до сих пор на второй ступени грубого сортирования. Они эффективно отделяют годное волокно от сучков, однако имеют открытую конструкцию, низкую производительность и занимают большие производственные площади. Все вибрационные сучколовители имеют однотипную конструкцию и отличаются только площадью сортирующего сита и размерами. Сито изготавливается в виде лотка криволинейного профиля 1, который устанавливается в ванне 3 на резинометаллических амортизаторах 4. Лоток приводится в колебательное движение вибрационным валом 2 с дебалансами. В конце лотка со сторон выхода отходов установлены спрыски 5 для отмывания волокна от сучков, а торцевой части ванны − щит для отвода отходов 7. Корпус сучколовителя закрыт колпаком 6. Детали сучколовителя, соприкасающиеся с массой, изготавливаются из коррозионно-стойкой стали.

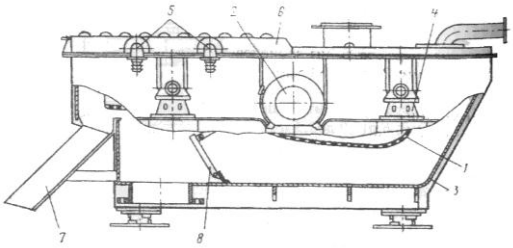


Рисунок – 1 – сито, 2 – вибрационный вал, 3 – ванна, 4 – амортизаторы, 5 – спрысковые трубы, 6 – колпак, 7 – щит для отвода отходов, 8 – подпорный щит
Вибрационный сучколовитель

Вибрационные сучколовители просты в конструкции, потребляют мало энергии и могут быть использованы в любой схеме сортирования. Поэтому они широко применяются на предприятиях ЦБП. Рабочая часть представляет собой корытообразный ковш, подвешенный на пружинах. Через боковые стенки ковша пропущен горизонтальный вал, через который ковшу сообщается вибрация. Волокно проходит через отверстия в днище ковша и попадает в приемную ванну, а отходы смываются спрысками в сборный желоб отходов.

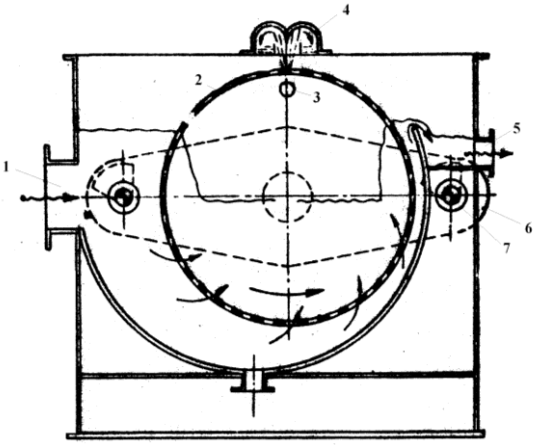


Рисунок − Сортировка вибрационная цилиндрическая: 1 – патрубок для подачи несортированной массы; 2 – ситовой цилиндр; 3 – спрыск; 4 – устройство для промывки сита; 5 – патрубок для отвода отходов; 6 – траверса; 7 − неуравновешенный груз

Вращающиеся вибрационные сортировки Иенсен-Линдгрена, СВЦ (рисунок) более компактны по сравнению с плоскими, но из-за низкой производительности и высоких эксплуатационных расходов в настоящее время не используются.

До 80-х годов прошлого века наибольшее применение имели **центробежные сортировки** с горизонтально расположенным валом и несколькими зонами сортирования, образующимися в результате установки нескольких перегородок, задерживающих движение массы к выходу (сортировки Ковена, СЦ), рисунок. Движущей силой процесса сортирования в этом типе оборудования является давление, развиваемое, за счет действия центробежной силы при вращении суспензии, разгоняемой лопастями внутри сита. Годное волокно хорошо гидратируется и имеет плотность,

близкую к плотности воды. При придании в центробежной сортировке массе вращательного движения при относительно низкой концентрации волокна, отдельные волокна ориентируются в направлении потока и проходят через отверстия в сите. Грубые включения гидратированы слабее и имеют большую плотность по сравнению с водой, что ограничивает действие центробежной силы и способствует их перемещению вдоль сита к отверстию для выхода отходов. Грубые волокна (как правило, самые длинные) задерживаются, так как движутся под углом и образуют на сите волокнистый слой, который действует, как дополнительный сортирующий элемент. Центробежные сортировки предназначались для тонкого сортирования сульфитной и сульфатной целлюлозы.

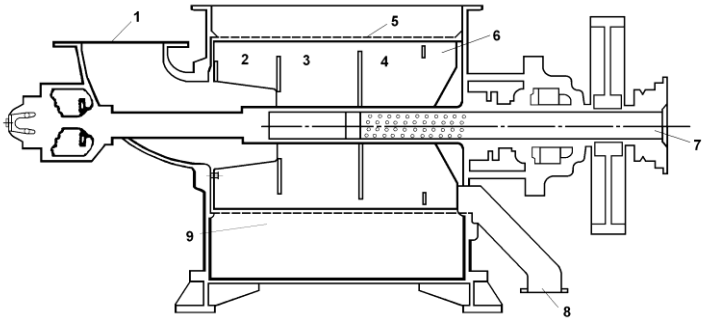


Рисунок − Сортировка Ковена: 1 − патрубок для подачи массы; 2, 3, 4 – первая, вторая и третья зоны сортирования; 5 – сито; 6 – лопасти на валу; 7 – вал; 8 – патрубок для отвода отходов; 9 – отвод очищенной массы

Основным недостатками центробежных сортировок являются открытая конструкция, что не позволяет использовать их в схемах горячего сортирования, относительно низкая концентрация поступающей массы.

В современных схемах сортирования используются только напорные сортировки, что обусловлено следующими преимуществами: более высокой удельной производительностью сит, закрытой конструкцией, что исключает попадание воздуха в массу и позволяет использовать эти сортировки в схемах горячего сортирования.

В напорных сортировках волокнистая масса проходит через отверстия сит благодаря давлению, создаваемому питающим насосом. Все аппараты этого типа имеют вертикальные цилиндрические сита.

По принципу перемещения отсортированной массы все сортировки делятся на: центробежные и центростремительные.

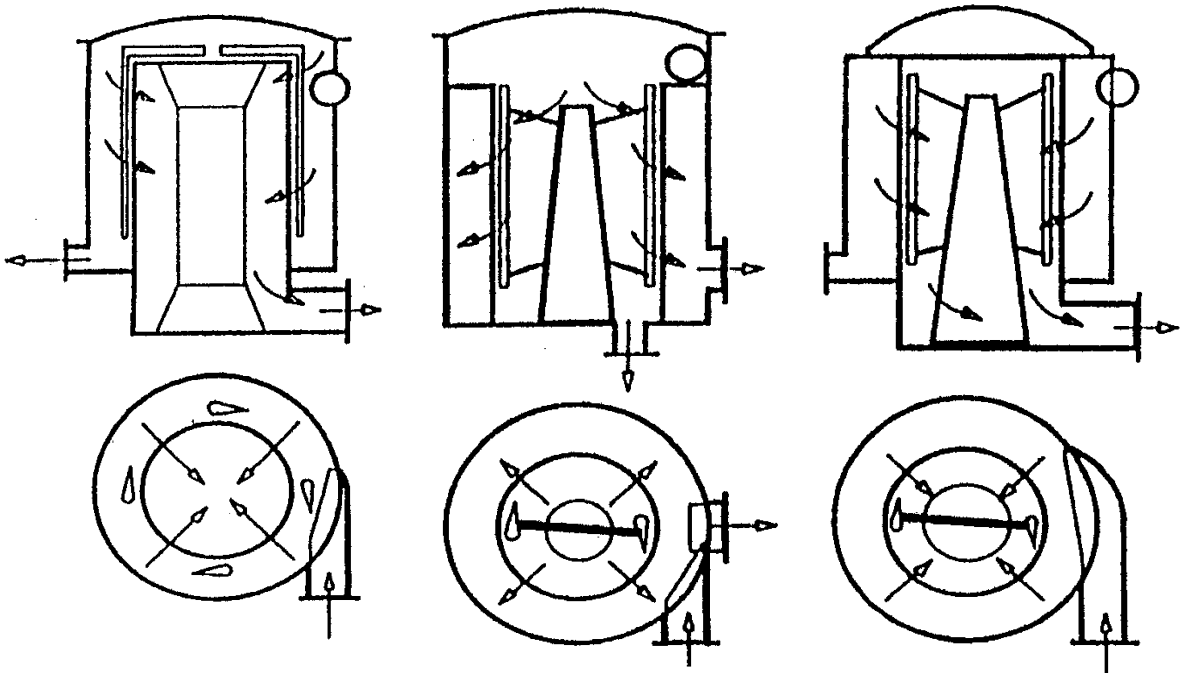
При центростремительном способе движения массы: масса входит в верхнюю часть сортировки по касательной. Расположенный вне ситовой корзины ротор с лопастями ускоряет перемещение массы. Тяжелые примеси, отброшенные к стенке корпуса, мигрируют к выходному патрубку, расположенному в нижней части сортировки.

Масса с ускорением, вызываемым лопастями ротора приближается к перфорированной поверхности ситовой корзины под очень малым углом. Это вызывает отделение загрязнений, меньших по размерам диаметра отверстий и ширины щелей. Вследствие рассчитанных скорости и оптимального профиля лопастей ротора возникает эффект всасывания, который убирает с площади живого сечения сита частицы, которые не могут пройти через отверстия сита, они уносятся под действием центробежных сил в зону концентрирования тяжелых загрязнителей и удаляются. Отсортированная масса проходит в кольцевую камеру, расположенную ниже зоны сортирования, и выводится из сортировки.

Преимущества:

- меньший износ сита (быстрое удаление тяжелых частиц из зоны сортирования);
- отсутствие забивания щелей вследствие комбинированного воздействия центробежных сил и всасывающего действия;
- высокая гидравлическая стабильность ситового цилиндра;
- низкий уровень пульсаций в сортированной массе;
- отсутствие мертвых зон в зоне сортирования;

- меньшее потребление энергии.



А (центростремительное перемещение массы) *Б (центробежное перемещение массы)* *В (центростремительное перемещение массы)*

Рисунок − Способ подачи волокнистой суспензии в напорную сортировку:
а, в − снаружи сита; *б* − внутрь сита

В сортировках с **<u>центробежным движением</u>** массы центробежные силы препятствуют самоочищению ротора, прижимая загрязнения к поверхности сита. При этом снижается эффективность сортирования и сито изнашивается быстрее.

Входной патрубок расположен по касательной к корпусу в верхнем уровне ситового цилиндра, который разделен на секции, что обеспечивает быстрое удаление тяжелых загрязнителей и гарантирует увеличение скорости движения массы. Большое количество лопастей ротора улучшает очистку сита. Центральная опора конической формы обеспечивает равномерность прохождения массы через сито, а также прогрессирующее ускорение продвижения очищенной суспензии к кольцевой камере, избегая мертвых зон. Поверхности, находящиеся в контакте с массой – полированные. В сортировках данного типа отсортированная масса направляется в кольцевую камеру, расположенную вне влияния ротора. Пульсации, создаваемые ротором, нейтрализуют волны, образующиеся в предыдущих стадиях.

Важным элементом конструкции напорных сортировок является ротор. В напорной сортировке ротор создает пульсацию давления у поверхности сита. Роторы изготавливаются открытыми или закрытыми. По форме ротора напорные сортировки можно разделить на сортировки с гидродинамическими лопастями (лопастные сортировки) и сортировки с цилиндрическим ротором (ротационные сортировки).

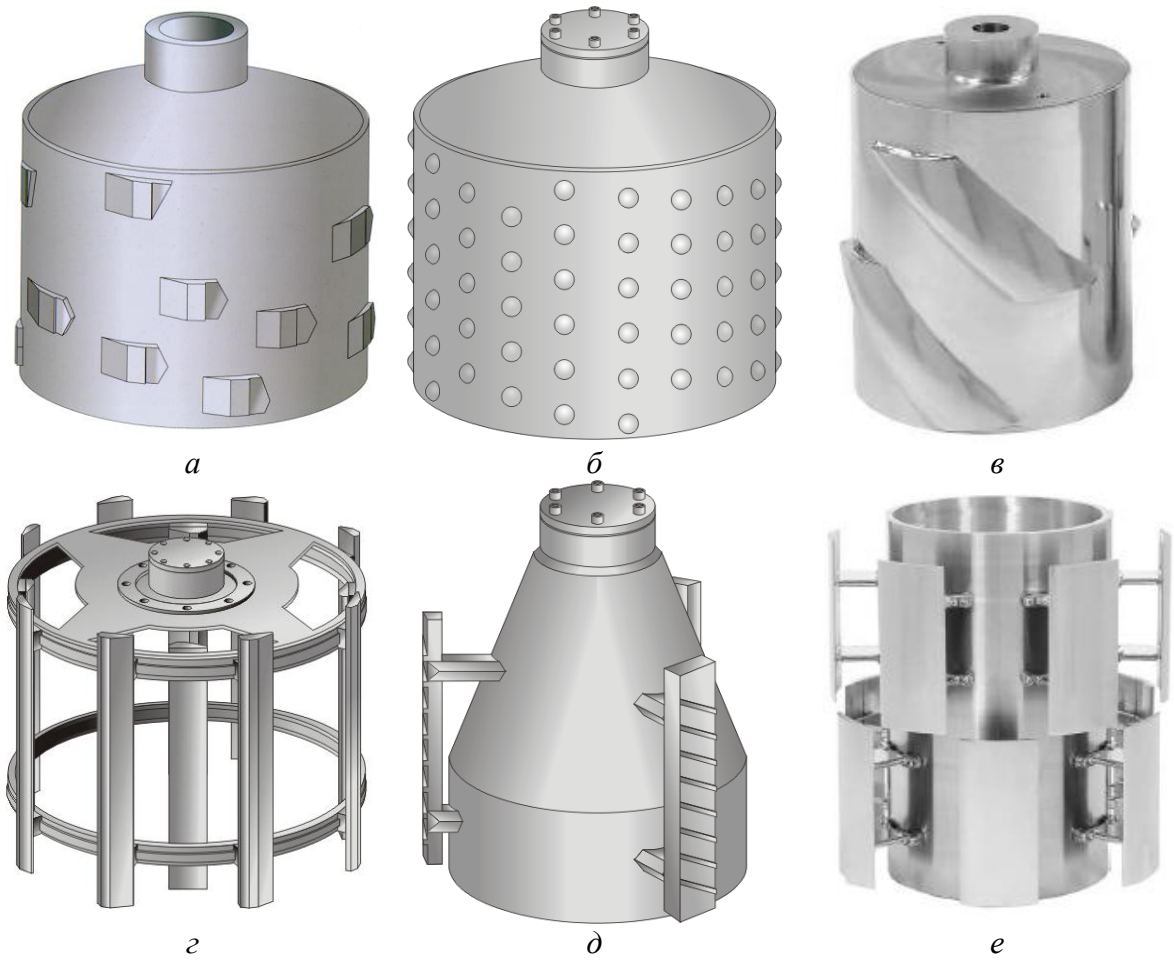


Рисунок − Конструкция ротора напорной сортировки:
открытая (*е – AFT EP, г* -); закрытая (*а – LR-rotor, в – AFT Gladiator HC, б – Bump rotor, д – rotor VF*) форма

Крылообразная форма лопасти обеспечивает максимальную интенсивность отрицательных импульсов при минимальной их продолжительности, т.е. очистку сита. В то же время при пульсации давления необходимо поддерживать минимальную интенсивность и длительность положительных импульсов, и, таким образом, исключить проталкивание соринок через сито.

Рабочим элементом ротора лопастных сортировок служат лопасти, движущиеся в тангенциальном направлении относительно сит. Движение лопастей ротора и разница давлений в разных зонах сортирования способствует разбиванию фильтрующего слоя и забивание отверстий сит. Благодаря такой конструкции при небольшом диаметре отверстий сит сочетают высокую производительность и эффективность очистки массы.

Существуют три разновидности напорных лопастных сортировок, различающиеся расположением лопастей относительно сит и направлением движения массы через сито.

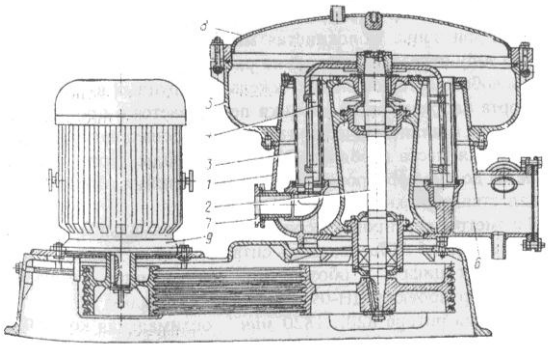
В селектифайерах лопасти расположены внутри сита со стороны поступления массы. В конструкциях типа Лямор лопасти расположены с внешней стороны сита со стороны поступающей массы. В конструкциях типа Финка лопасти расположены внутри сита со стороны кондиционного потока.

Сортировки с закрытым ротором обеспечивают высокую частоту пульсаций за счет специальной конструкции ротора, благодаря чему концентрация поступающей массы может быть увеличена до 4,0÷4,5 %.

Ротационные напорные сортировки отличаются от лопастных тем, что лопасти заменены сплошным цилиндрическим ротором. В настоящее время напорные сортировки с цилиндрическим ротором считаются

наиболее универсальными для разделения всех видов полуфабрикатов.

Хорошо себя зарекомендовали напорные сортировки марки центрискрин и центрисортер. Из современного оборудования можно отметить вертикальную напорную сортировку юнискрин и закрытую напорную сортировку модускрин.



1 – корпус, 2 – ротор, 3 – наружное сито, 4 – внутреннее сито, 5 – впускная камера с грязевиком, 6 вход кондиционного потока, 7 – выход потока отходов, 8 – съемная крышка, 9 – электродвигатель
Рисунок – Напорная сортировка

Сортировки МС предназначены для разделения волокнистой массы при концентрации 8…15 %, в отличие от вышерассмотренных конструкций, которые работают при низкой концентрации массы, в среднем около 1,5 %. В промышленности такие сортировки появились сравнительно недавно.

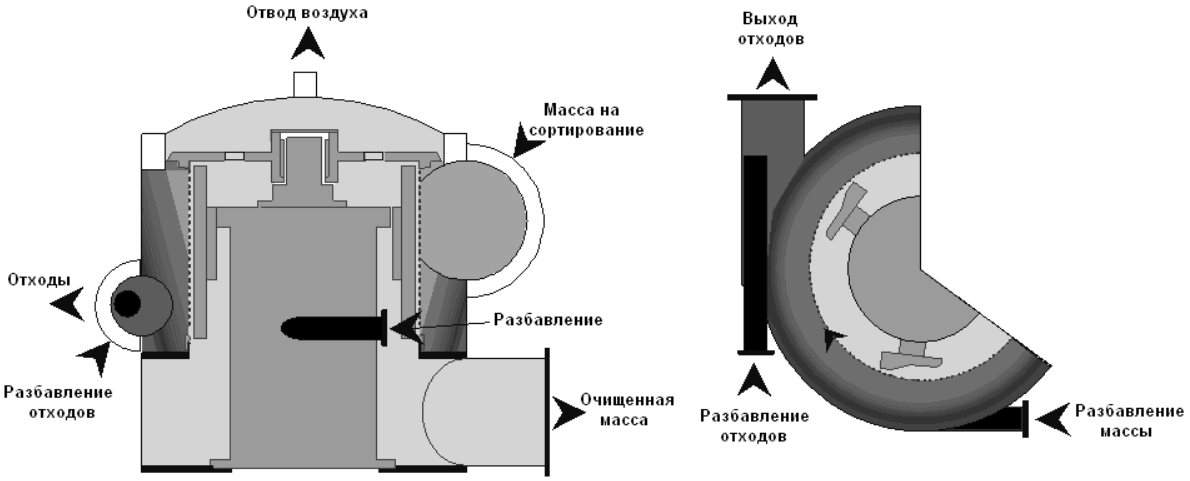
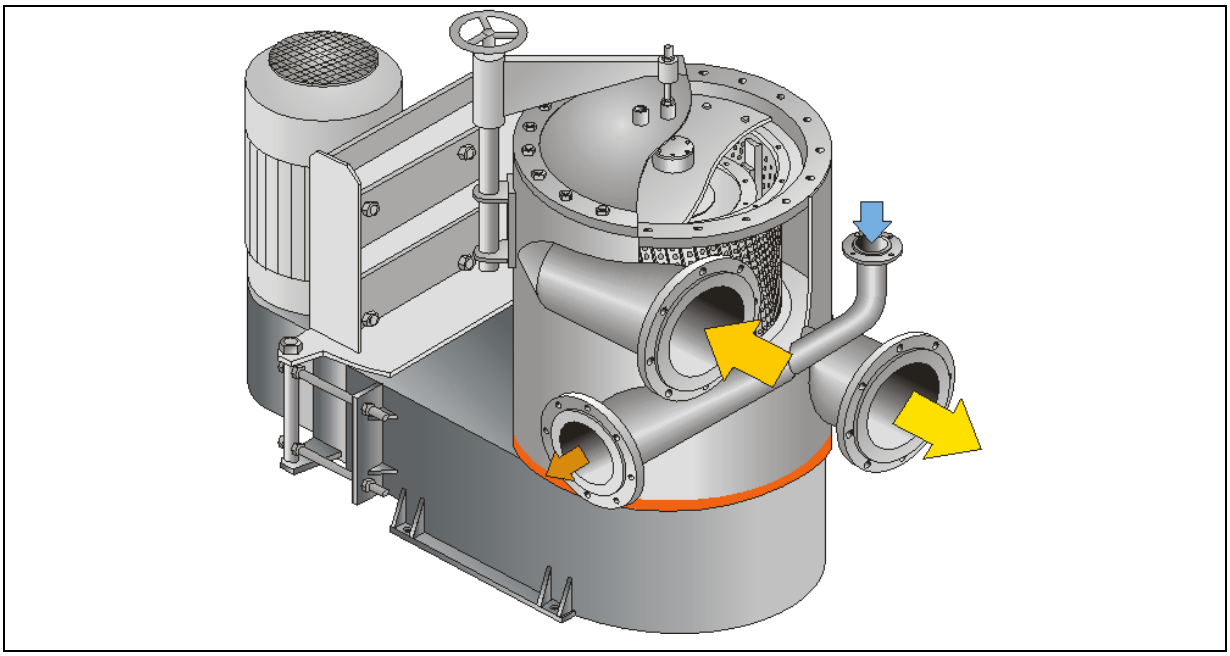


Рисунок 39 − Схема подключения сортировки **MODUScreen C**



Принципы создания схем сортирования

С целью отделения хорошего волокна от отходов, отходы сортируют в несколько ступеней с использованием каскадного принципа, т.е., хорошую массу с каждой ступени возвращают в поток поступающей массы предыдущей ступени.

Основными принципами построения схем сортирования являются следующие утверждения:

- сорность хорошей массы можно снизить путем пропускания массы через последовательно подключенные сортировки;
- нельзя смешивать потоки массы с разной сорностью;
- на каждой ступени сортирования необходимо регулировать и контролировать количество отходов;
- сортирование лучше проводить при повышенной концентрации;
- чем выше сорность поступающей массы, тем выше будет сорность отсортированной целлюлозы.

Как правило, отделение посторонних включений из небеленой целлюлозы состоит из двух стадий: грубого и тонкого сортирования.

Грубое сортирование – это отделение из волокнистой массы сучков и непровара. Грубое сортирование осуществляется в две ступени. На первой ступени устанавливают напорные сортировки с закрытым ротором и ситовым барабаном с круглыми отверстиями с диаметром перфорации 6, 8, 10, 12 мм. Отходы с первой ступени направляются на 2 ступень для более полного отделения сучков и непровара от годного волокна. Количество отходов на 1 ступени грубого сортирования составляет 3÷6 % от поступающей массы, содержание сучков и непровара в отходах – не менее 50 %. В современных схемах сортирования на второй ступени грубого сортирования устанавливают промыватель сучков. Потери годного волокна с отходами второй ступени грубого сортирования составляют от 1 до 3 %.

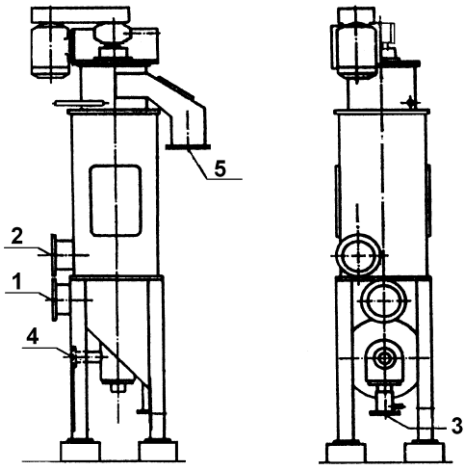


Рисунок 17 − Промыватель сучков (**Stoker**): 1 – подача массы; 2 – выход годного волокна; 3 – отвод отходов;4 − подача промывной воды; 5 – вывод сучков

Промыватель сучков (**Stocker**) представляет собой вертикальный или наклонный аппарат с корпусом прямоугольного сечения. Внутри корпуса расположено цилиндрическое сито и соосный с ним винтовой питатель. Масса подается в нижнюю часть промывателя, где имеются две вращающиеся лопасти. С помощью лопастей масса перемешивается, при этом отделяются тяжелые включения, которые собираются в сборник на дне промывателя. Винтовым шнеком сучки транспортируются вверх и удаляются при сухости 28÷38 %. Хорошее волокно, отмытое щелоком, проходит через сито и удаляется в выдувной резервуар. На ряде предприятий на второй ступени грубого сортирования используют вибрационные сучколовители.

Для тонкого сортирования целлюлозы могут использоваться две технологии:

− «холодное» сортирование, которое проводят после промывки небеленой целлюлозы. Такой способ сортирования применим как в производстве сульфитной, так и сульфатной целлюлозы;

− «горячее» сортирование в среде черного щелока, которое проводится до промывки. Такой способ сортирования применим только в производстве сульфатной целлюлозы;

К преимуществам «горячего» сортирования следует отнести:

− сокращение расхода свежей воды;

− улучшение последующей промывки, так как в процессе сортирования масса хорошо разделяется на волокна, что ускоряет процесс диффузии растворенных веществ при промывке вследствие увеличения площади поверхности волокон;

− повышение производительности сортировок, так как при повышенной температуре снижается вязкость волокнистой суспензии.

Однако в то же время в условиях горячего сортирования снижается эффективность сортирования из-за пониженной вязкости щелока. По этой причине целесообразно уменьшить перфорацию сит. Кроме того, наблюдается повышенный механический износ сит, особенно в сортировках с профильной поверхностью сита. Для предотвращения преждевременного износа сит в схеме сортирования перед сортировками тонкого сортирования устанавливают центробежный очиститель большого диаметра или используют новые конструкции сортировок, в которых предусмотрено отделение тяжелых включений.

Основными моделями построения схем тонкого сортирования являются каскадное, последовательное и псевдокаскадное (прямое) подключение сортировок:

- каскадная схема. Хорошую массу со второй ступени возвращают на первую ступень. Недостаток – требуется увеличение производительности сортировок на первой ступени.

- последовательное подключение. В схеме на первой ступени устанавливаются две сортировки, через которые последовательно пропускают поток массы. В сортировке первой ступени 1а используют сито с отверстиями, на ступени 1 б - сито со щелевыми отверстиями.

- Псевдокаскадная схема (прямая). Если сорность хорошей массы после первой и второй ступеней одинакова, то хорошую массу со второй ступени добавляют к хорошей массе первой ступени.

Наиболее распространенной является каскадная схема тонкого сортирования, в которой отходы первой ступени (1 А) направляются на вторую ступень (2 А), отходы 2 ступени направляются на третью (3 *А*), а годное волокно с последующей ступени вновь возвращается на предыдущую ступень, рисунок 19, таблица 4. Каскадный способ подключения сортировок позволяет снизить потери годного волокна с отходами с последней ступени сортирования, которые отводятся из схемы.

В случае недостаточной производительности сортировки первой ступени, используют схему прямого сортирования, в которой годное волокно первой (1 А) и второй (2А) ступеней объединяются, рисунок 20, таблица 5. Однако в этом случае сорность годного волокна может увеличиться.

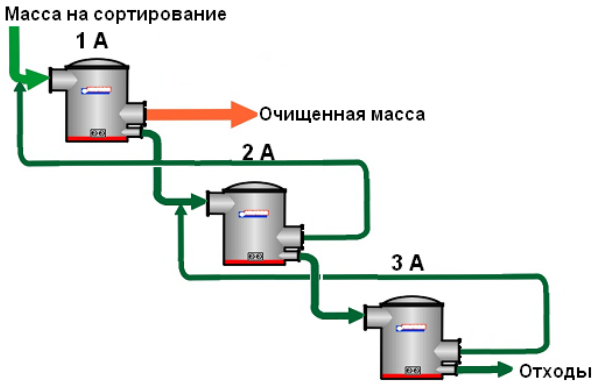


Рисунок − Каскадная схема тонкого сортирования

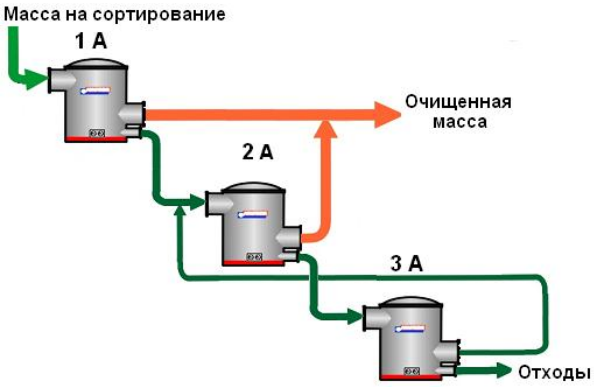


Рисунок − Схема прямого сортирования

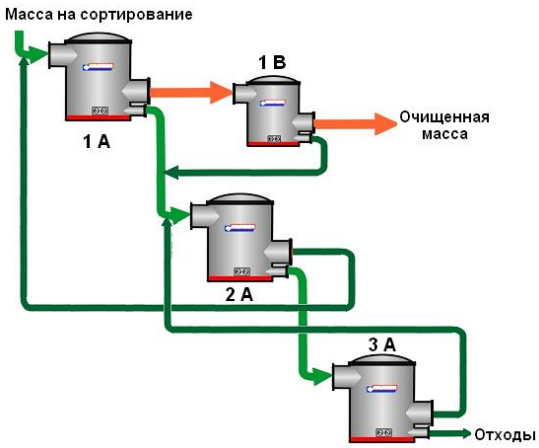


Рисунок − Схема повторного сортирования

Современные схемы сортирования, укомплектованные напорными сортировками, как это показано на рисунке, не имеют баков отходов после каждой ступени сортирования.

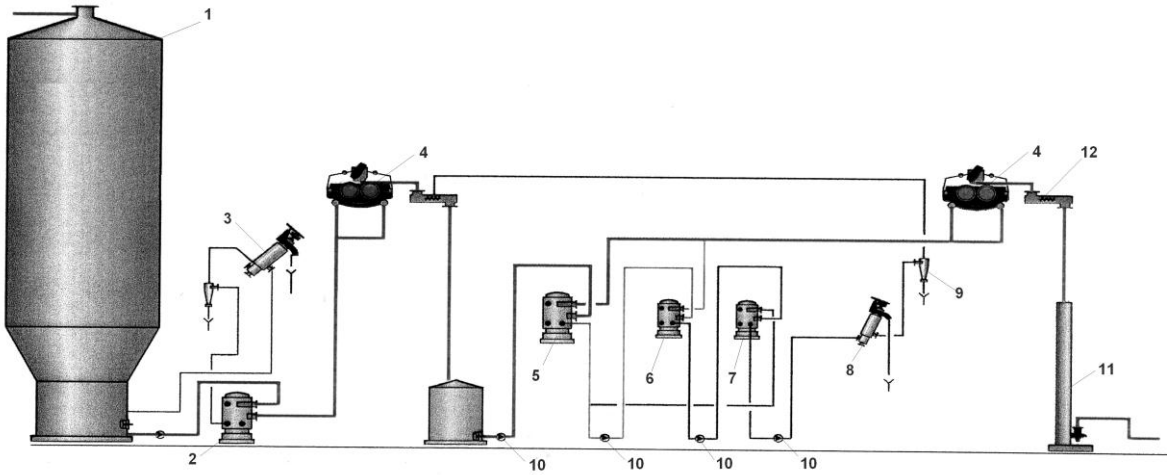


Рисунок − Технологическая схема отдела сортирования небеленой целлюлозы: 1 − выдувной резервуар; 2 − напорный сучколовитель; 3 − промыватель сучков; 4 − пресс-фильтр; 5, 6, 7 – напорные сортировки 1, 2, 3 ступеней, 8 – сортировка отходов (4 ступень); 9 − центриклинер; 10 − массные насосы; 11 − насос МС; 12 − шнек

Очистка целлюлозы на центриклинерах

Вихревые очистители (центриклинеры) используются для удаления из целлюлозной суспензии мелких включений, имеющих плотность выше плотности волокна (прямые центриклинеры) или ниже (обратные центриклинеры). Выбор конической формы очистителя основан на законах гидравлики (уравнение Бернулли):

$n \cdot v \cdot r = const$,

где: n – переменная величина, зависящая от зоны и радиуса вращения;

r – радиус сечения циклона;

v – скорость движения жидкости в соответствующей точке.

Разделение годного волокна и загрязнений в вихревых очистителях происходит следующим образом. На любую частичку в потоке внутри циклона действуют две силы: первая − центробежная, которая действует от центра к периферии и вызывает вращение потока. Центробежная сила тем больше, чем выше масса частицы. Вторая сила – давление, создаваемое насосом, подающим массу в циклон. Сила давления действует в направлении

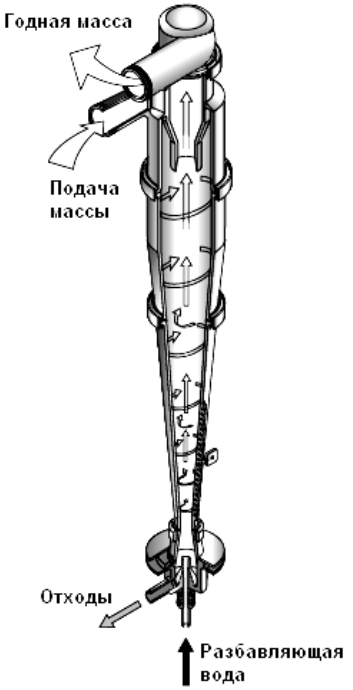
от периферии к центру и тем выше, чем больше площадь частицы. В результате взаимодействия сил, действующих в противоположных направлениях, внутри циклона образуются вращающиеся слои, частички в которых удерживаются равновесием сил. Скорость вращения частички тем больше, чем меньше радиус вращения. В центре конуса при минимальном радиусе скорость вращения настолько велика, что возникает цилиндрический вращающийся поток с противоположным направлением, а по оси циклона образуется воздушный столб.

Тяжелые частички под действием разности сил перемещаются в слои к стенкам циклона и опускаются вниз при вращении. При ударении о стенки циклона частицы теряют кинетическую энергию и по стенке циклона перемещаются вниз, к патрубку для отвода тяжелых отходов.

В прямых циклонах в восходящий поток попадает волокно, имеющее меньшую массу и большую площадь, в отходах – мелкие (менее 1 мм^2) и более плотные частички.

В обратных циклонах через нижний патрубок удаляется волокно, а более легкие и крупные включения (например, капли смолы) удаляются с восходящим потоком.

Недостатком вихревых очистителей является необходимость использования низких концентраций массы, подаваемой на очистители. Обычно вихревые очистители работают при концентрации поступающей массы 0,4…0,5 %.



Устройство вихревого очистителя

Использование таких концентраций обусловлено тем, что в циклоне должна быть обеспечена флюидизация массы и непрерывность вращения потока, т.е. к потоку необходимо постоянно подводить энергию. Чем выше концентрация массы, тем выше вязкость целлюлозной суспензии, тем выше должен быть расход энергии. При очистке волокнистой суспензии энергия подводится с поступающей распределяется вдоль циклона. При разделении потока в циклоне всегда происходит сгущение отходов, то есть увеличивается концентрация массы в нижней части конуса. Вследствие этого именно в нижней части конуса волокнистая суспензия имеет максимальную вязкость и именно в нижней части конуса наиболее вероятно прекращение вращения потока и забивание циклона при повышении концентрации поступающей массы.

Для установки вихревых очистителей используют, в основном, два варианта компоновок: канистровую и батарейную.

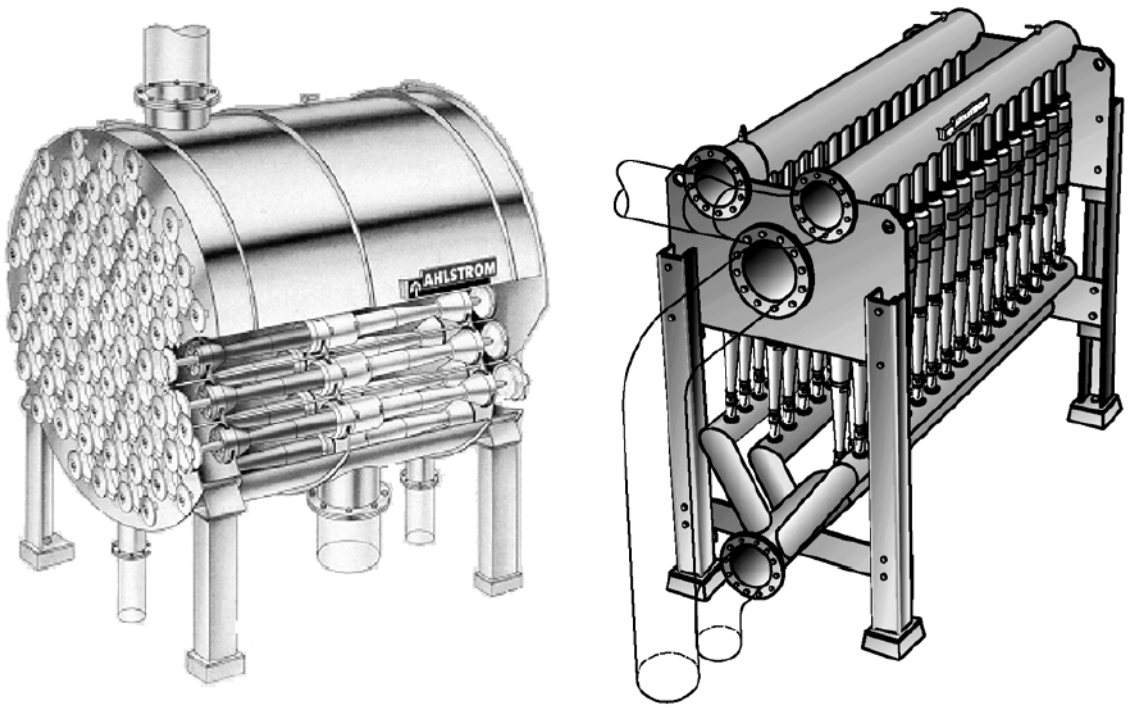


Рисунок − Канистровая и батарейная компоновка вихревых очистителей

Установка канистрой состоит из двух концентрических труб. Внутренняя труба образует камеру очищенной массы, наружная – питательную камеру. При таком способе компоновки отпадает необходимость в шлангах для подвода поступающей массы и отвода отходов. Разновидностью такой компоновки является установка радиклонов. Циклоны в радиклонной установке расположены радиально в несколько горизонтальных рядов. Все циклоны закрыты кожухом, который может подниматься и опускаться с помощью гидропривода.

При батарейной компоновке циклоны располагаются в ряд. Батарейная компоновка возможна в двух вариантах, вертикальная и горизонтальная. При такой компоновке облегчен доступ к каждому циклону.

Факторы, влияющие на эффективность работы циклонов

1. Давление массы на входе. Давление на входе определяет величину тангенциальной скорости и, как следствие, величину центробежных сил. Повышение давления, таким образом, приводит к повышению эффективности очистки и увеличению производительности. Одновременно возрастает расход электроэнергии.

2. Диаметр входного отверстия. С уменьшением диаметра входного отверстия возрастает тангенциальная скорость и величина центробежной силы, но снижается производительность циклона.

3. Диаметр выходного отверстия. Чем меньше диаметр выходного отверстия, тем плотнее располагаются вращающиеся слои; при этом возможно попадание частиц сора в восходящий поток. При увеличении диаметра выходного отверстия развиваемая центробежная сила становится недостаточной для удаления легких включений.

4. Диаметр циклона. В первую очередь влияет на величину центробежной силы и пропускную способность циклона. С уменьшением диаметра циклона возрастает эффективность очистки от мелкого сора. Максимальный эффект очистки, таким образом, обеспечивается на радиклонах, у которых диаметр циклона – до 50 мм.

5. Концентрация поступающей массы.

Оптимальной считается концентрация 0.5 %. При снижении этого показателя эффективность очистки возрастает, так как частицы загрязнений получают большую

свободу для передвижения в потоке. Однако при этом снижается производительность центриклинеров по волокну, возрастает удельный расход электроэнергии. При концентрации массы выше 0,5 % уменьшается величина центробежной силы, эффективность очистки снижается. Как правило, очистку на центриклинерах организуют в несколько ступеней, работающих по каскадному принципу, и на всех последующих ступенях (2,3) из-за более высокой загрязненности массы рекомендуется поддерживать более низкие концентрации (0.35…0.40 %).

Фракционирование и обессмоливание целлюлозы

Фракционирование – это разделение массы на волокна разных размеров. Применяется для отделения мелкого сора и смолы, повышения однородности суспензии, ее реакционной способности, содержания α-целлюлозы. Основной принцип работы фракционаторов – это разделение мелкого и нормальной длины волокна при подаче разбавленной суспензии целлюлозы на сетку, изготовленную в виде барабана (смолоотделители Аттисс), либо натянутую на раму (Валвик. ОВ-02). Мелкое волокно проходит через сетку, крупное – стекает по сетке. Для обеспечения фракционирования внутри аппарата поддерживается вакуум за счет барометрического удаления отходов. Мелкое волокно улавливают и используют в производстве древесных волокнистых плит, для производства оберточной и упаковочной бумаги, тарного картона и аналогичной продукции. Применяют фракционирование целлюлозы с целью ее обессмоливания в производстве сульфитной целлюлозы.

Сгущение целлюлозы

Все операции сортирования и очистки массы сопровождаются сильным разбавлением. На перекачивание массы при этом требуется затратить большое количество энергии, а аккумулирование перед подачей на следующие стадии производства потребовало бы огромных емкостей. Поэтому завершающей стадией в очистном отделе является отделение избыточной воды. Волокнистая масса сгущается от концентрации 3 % до 12 и выше % в зависимости от ее хранения и дальнейшей переработки. Для сгущения волокнистой массы применяют барабанные сгустители, вакуум-фильтры, дисковые фильтры, пресс-сгустители и винт-прессы. А для аккумулирования волокнистой массы применяют массные бассейны различной конструкции (горизонтальные, вертикальные и бассейны для массы высокой концентрации БВК). Все бассейны обязательно оборудованы мешалками для перемешивания массы.