

**М.В. ВАНЧАКОВ, А.В. КУЛЕШОВ
А.В. АЛЕКСАНДРОВ, А.А. ГАУЗЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ
ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ**

Часть II

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2019**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

**М.В. ВАНЧАКОВ, А.В. КУЛЕШОВ
А.В. АЛЕКСАНДРОВ, А.А. ГАУЗЕ**

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ

Часть II

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2019**

УДК 676.038.2 (075)

ББК 35.77я7

В 176

Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А.
Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие/
ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. Часть II. – 119 с.: ил. 62. – ISBN 978-5-
91646-189-3

В части II рассмотрены технологии и оборудование для сортирования и очистки макулатурной массы с приведением сведений об основных закономерностях и путях повышения эффективности этих процессов. Приведена информация об особенностях технологии и оборудования для процессов размола макулатурной массы. Подробно описаны схемы и оборудование для термодисперсионной обработки макулатурной массы.

Пособие содержит расчетные формулы, таблицы, схемы и рисунки. Имеется библиографический список рекомендуемой литературы.

Пособие предназначено для студентов (бакалавров и магистрантов) направлений 15.03.02 и 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», а также направления 18.03.01 «Химическая технология». Может быть использовано в системах послевузовского и дистанционного обучения.

Рецензенты:

Б.Е. Борилкевич – директор ООО «Р-центр»;

В.С. Куров – заместитель директора по научной работе ВШТЭ СПбГУПТД, д-р техн. наук, профессор.

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

ISBN 978-5-91646-189-3

© Высшая школа технологии
и энергетики СПбГУПТД, 2019

© Ванчаков М.В., Кулешов А.В.,
Александров А.В., Гаузе А.А., 2019

5. СОРТИРОВАНИЕ И ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Цель процесса сортирования – удаление из ММ посторонних включений и нераспушенных фрагментов макулатуры. Сущность процесса сортирования заключается в пропускании ММ через отверстия сита, размер и форма которых обеспечивают разделение содержащихся в ней частиц. В общем случае, определяющими параметрами процесса сортирования, т.е. удаления посторонних включений, являются их размер, форма и способность к деформации. В соответствии с ними выбирают сита с различной конфигурацией отверстий, размеры которых должны быть больше, чем размеры волокон, но меньше, чем размеры удаляемых посторонних включений.

При протекании суспензии волокон через сито на поверхности его непрерывно образуется волокнистый слой, создающий дополнительную фильтрующую поверхность. Толщина этого слоя, а также характер движения волокон в местах, непосредственно прилегающих к ситам, определяют эффективность сортирования. Оптимальная толщина этого слоя обеспечивается одновременно условиями как его образования, так и разрушения.

Пропускная способность и толщина фильтрующего слоя в значительной мере зависят от величины коэффициента перфорации сита, т.е. отношения суммы площадей отверстий (живого сечения) к общей площади сита. Равные перемычки между отверстиями обуславливают равную прочность сита в двух перпендикулярных направлениях. Для равнопрочных сит размеры шагов отверстий вдоль и поперек сита должны быть равны 0,577. Величина коэффициента перфорации при круглых отверстиях сит в этом случае определяется по формуле

$$k = \frac{90,7d^2}{t^2},$$

где d – диаметр отверстий, мм; t – поперечный и продольный шаги отверстий, мм.

Сита с круглыми отверстиями могут быть перфорированными или сверленными (рис. 5.1). Сверление позволяет получить отверстия различной формы: прямые, ступенчато-цилиндрические, конические и др. Коническая форма отверстий уменьшает вероятность их закупоривания. Наиболее слабым сечением просверленного сита является наименьшая перемычка между отверстиями.

Сортировки со щелевыми отверстиями (рис. 5.1) обеспечивают высокую производительность и эффективность сортирования. Живое сечение щелевых сит меньше, чем круглых, однако в них обеспечиваются более свободное течение массы и меньшее накопление волокон на перегородках

между отверстиями. Величина коэффициента перфорации таких сит определяется по формуле

$$k = \frac{100b \cdot l}{t \cdot m},$$

где b – ширина щели, мм; l – длина щели, мм; t – шаг щелей в поперечном направлении, мм; m – шаг вдоль щелей, мм.

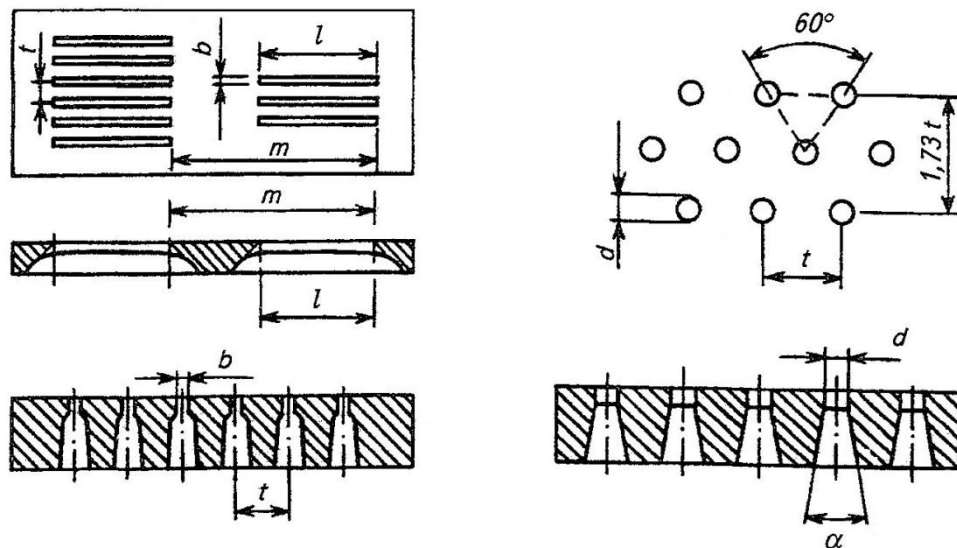


Рис. 5.1. Различные формы отверстий сит сортировок

Помимо толщины фильтрующего слоя, коэффициент перфорации влияет на степень ориентации волокон на рабочей поверхности сита. Чем больше шаг перфорации, тем выше степень ориентации волокон по потоку, ниже турбулентность и возможность проникновения волокон через отверстия сита. Высокая турбулентность и, следовательно, низкая степень ориентации волокон, создают благоприятные условия для формирования волокнистого слоя и процесса сортирования.

В зависимости от способа формирования и разрушения фильтрующего слоя, все сортировки делят на открытые и закрытые, вертикальные и горизонтальные. В открытых плоских или вращающихся барабанных сортировках разрушение фильтрующего слоя обеспечивается spryskami и/или вибрацией сита. В закрытых сортировках фильтрующий слой разрушается в результате подачи к ситy разбавляющей воды и пульсаций давления около поверхности сита за счет особой конструкции ротора.

Вибрационные и барабанные сортировки чаще всего используют для предварительного сортирования или для отделения волокна из отходов предыдущей стадии сортирования ММ. Они достаточно эффективны, но имеют из-за открытой конструкции низкую производительность и занимают большие производственные площади.

Горизонтальные центробежные сортировки широко применялись до 80-х годов прошлого века. Они предназначались для сортирования разбавленной целлюлозной массы. Основными недостатками этих сортировок являлись открытая конструкция и низкая концентрация сортируемой массы.

В современных схемах сортирования используют преимущественно вертикальные напорные центробежные или центростремительные сортировки, что обусловлено следующими их преимуществами: высокой удельной производительностью сита и закрытой конструкцией аппарата. Это позволяет исключить попадание воздуха в ММ и дает возможность широкого варьирования концентрации сортируемой ММ. В напорных сортировках волокнистая масса проходит через отверстия вертикального цилиндрического сита (ситовой корзины) за счет давления, создаваемого питательным насосом и вращающимся ротором.

Как уже отмечалось, на эффективность сортирования большое влияние оказывает характер движения суспензии в сортировке. В напорных сортировках подача суспензии производится тангенциально, а вращение ротора придает жидкости круговое движение. Во вращающемся потоке частицы загрязнений ориентируются 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 движения потока наблюдается вблизи сита. При этом образуется несколько соосных зон, в которых частицы загрязнений и волокна ориентированы вдоль потока массы. Чтобы нарушить эту ориентацию, необходимо создать турбулентность в слое, прилегающем к ситам. Для создания этой турбулентности потока ММ у рабочей поверхности используют профилированные сита.

По принципу перемещения отсортированной ММ все напорные сортировки делятся на центробежные и центростремительные (рис. 5.2).

В сортировках с центробежным движением массы действующие на поток центробежные силы препятствуют самоочищению сита, прижимая загрязнения к его поверхности. При этом снижается эффективность сортирования и повышается износ сита. Постоянная очистка сита производится только лопастями ротора. Коническая форма центральной опоры ротора обуславливает равномерность прохождения массы через сито по высоте, а также нарастающее ускорение продвижения очищенной массы к кольцевой камере. Сама кольцевая камера находится вне зоны влияния ротора. Расположение входного патрубка по касательной к корпусу у верхнего уровня ситового цилиндра, обеспечивает быстрое и надежное удаление тяжелых загрязнений.

При центростремительном движении массы (сортировки SPH «Kadant-Lamort») сортируемая ММ входит в верхнюю часть корпуса сортировки по касательной. Расположенный с внешней стороны ситовой корзины ротор с лопастями направляет движение массы к центру сортировки. Тяжелые загрязнения, отброшенные к стенке корпуса, движутся к выходному патрубку, расположенному в нижней части сортировки. Масса, ускоренная лопастями ротора, приближается к поверхности ситовой корзины под очень малым углом.

Это приводит к отделению загрязнений, больших, чем диаметр отверстий или ширина щелей сита. Вследствие соответствующего профиля лопастей ротора в зоне сита возникает эффект импульсного всасывания, который способствует очищению сита. Частицы, которые не могут пройти через отверстия сита, уносятся под действием центробежных сил в зону сбора тяжелых загрязнений и удаляются. Отсортированная масса проходит в кольцевую камеру, расположенную ниже зоны сортирования, и выводится из сортировки.

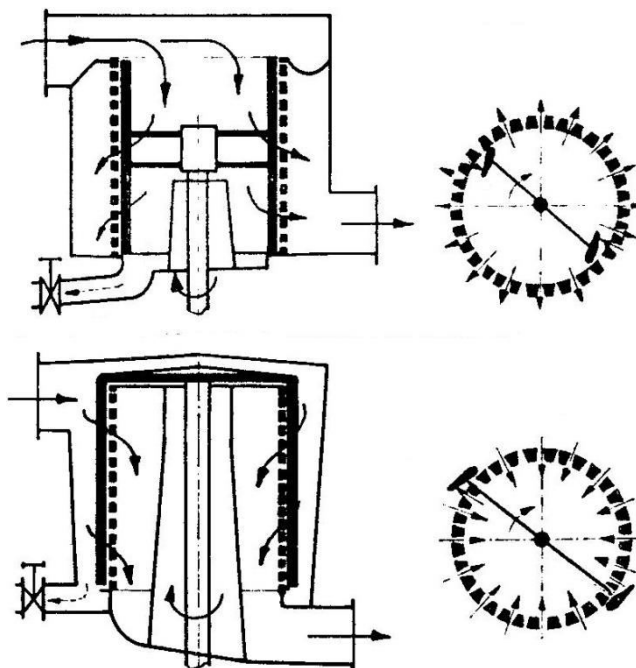


Рис. 5.2. Центробежный и центростремительный принципы сортирования массы

Обобщая основные преимущества сортировок центростремительного принципа действия над центробежными, можно отметить :

- меньший износ сита за счет быстрого удаления абразивных частиц из зоны сортирования;
- уменьшение забивания отверстий сита вследствие комбинированного воздействия центробежных сил и всасывающего эффекта;
- меньший УРЭ на сортирование.

Перед сортированием, как правило, производят очистку макулатурной массы на вихревых очистителях с целью удаления из нее посторонних включений абразивного характера (песок, мелкие камни, металл, стекло и др.), что снижает степень износа и опасность поломки сортирующего оборудования, в первую очередь сит.

5.1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СОРТИРОВАНИЯ

В общем случае, ориентировочная производительность сортировки по абсолютно сухому волокну G определяется по формуле

$$G = c' F_{ж} a \cdot n \cdot v, \text{ т/сут}$$

В этой формуле учтены основные факторы процесса сортирования. К ним относятся:

➤ концентрация массы, прошедшей через отверстия сита (c'), $c' = c_0 \cdot e^{-w \cdot k}$, где c_0 – концентрация массы при подходе к сити, г/л; w – коэффициент, зависящий от концентрации массы, типа сортирующей машины и вида массы; k – коэффициент перфорации сита, или отношение суммы площадей отверстий ($F_{жс}$) сита к его общей рабочей площади (F_c);

➤ коэффициент, учитывающий зависимость производительности сортировки от частоты пульсаций массы около сита (a);

➤ частота пульсаций массы около сита сортировки или частота колебаний сита (n), 1/с;

➤ скорость прохождения массы через отверстия сита (v), $v = \mu \sqrt{2gH}$, м/с, где μ – коэффициент расхода, учитывающий местные потери при проходе массы через сито; H – напор массы перед ситом, м.вод.ст.; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Коэффициенты w , a и μ определяются опытным путем. Их значения можно найти в соответствующей литературе.

Анализ зависимости для определения производительности сортировки показывает наличие максимума ее при значениях $\kappa = 1/w$, что подтверждается и экспериментальными данными. Одновременно это свидетельствует об ограниченности по производительности для каждой конкретной сортировки.

Показатели эффективности процессов сортирования и очистки характеризуют изменение содержания загрязнений в ММ до и после обработки. Это изменение достаточно сложно определить на практике, так как загрязнения в массе содержатся наряду с волокном, от которого их необходимо каким-то способом отделить. Следовательно, возможна только приблизительная оценка доли загрязнений в массе, и ошибка в оценке будет тем большая, чем меньше концентрация загрязнений. Кроме того, часть загрязнений, с размерами меньшими, чем размер волокна или предела видимости невооруженным глазом, практически не поддаются учету.

Для оценки эффективности сортирования и очистки, базирующейся на подсчете числа соринок в единице объема массы на входе и выходе из аппарата при конкретном расходе массы, используют классическую формулу

$$\varepsilon = \frac{K_{ex} Q_{ex} - K_{вых} Q_{вых}}{K_{ex} Q_{ex}} 100, \%$$

где $K_{вх}$ и $K_{вых}$ – среднее арифметическое число соринок в 1 л массы на входе и выходе сортировки; $Q_{вх}$ и $Q_{вых}$ - расход массы на входе и выходе сортировки, л/мин.

Эта формула может использоваться и при оценке эффективности процесса удаления загрязнений как в сортировках, так и в вихревых очистителях.

Без учета расхода массы эффективность удаления загрязнений определяют в массовых соотношениях (коэффициент удаления загрязнений, или коэффициент разделения):

$$T = \frac{M_{з вх} - M_{з вых}}{M_{з вх}} 100, \%,$$

или в выражениях концентрации (эффективность сортирования (очистки), или коэффициент чистоты):

$$\eta = \frac{C_{з вх} - C_{з вых}}{C_{з вх}} 100, \%,$$

где $M_{з вх}$ и $M_{з вых}$ – масса загрязнений плюс волокно, содержащиеся в единице объема суспензии, соответственно, на входе и выходе из очистителя или сортировки; $C_{з вх}$ и $C_{з вых}$ – концентрация волокна плюс загрязнений, содержащихся в единице объема массы на входе и выходе очистителя или сортировки.

Для определения содержания посторонних включений в ММ наиболее часто используют либо визуальный метод, либо метод Соммервиля (см. разд. 13.4).

Помимо указанных характеристик, используют и косвенные показатели оценки процессов очистки и сортирования. К ним относятся:

- относительная доля отходов

$$R = M_{отх} / M_{вх};$$

- фактор сгущения

$$\Phi = C_{отх} / C_{вх},$$

где $M_{отх}$ и $C_{отх}$ – масса и концентрация твердой компоненты суспензии в отходах сортирования; $M_{вх}$ и $C_{вх}$ – масса и концентрация твердой компоненты в суспензии на входе в сортировку.

Определение относительной доли отходов и фактора сгущения не вызывает проблем. Экспериментально установлено, что чем выше фактор сгущения, тем эффективнее идет процесс очистки или сортирования. Следует отметить, что эти показатели можно использовать только для оперативной оценки результатов процесса.

5.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ ПРОЦЕССА СОРТИРОВАНИЯ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

В зависимости от требований к качеству и степени загрязненности ММ, в технологической линии переработки макулатуры используют различные типы аппаратов для различных стадий сортирования. В табл. 5.1 представлены ориентировочные характеристики разных типов сортировок.

Таблица 5.1

Основные параметры сортировок для обработки ММ

Тип сортировки	Отверстия сита, мм	Окружная скорость ротора, м/с	Концентрация массы, %		
			< 6	< 4,5	< 1,5
Дисковая	Круглые 2,0÷4,0	20÷30	+		
Цилиндрическая	Круглые 0,8÷1,5	10÷30		+	
	Щелевые 0,1÷0,4	10÷30		+	+

Опыт эксплуатации показывает, что различные типы сортировок способны задерживать определенные виды загрязнений. Например, центробежные сортировки хорошо удаляют из сортируемой массы включения вытянутой формы, пучки грубых волокон. Загрязнения шаровидной или кубической формы с размерами, близкими диаметру отверстий сит, отделяются неудовлетворительно. Кроме того, на этих сортировках загрязнения в определенной мере измельчаются, вытянутые включения укорачиваются и попадают в сортируемую массу в виде мелких частичек. Вибрационные сортировки со шлицевыми отверстиями сит обладают хорошей способностью задерживать загрязнения шаровидной и кубической формы, но плохо удаляют вытянутые включения.

Разновидностью сортирования макулатурной массы является фракционирование, т.е. разделение волокон с различной длиной и гибкостью. Задача фракционирования – отделить длинноволокнистую фракцию волокон от коротких волокон и мелочи, образовавшихся в результате повторных циклов переработки и размола макулатурного материала.

В целом, сортирование различных видов ММ обуславливается рядом специфичных условий и требований, свойственных только данному виду массы. На эффективность процесса сортирования (очистки) оказывают влияние множество технологических факторов. Некоторые из них:

Свойства волокна и фракционный состав частиц компонентов ММ. Поскольку при сортировании волокно находится в водной среде и транспортируется к ситам потоком воды, одним из основных факторов сортирования является удельная поверхность волокна. Волокна с более развитой поверхностью и большим содержанием свободных гидроксильных групп гидратируются сильнее, а их плотность становится ниже по сравнению с гладкими волокнами. В результате эти волокна находятся под более интенсивным воздействием потока и легче проходят через отверстия сита.

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 потока они не в состоянии сориентироваться около ситовой поверхности и беспрепятственно пройти через отверстия сита. При одинаковой длине решающую роль играет гибкость волокон, а при одинаковой гибкости – длина волокон. Чем ниже значение числа Каппа, характеризующего гибкость волокон, тем более гибки они и тем выше плотность волокнистого слоя у сита. В результате снижается производительность сортировки, но возрастает качество сортирования.

Количество и размер твердых компонентов ММ определяет возможности процессов сортирования. На рис. 3.2 (ч. I) приведена диаграмма распределения размеров частиц компонентов ММ. На диаграмме видно, что путем сортирования можно удалять крупные фракции клея, краски, песка, пластика и других частиц. Мелкие фракции клея, краски, песка и частицы наполнителя следует удалять другими методами. Определенные затруднения вызывает удаление деформируемых частиц и частиц, которые способны менять форму и разрушаться при высоких нагрузках. Содержание примесей в ММ и их состав зависят от марки макулатурного сырья, технологии его переработки и требований, предъявляемых к конечной продукции. При отделении примесей необходимо принимать меры по возможному сохранению веществ, используемых для производства данного вида продукции, например, наполнителей и мелкого волокна.

Концентрация поступающей массы. Рост концентрации поступающей на сортирование массы приводит к увеличению толщины волокнистого слоя на сите, а также к росту концентрации и количеству отходов. Повышение концентрации поступающей массы в определенных пределах сопровождается повышением эффективности удаления сора. Оптимальный уровень концентрации зависит от типа сортировки, свойств волокон, температуры массы и геометрических характеристик ситовой поверхности. Увеличение концентрации выше оптимального уровня приводит к резкому снижению производительности сортировки и забиванию сита. Снижение концентрации

поступающей массы ниже оптимального уровня может сопровождаться повышением уровня сорности сортированной массы.

Количество поступающей массы. Увеличение объемного расхода поступающей массы приводит к повышению перепада давлений в сортировке, что может сопровождаться забиванием сита и снижением эффективности сортирования. Сортирование массы при высоком содержании загрязнений в макулатуре следует выполнять с определенной осторожностью. Так, при попытке удалить большое количество загрязнений в одну стадию сортирования наблюдаются как снижение эффективности работы, так и повышение степени износа основных узлов сортировки (сита и ротора).

Количество отходов. Увеличение объема потока отходов повышает осевую скорость движения массы и одновременно снижает скорость прохождения волокна через отверстия сита. Это приводит не только к повышению чистоты массы, но и к увеличению содержания годного волокна в отходах. В связи с этим в технологических схемах используют многоступенчатое (от 3 до 5 ступеней) сортирование с увеличивающимся на каждой ступени относительным количеством отходов. Регулируя количество отводимых отходов, можно обеспечить требуемую чистоту отсортированной массы с одновременным изменением производительности сортировки в целом.

Помимо технологических факторов, на эффективность сортирования влияют и конструктивные характеристики сортирующих аппаратов.

Конструкции сортировок. В зависимости от стадии сортирования, а также его места в технологической схеме, традиционно используют центробежные или напорные сортировки. В центробежных (центростремительных) сортировках движение массы и эффект дефлокуляции пучков волокон обеспечиваются, главным образом, за счет вращения ротора с лопастями. Поэтому их используют, преимущественно, на первых стадиях сортирования. Напорные сортировки, как правило, используются на заключительных этапах сортирования для удаления мелких включений. Недостатком многих напорных сортировок является низкий эффект дефлокуляции пучков волокон. Выбор типов аппаратов для каждой стадии сортирования ММ проводят в зависимости от качества и степени загрязненности макулатурного сырья.

Конструкции сит. Как уже отмечалось, для сортирования ММ используют две разновидности сортирующих сит: с круглыми и щелевидными отверстиями. Сита с круглыми отверстиями (рис. 5.3а) диаметром от 1,5 до 3,5 мм обычно используют для предварительного и грубого сортирования массы. Их изготавливают с коническими простыми, ступенчатыми, прямыми или зенкованными отверстиями. Толщина ситовой стенки достигает до 20 мм. Электролитическая полировка устраняет все острые края, создавая исключительно гладкую поверхность сита. Однако использование таких сит в напорных сортировках обычно не обеспечивает требуемую эффективность сортирования.

Для повышения эффективности сортирования круглые отверстия заменяют на щелевые фрезерованные (рис. 5.3б) с шириной щели от 0,25 до 0,45 мм. Фрезерованные щелевые сита используют на начальных стадиях сортирования, где необходима высокая механическая прочность сит и хорошо отшлифованная поверхность. Однако при этом производительность сортировки уменьшается примерно в 2 раза.

Далее, с целью увеличения пропускной способности сита при сохранении эффективности сортирования в напорных сортировках, была разработана конструкция щелевого профильного сита (рис. 5.3в). Профилированные сита могут иметь гораздо меньшие расстояния между щелями, чем фрезерованные. Профилированные щлицевые сита (рис. 5.4) собираются из параллельных, вертикально установленных стержней клиновидного сечения, скрепленных по окружности металлическими кольцами (ободами). Угол клина и глубина погружения его в сортируемую массу влияют на эффективность работы сортировки. Минимальная ширина щелей фрезерованных сит составляет 0,25 мм, а профилированных – 0,08 мм. Уменьшение ширины щелей сопровождается увеличением их количества на единице поверхности сит. За счет этого обеспечивается повышенная пропускная способность сортировки, а при зафиксированной производительности – снижение скорости прохода массы. Одним из лидеров по изготовлению профилированных сит является канадская компания AFT.

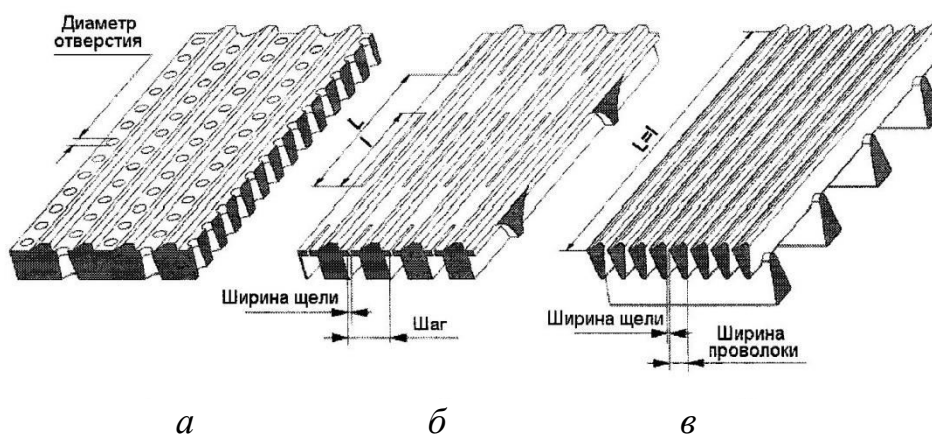


Рис. 5.3. Типы перфорации сит

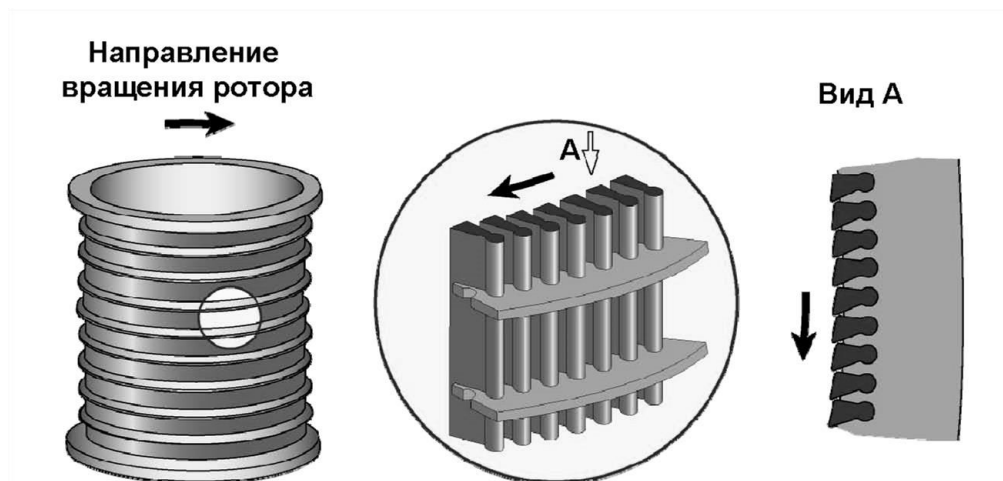


Рис. 5.4. Конструкция щелевых сит

Профилирование сит позволяет регулировать уровень микротурбулентности на поверхности сортирующего сита. Турбулизация потока массы повышает степень распада пучков волокон и препятствует их повторному образованию. Загрязнения и отходы быстро удаляются из зон, прилегающих к отверстиям, не скапливаясь в них. Это позволяет волокнам проходить сквозь очень тонкие щелевые отверстия сита. Следует отметить, что профилирование щелей сита сортировки оказывает большее влияние на эффективность сортирования ММ, чем их ширина. На рис. 5.5 видны крупные завихрения и точка разделения потока волокнистой суспензии ниже по течению от гребня пластины с большим углом профиля щелей.

Разработаны сита, имеющие разные профиль и ширину щелевых отверстий по высоте сортировки, учитывающие изменяющиеся условия сортирования в разных высотных зонах сортировки (сита AFT VarieProfile).

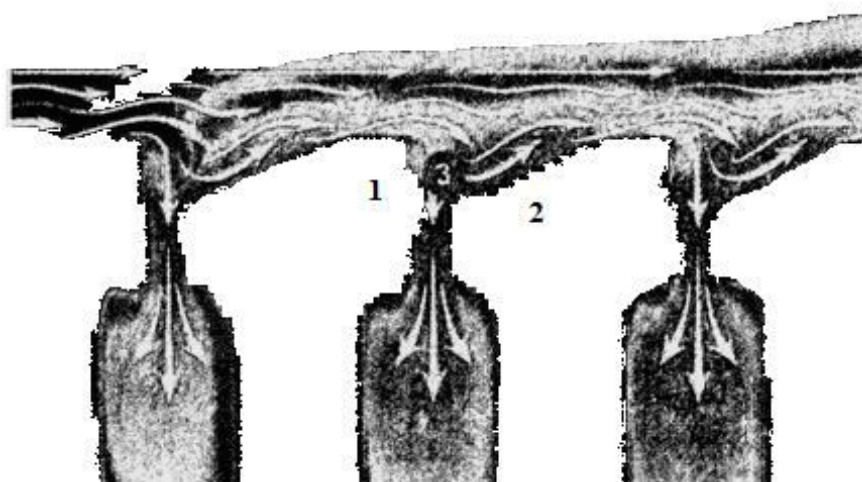


Рис. 5.5. Схематичное изображение потока массы на профилированных ситах:

1 – перегородка, препятствующая движению потока и вызывающая его поворот в направлении отверстия;

2 – уклон профиля, вызывающий ускорение потока массы и отход загрязнений из зоны отверстия;

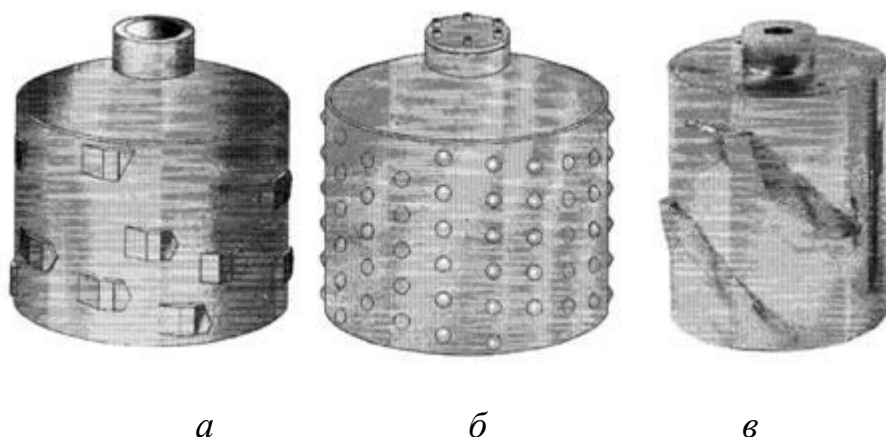
3 – турбулизация потока, интенсифицирующая движение массы в отверстие

Оптимизацию работы сортировок осуществляют подбором как сита, так и ротора. В процессе сортирования водная фаза массы легче проходит сквозь сито, чем волокно. В результате на сортирующей поверхности наблюдается сгущение массы вплоть до образования плотного слоя волокна на сите, что резко снижает эффективность сортирования. Поэтому сортирующую поверхность сита следует очищать специальными устройствами, обеспечивающими постоянное разрушение образующегося волокнистого слоя. Одновременно используют разбавление сортируемой массы водой для снижения концентрации массы внутри сортировки.

Конструкции роторов. Конструкция ротора должна обеспечивать организацию кругового движения массы в корпусе сортировки и создание импульсов давления вблизи сита. Амплитуда и частота импульсов должны создавать такую турбулентность в зоне сортирования, которой будет достаточно для дефлокуляции массы и исключения забивания отверстий. В зависимости от степени загрязненности, концентрации и состава примесей ММ используют сортировки с различными типами роторов. Роторы можно разделить на закрытые (рис. 5.6а, б, в) и открытые (рис. 5.6г, д, е).

Различные роторы создают в массе усилия сдвига различной величины. Повышение концентрации массы требует больших усилий сдвига для более эффективного перемещения волокон и частиц загрязнений. Обычно окружная скорость ротора открытого типа составляет $12 \div 16$ м/с, а скорость вращения закрытого ротора с цельным корпусом составляет $15 \div 28$ м/с.

Рассмотрим особенности и преимущественные области применения отдельных типов роторов несколько подробнее.



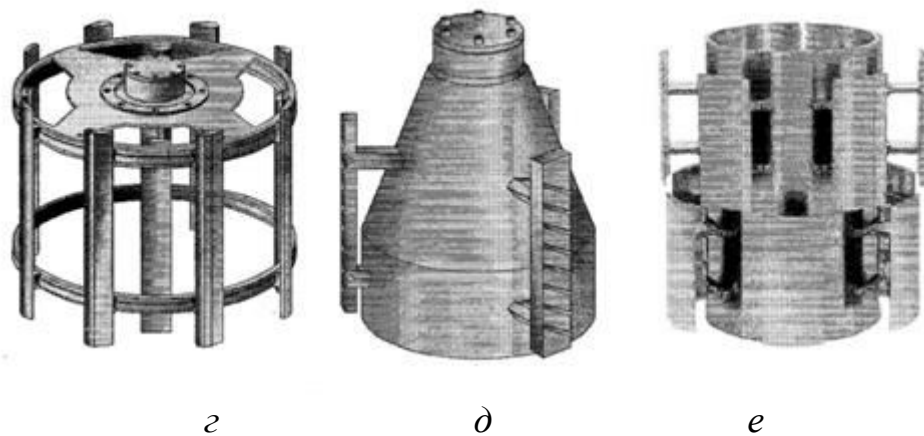


Рис. 5.6. Конструкция роторов для грубого сортирования:
a, б – кулачковые роторы; *в* – ступенчатый ротор;
г, д - ротор с гидродинамическими лопастями; *е* – сегментный ротор

Сортировки с закрытым ротором (см. рис. 5.6*a, б, в*) обеспечивают повышенные количество и частоту пульсаций за счет специальной конструкции, благодаря которой концентрация поступающей массы может быть повышена до 4,0÷4,5 %. В таких сортировках вместо ротора с гидродинамическими лопастями используются типы цилиндрических роторов, которые считаются более универсальными для многих видов волокнистого сырья.

Кулачковые роторы (рис. 5.6*a, б*) используют при высокой окружной скорости, обеспечивающей высокую пропускную способность сортировки.

В сортировке со ступенчатым ротором (см. рис. 5.6*в*) продолжительности рабочей фазы и фазы промывки сита приблизительно равны, поэтому скорость движения массы в рабочей фазе и перепад давлений могут быть больше, чем для ротора с гидродинамическими лопастями при одинаковой пропускной способности аппарата.

Роторы с гидродинамическими лопастями (см. рис. 5.6*г, д, е*) обеспечивают высокую интенсивность гидравлических импульсов при минимальной их продолжительности. При использовании такого ротора продолжительность течения массы через отверстия сита (рабочая фаза) является относительно длинной, в то время как фаза промывки отверстий сита значительно короче. Движение лопастей ротора и пульсация давлений на поверхности сита способствуют разрушению фильтрующего слоя и предотвращают закупоривание отверстий сита. Благодаря такой конструкции ротора при небольших размерах отверстий сит удастся сочетать высокую производительность и эффективность сортирования массы.

Существуют три типа лопастных роторов напорных сортировок, различающихся их расположением и направлением движения массы через сито:

➤ ротор с лопастями расположен внутри ситовой корзины со стороны поступления массы (селектифайер);

- ротор с лопастями, расположенными с внешней стороны ситовой корзины со стороны поступления массы (фирма Kadant Lamort);
- ротор с лопастями, расположенными внутри ситовой корзины со стороны потока очищенной массы (фирма Finc).

Сегментный ротор (см. рис. 5.6e) используется в сортировках с круглыми отверстиями сита для грубого сортирования ММ. Данный ротор обеспечивает высокую пропускную способность сортировки, но для удаления липких частиц его использование малоэффективно.

Для сортирования ММ средней концентрации используют как кулачковые роторы, так и роторы с лопастями, а также ступенчатый ротор. Для сортирования ММ низкой концентрации обычно используют ротор с гидродинамическими лопастями, так как он обеспечивает «мягкие» условия сортирования ММ при пониженной окружной скорости и низком УРЭ. В момент импульса максимальная скорость прохождения массы через отверстия сита при использовании ротора с лопастями в $5\div 10$ раз, а при использовании ступенчатого ротора в $10\div 20$ раз выше средней скорости потока.

Развитие технологии сортирования может, в перспективе, позволить сохранить очистку массы в схемах подготовки макулатурного волокна только на грубой стадии и отказаться от тонкой очистки. Использование в сортировках щелевых сит и усовершенствованных типов роторов дало возможность на отдельных технологических линиях переработки макулатуры из использованного тарного картона (марок МС-5Б и МС-6Б) отказаться от процессов термодисперсионной обработки за счет достаточно равномерного распределения клейких включений в массе.

В общем случае сортирование ММ проходит в три стадии:

- предварительное, или дополнительное сортирование массы в процессе разволокнения макулатуры. Его осуществляют в традиционных гидроразбивателях, снабженных перфорированной плитой и сортирующим барабаном, и в барабанных гидроразбивателях, оснащенных сортирующей секцией, или в отдельно стоящих устройствах (дисковых сортировках). На этой стадии для сортирования чаще всего используют сита с круглыми отверстиями. Сюда же можно отнести и процессы отделения волокна из потока отходов после роспуска макулатуры;
- грубое сортирование ММ при высокой и средней концентрации (менее 4,5 %) в сортировках, оснащенных ситами с круглыми или щелевыми (шлицевыми) отверстиями. Эта стадия осуществляется обычно после грубой очистки массы и приводит к удалению грубодисперсных частиц отходов до уровня, обеспечивающего возможность использования сит с меньшими размерами отверстий в сортировках;
- тонкое сортирование ММ при низкой (менее 1,5 %) концентрации на сортировках, оснащенных, как правило, ситами со щлицевыми отверстиями. Это стадия сортирования обычно предшествует тонкой очистке массы.

В некоторых упрощенных схемах подготовки ММ разделение на стадии грубого и тонкого сортирования не производится. В этих случаях ограничиваются только одной стадией сортирования.

5.2.1. Предварительное сортирование ММ

Сортирование массы непосредственно в процессе роспуска макулатуры является предварительным и ставит целью удаление без разрушения из массы крупных тяжелых и легких включений, присутствие которых делает невозможной дальнейшую обработку массы. На этой стадии используют различные сортировки с рабочими поверхностями, имеющими, в основном, круглые отверстия.

В гидроразбивателях традиционного типа для предварительного сортирования массы служит перфорированная плита, располагаемая в нижней части ванны под ротором. В зависимости от режима и способа роспуска размер отверстий, через которые выходит распущенная масса, составляет от 4 до 20 мм. На плите задерживаются включения с размерами, большими, чем размер отверстий. Для снижения степени забивания отверстий в плите ротор гидроразбивателя может быть снабжен специальной крыльчаткой, обеспечивающей гидродинамические пульсации на сите. Основная задача сортирования в гидроразбивателе – максимальное удаление крупных включений с минимальным их измельчением.

Исключение составляют аппараты для роспуска ламинированной, сильно клееной, покрытой пленкой влагостойкой макулатуры (МС-11В). В этом случае для разволокнения используют роторы истирающего принципа действия. На плите имеются ребра для повышения степени разрушения (роспуска) макулатуры. Одновременно снижают диаметр отверстий до 3÷6 мм.

В гидроразбивателях барабанного типа для предварительного сортирования макулатурной массы используют вторую, перфорированную секцию. Масса из первой секции роспуска поступает во вторую, где разбавляется до концентрации порядка 3÷6 %, и волокнистая фракция проходит сквозь отверстия диаметром 6÷9 мм. Для интенсификации процесса отделения включений и во избежание забивания отверстий вращающийся барабан снаружи омывается специальными спреями. Иногда на внутренней поверхности устанавливают спиральные лопасти для перемешивания и ускорения перемещения массы вдоль барабана. Не прошедшие сквозь перфорацию включения выходят через задний торец барабана на конвейер. В данном случае происходит минимальное измельчение посторонних включений. Однако вместе с посторонними включениями из массы уходят и недораспущенные (более влагостойкие) фрагменты макулатуры, что повышает потери волокна.

Дополнительное предварительное сортирование массы происходит в аппаратах для доразволокнения (дефлокуляции) макулатуры (см. разд. 4.2,

ч.1), называемых обычно дисковыми сортировками или сепараторами. Они снабжены ситом, задерживающим посторонние включения вместе с частью волокна. К таким аппаратам относятся сортирующие гидроразбиватели, турбосепараторы, Fiberizer, Contaminex и др. (см. разд. 4.2, ч.1). Эти аппараты оснащены электродвигателями большой мощности, что необходимо для дефлокуляции лепестков макулатуры. Дисковые сортировки, изготавливаемые различными фирмами, обычно выполняют двойную функцию: дополнительное разволокнение ММ и удаление крупных тяжелых и легких включений. В них используются сита с отверстиями диаметром $1,5 \div 3,0$ мм.

Дисковая сортировка (сепаратор) имеет цилиндрический или конический корпус с отражательными планками-дефлекторами, ротор и сортирующее сито в виде диска. Ротор оснащен изогнутыми лопастями, которые предотвращают забивание отверстий сита, а также обеспечивают движение грубодисперсных включений в радиальном направлении. Окружная скорость вращения ротора составляет $20 \div 30$ м/с. Зазор между поверхностью сортирующего сита и лопастями ротора составляет $2 \div 4$ мм. Отражательные планки, расположенные вблизи ротора, оказывают дополнительное дефлокулирующее воздействие на пучки волокон. Дисковые сортировки иногда используются также для дефлокуляции отходов напорной сортировки в целях снижения потерь волокна.

В качестве иллюстрации на рис. 5.7 приведена схема дискового сепаратора-сортировки типа «Fibersorter FS.B» фирмы Voith, принцип действия которого заключается в следующем. Предназначенная для обработки ММ из гидроразбивателя подается в коническую рабочую камеру 2 через тангенциально расположенный патрубок 3, вмонтированный у меньшего основания корпуса 1. Ротор 10 с лопастями 11 приводится во вращение валом 14 через закрепленный на нем шкив 15, связанный с электродвигателем.

Масса, по мере роспуска, проходит через отверстия (диаметром $2 \div 4$ мм) сортирующего сита 9 и поступает в камеру 7 для сортированной массы, которая выпускается через патрубок 8 на дальнейшую обработку. Сепаратор оснащен откидной крышкой 4 у большего основания рабочей камеры и патрубком 5 для выпуска легких загрязнений вместе с частью массы для дальнейшей обработки.

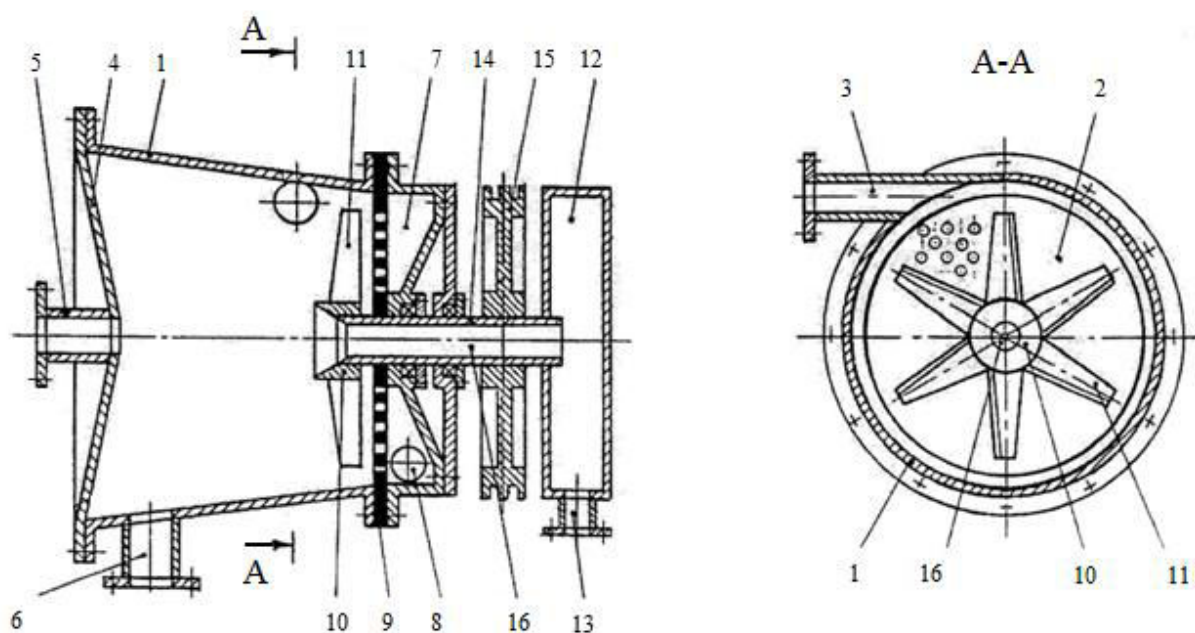


Рис. 5.7. Схема аппарата «Fibersorter FS.B»:

- 1 – корпус; 2 – приемная камера; 3 – тангенциальный патрубок;
- 4 – съемная крышка; 5 – патрубок для удаления легких включений;
- 6 – патрубок для удаления тяжелых включений;
- 7 – камера для отсортированной массы;
- 8 – патрубок для удаления отсортированной массы;
- 9 – сортирующее сито; 10 – ротор; 11 – лопасти ротора;
- 12 – камера для избыточной массы;
- 13 – патрубок для удаления избыточной массы; 14 – вал ротора;
- 15 – приводной шкив; 16 – отверстие для выпуска избыточной массы

Тяжелые включения скапливаются в нижней части большего основания корпуса и периодически, через патрубок 6, удаляются из системы. Для избыточного объема неотсортированной массы в центральной части ротора предусмотрено отверстие 16, через которое этот объем массы уходит в камеру 12 и возвращается в гидроразбиватель.

Аналогичный принцип действия реализуется в дисковой сортировке типа Opti-Screen CS фирмы Valmet, которая обеспечивает эффективное сортирование и дефлокуляцию пучков волокон ММ благодаря специальной конструкции плоского ротора с лопастями и сита с диаметром отверстий 2÷3 мм. Похожие по устройству и назначению аппараты непрерывного или периодического принципа действия выпускаются многими фирмами в разных странах.

Для обработки отходов, образующихся при роспуске макулатуры, и снижения потерь волокна используют сортирующие барабаны или плоские вибрационные сортировки. Сортирующий барабан представляет собой вращающийся наклонный перфорированный цилиндр, устанавливаемый обычно рядом с гидроразбивателем. Над барабаном располагаются спрыски

для промывки водой содержимого барабана, а под барабаном – сборник (бассейн) для вымываемой массы. Для лучшего перемешивания содержимого в барабане на его внутренней поверхности иногда устанавливают спиральные лопасти.

Очищаемые отходы вместе с массой подаются в барабан через выгрузочный патрубок, установленный, как правило, выше экстракционной перфорированной плиты гидроразбивателя. Содержимое барабана перемещается вдоль него при вращении, перемешивается и интенсивно промывается водой. Волокнистая составляющая вместе с мелкими включениями проходит через отверстия перфорации барабана в бассейн, а крупные загрязнения, двигаясь вдоль барабана, выгружаются через задний торец в контейнер.

На АО «Петроавтомаш» выпускался барабан типа БСТ-1А производительностью 20÷50 т/сут по в.с. волокну. Рабочая концентрация подаваемой смеси 3,0÷4,5 %, диаметр барабана 1250 мм, длина 4750 мм, скорость вращения – не более 15 об/мин. Для промывки перфорации барабана служит система sprays оборотной водой с расходом до 35 м³/ч.

Сортирующий отходы барабан используется также в системах роспуска компании Kadant Lamort. Это барабан типа Scavenger, используемый для промывки массы и, одновременно, для удаления отходов, скапливающихся в гидроразбивателе периодического режима роспуска. При непрерывном роспуске компания рекомендует сортирующие барабаны типа Selectpurge, позволяющие эффективно удалять отходы из массы после гидроразбивателя.

В системах компании Voith используются сортирующие барабаны типа STR (рис. 5.8), работающие при концентрации массы 2 %, имеющие производительность от 4 до 15 т/час а.с. волокна, в зависимости от модификации. Их применяют как заключительную ступень в системах накопления и утилизации отходов в непрерывно действующих системах роспуска PreClean или TwinPulp II. Диаметр отверстий перфорации барабана 6÷16 мм. Диаметр барабана 1,25÷2,5 м, длина 2÷3,8 м.

В целом, наблюдается тенденция роста использования сортирующих барабанов в различных системах роспуска на предприятиях, перерабатывающих макулатуру.

Плоские вибрационные сортировки до сих пор применяют, в основном, для сортирования отходов в технологических схемах роспуска небольшой производительности.

В нашей стране выпускались вибрационные сортировки марки СВ (рис. 5.9) трех типоразмеров, отличающихся друг от друга производительностью, габаритами и формой ситового лотка, конструкцией механизма вибрации и амортизаторов.

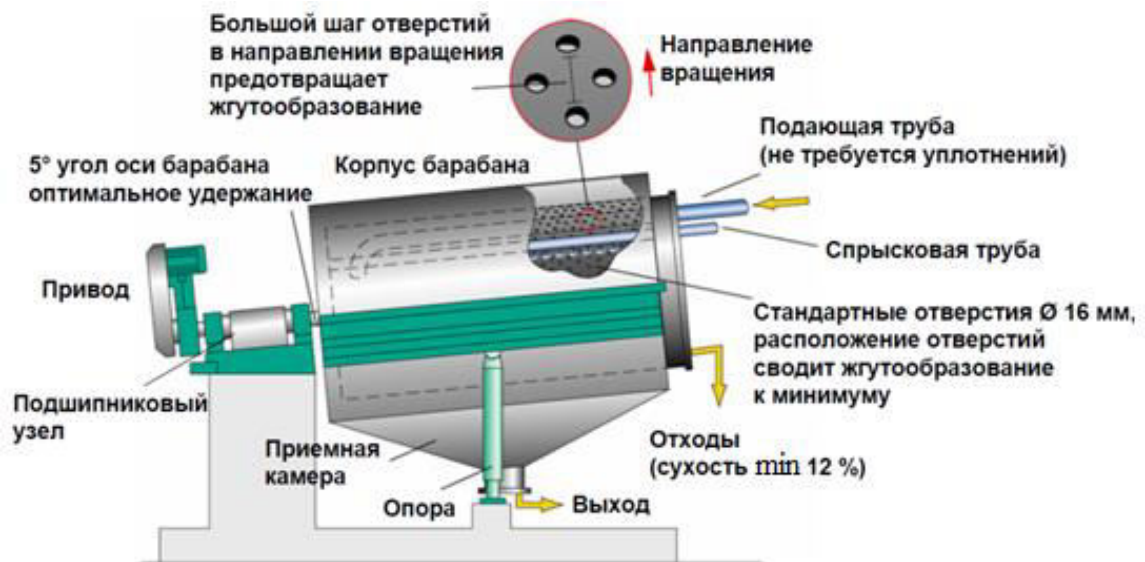


Рис. 5.8. Барабанная сортировка типа STR фирмы Voith

При сортировании отходов, содержащих волокно (концентрация 2,5÷5,0 %), сортирующее сито может не погружаться в массу, т.е. работать без подпора. Благодаря колебаниям сита под ним периодически образуется воздушная подушка, которая поддерживает чистоту отверстий сита. Одновременно происходит периодическое смачивание нижней стороны сита, что содействует обмыву его и уносу отходов. Максимальная производительность этих сортировок составляет от 35 до 80 т/сут (по а.с. волокну), в зависимости от типоразмера, при концентрации массы до 3 %, частоте вибрации 1500 1/мин и амплитуде колебаний 2,2 мм.

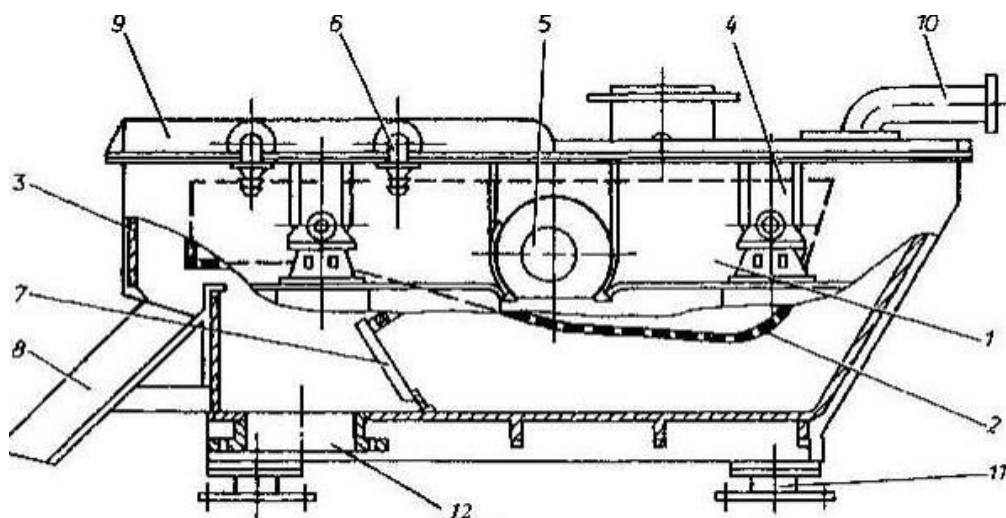


Рис. 5.9. Вибрационная сортировка типа СВ:
 1 – лоток; 2 – сито; 3 – ванна; 4, 11 – амортизаторы;
 5 – вибрационный вал с приводом; 6 – спрысковые трубы;
 7 – переливной щит; 8 – лоток для отходов; 9 – рама сортировки;
 10 – вход массы; 12 – отвод массы

Отличительными особенностями вибросортировки типа Celleco Gauld фирмы GL&V (рис. 5.10) являются самоочищающееся сортирующее сито, пониженная частота колебаний ($700 \div 800$ 1/мин), увеличенная амплитуда колебаний ($8,0 \div 12,7$ мм). Такая высокая амплитуда колебаний сортирующей поверхности, обеспечивающая пульсацию воздуха через сито и промывку отходов на сите, позволяет увеличить эффективность сортирования и сократить потери волокна. Производительность этих сортировок составляет от 15 до 55 т а.с.в./сут по волокну при концентрации массы $1,2 \div 1,5$ % и диаметре отверстий $2,0 \div 3,0$ мм.

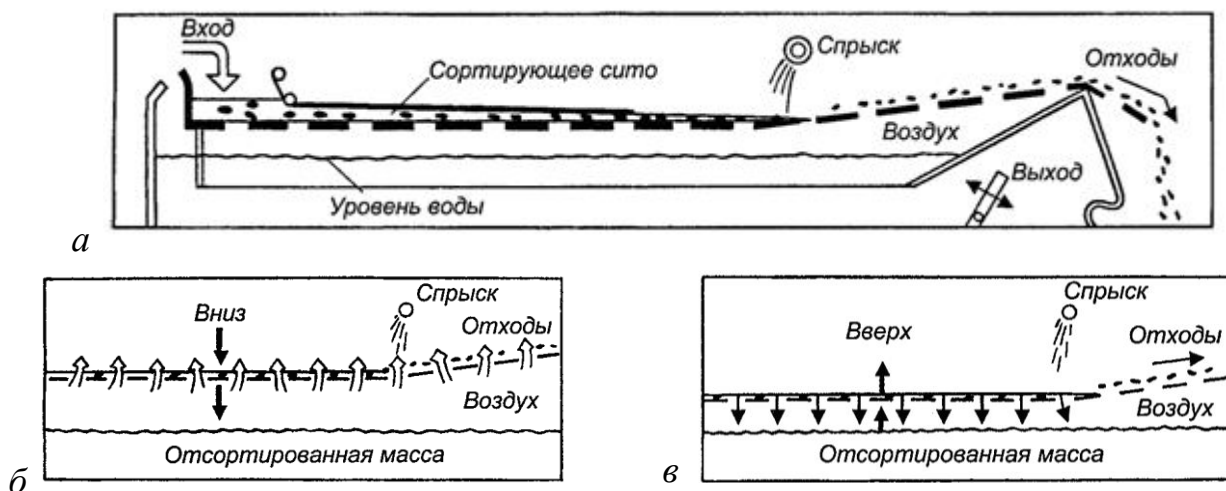


Рис. 5.10. Схема работы вибросортировки Celleco Gauld:

а – неподвижное сито; б – движение сита вниз; в – движение сита вверх

При концентрации массы $0,5 \div 0,8$ % и ширине щелевых отверстий $0,5 \div 0,75$ мм производительность их составляет от 7 до 16 т/сут в зависимости от типоразмера сортировки.

5.2.2. Грубое сортирование ММ

Как уже отмечалось, основная цель грубого сортирования заключается в уменьшении количества загрязнений в массе до такого уровня, когда более эффективным становится использование следующей стадии – тонкого сортирования, т.е. использование сит с более мелкой перфорацией.

В технологических схемах переработки макулатуры не всегда удается провести четкую грань между предварительным и грубым сортированием. Зачастую ограничиваются сортированием на аппаратах, непосредственно примыкающих к гидроразбивателям в системах разволокнения, где процесс грубого сортирования и заканчивается. Отсюда терминологическая нечеткость понятия грубого сортирования. Отдельной стадией грубого сортирования следует считать использование цилиндрических напорных сортировок. В них проводят сортирование ММ с достаточно высокой (до 95 %) степенью разволокнения.

Цилиндрические напорные сортировки обычно работают при концентрации массы до 4,5 %. Они имеют сита с круглыми отверстиями диаметром 1,5÷2,5 мм или щелевые отверстия. Волокнистая масса подается в сортировку по касательной к образующей цилиндрической поверхности сита, и под воздействием ротора кондиционная ее часть проходит изнутри или снаружи через отверстия сита. При этом образуется два потока: поток кондиционной массы, пригодной к дальнейшей обработке, и поток отходов, который направляется на отделение содержащейся в них части волокна.

Существенным отличием аппаратов для грубого сортирования является конструкция ротора. Она должна обеспечивать нормальную работу аппарата при сортировании массы, а также дополнительную дефлокуляцию массы перед ситом. Для этого используют цилиндрические роторы с цельным корпусом, поверхность которых снабжена выступами, выпуклостями, или роторы ступенчатой и более сложной конструкции (см. рис. 5.6а,б,в). Преимуществами роторов с цельным корпусом являются отсутствие эффекта накручивания длинных включений на элементы ротора и высокое качество сортирования также и при средних концентрациях ММ. Такие роторы дают при вращении мягкий ход и обеспечивают как удовлетворительное сортирование массы, так и ее дефлокуляцию перед ситом.

Использование щелевых сит на стадии грубого сортирования позволяет упростить систему последующего тонкого сортирования. Так, например, при использовании щелевых сит на стадии грубого сортирования, для достижения высокой степени чистоты волокнистой суспензии можно использовать меньше 3÷4 ступеней по традиционной схеме тонкого сортирования или установить одну многоступенчатую сортировку (см. разд. 5.3).

Грубое сортирование массы и разволокнение пучков волокон может производиться, например, на сортировке типа СЦН АО «Петрозаводскмаш» (рис. 5.11). Подача суспензии в нижнюю часть аппарата исключает возможность попадания тяжелых включений в зону сортирования, что снижает опасность повреждения ими ротора и сита. Сортировка оснащена ротором с лопастями или кулачковым ротором, позволяющими проводить сортирование массы без подачи воды на разбавление отходов. Концентрация массы составляет 1÷4 %, количество отходов сортирования – не более 20 % от объема поступающей суспензии.

Существуют напорные сортировки (типа центрискрин), в вертикальном корпусе которых концентрично установлены два цилиндрических перфорированных или щелевых сита. Массу под давлением подают в кольцевой зазор между первым и вторым ситом. Ротор сортировки снабжен фигурными лопатками, которые движутся между ситами и непрерывно очищают их отверстия от пучков волокон и отходов. Такие сортировки эффективно работают с ММ как низкой, так и высокой концентрации.

Особенностью сортировки для грубого сортирования ММ типа OptiScreen™ CL VLF фирмы Valmet является применение вращающегося

цилиндрического сита и устройства типа LiteFlo для удаления легких отходов. Применение вращающегося сита снижает его износ, так как центробежные силы способствуют уменьшению числа контактов частиц абразивных включений с поверхностью сита. Сортировка обеспечивает удаление не только обычных, но и липких загрязнений, при низкой потере волокна и малой величине УРЭ.

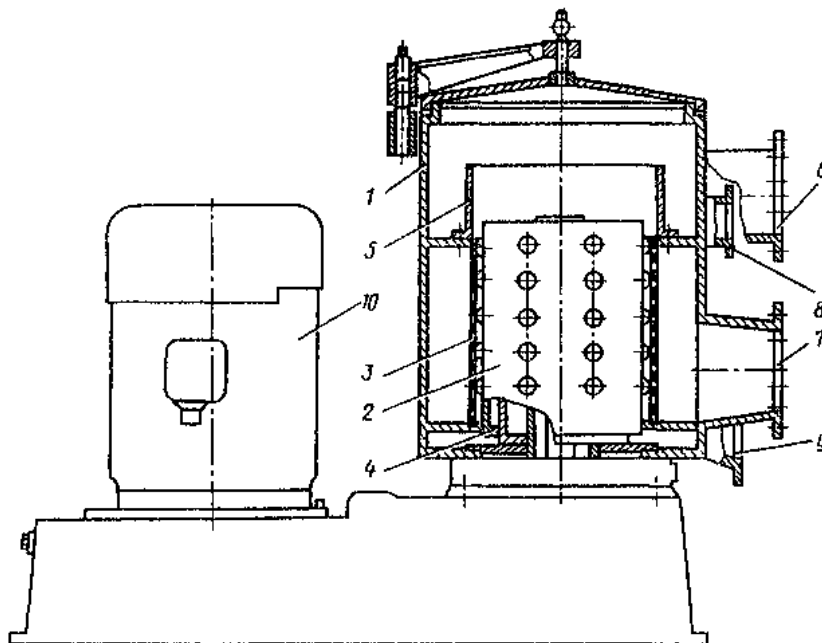


Рис. 5.11. Напорная сортировка с цилиндрическим ротором СЦН-0,9:
 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – сито; 4 – полость; 5 – кольцевая перегородка;
 6 – патрубок для подачи сортируемой массы;
 7 – патрубок для отвода сортированной массы;
 8 – патрубок для отвода тяжелых отходов;
 9 – патрубок для отвода легких отходов; 10 – электродвигатель

Похожая сортировка типа ModuScreen CR фирмы Andritz также используется на стадии грубого сортирования ММ. Вращающееся цилиндрическое сито сортировки обеспечивает «мягкие» условия сортирования ММ при низком УРЭ и минимальной потере волокна с отходами. Конструкция сортировки позволяет одновременно удалять тяжелые и легкие включения из ММ. Стационарные гидропланки в камере сортирования массы позволяют снизить износ сита.

Горизонтальная сортировка CellicoScreen фирмы GL&V применялась как для грубого, так и для тонкого сортирования ММ. Горизонтальная конструкция сортировки упрощает ее обслуживание и сокращает занимаемую площадь. Рабочие сменные кромки лопастей ротора изготавливаются из износостойчивой стали. Поскольку отделение тяжелых включений ММ осуществляется в приемной камере сортировки, имеется возможность отказаться от предварительной стадии грубой очистки. Ротор этой

сортировки имеет лопасти, обеспечивающие дефлокуляцию пучков волокон, что позволяет устанавливать ее сразу после гидроразбивателя.

В связи с высоким содержанием загрязнений в ММ сортировки для грубого сортирования могут подвергаться значительному износу. Поэтому все конструктивные элементы сортировки, соприкасающиеся с массой, требуют специального исполнения. Основное требование – износоустойчивость. Это пассивная защита. Активная защита включает такую подготовку массы перед сортированием, которая обеспечит максимально возможное предварительное удаление абразивных частиц загрязнений из нее путем грубой очистки (см. п. 6.2.1).

На стадии грубого сортирования к аппаратам одновременно предъявляются два требования: максимального удаления включений и минимальных потерь волокна. Эти требования противоречат друг другу, в связи с чем, при выборе параметров сортировок необходим поиск оптимума их выполнения в каждом конкретном случае.

В настоящее время ведется активный поиск новых конструкций аппаратов для грубого сортирования ММ. К примеру, разработана сортировка, совмещающая предварительное и грубое сортирование в одном аппарате. Схема такой сортировки представлена на рис. 5.12.

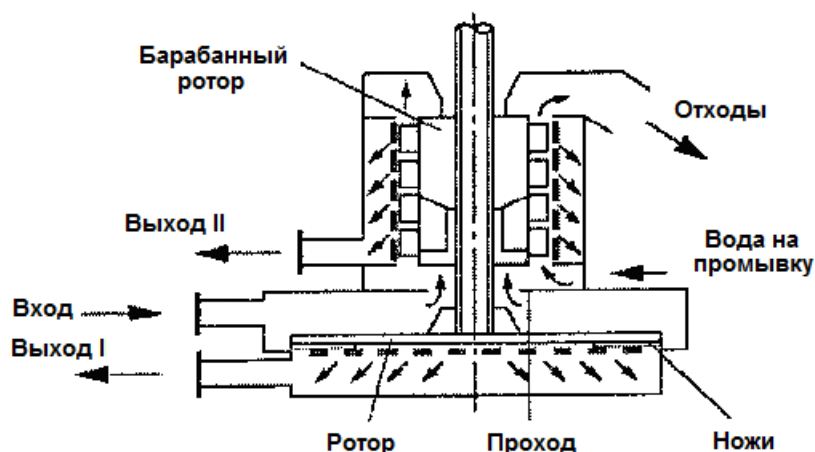


Рис. 5.12. Схема установки для грубого сортирования ММ

В этой сортировке нижняя часть работает при атмосферном давлении и выполняет роль дисковой сортировки для предварительного сортирования массы, а верхняя часть герметична и работает аналогично обычным сортировкам для грубого сортирования массы. Отходы, образующиеся после дисковой сортировки, разбавляются водой и подаются в верхнюю часть сортировки. Наблюдается высокая степень дефлокуляции пучков, что помогает снизить потери волокна. Обеспечиваются высокая концентрация отходов (сгущение) и высокая эффективность сортирования.

В состав данной системы не входит обычный вариант с использованием вибрационной сортировки, работающей под атмосферным давлением, поскольку при высоком содержании загрязнений и требовании

высокой производительности аппарата использование вибросортировок экономически не целесообразно.

5.2.3. Тонкое сортирование ММ

Цель тонкого сортирования – удаление из макулатурной массы мелких частиц включений и, в том числе, липких клеевых включений (данные об особенностях удаления клеевых частиц приведены в разд. 9.6, ч. III). Его производят для удаления оставшихся комочков и пучков волокон, а также других частиц включений, прошедших с ММ через сита сортировок на стадии грубого сортирования. Тонкое сортирование осуществляют часто после тонкой очистки в циклонных аппаратах, работающих при низкой концентрации массы.

Основным оборудованием для тонкого сортирования ММ являются цилиндрические напорные сортировки. Обычно в них концентрично расположенный ротор вращается внутри или снаружи сита. В отдельных конструкциях вращается цилиндрическое сито, а ротор неподвижен. Используются сортировки с двумя цилиндрическими ситами, между которыми вращается ротор. Оборудование для тонкого сортирования ММ выпускается рядом известных компаний: Valmet, Kadant Lamort, Voith, Andritz и др. Наблюдается тенденция разработки конструкций сортировок для тонкого сортирования, работающих при повышенной (до 3 %) концентрации ММ.

Сортировки для ММ типа СВП, выпускавшиеся АО «Петрозаводскмаш» (рис. 5.13), представляют собой традиционную конструкцию центробежной сортировки с вертикальным расположением вала ротора. Внутри цилиндрического корпуса установлена опора, в которой на подшипниках качения вращается вал. На верхнем конце вала закреплен ротор со специальными лопастями. Внутри, концентрично между ротором и корпусом, установлен неподвижный ситовый барабан с перфорацией в виде тонких щелей. Сверху корпус закрыт крышкой. Подача суспензии в нижнюю часть аппарата ограничивает возможность попадания тяжелых включений в зону сортирования, что сокращает опасность повреждения ротора и сита. Привод сортировки осуществляется от асинхронного двигателя. Производительность сортировки зависит от типоразмера, концентрации массы, типа и параметров сита и составляет от 40 до 600 т/сут по в.с. волокну. Массовая концентрация поступающей массы от 1 до 4 %, в зависимости от стадии сортирования. Массовая доля отходов сортирования – не более 20 % от поступающей суспензии.

Сортировка типа ModuScreen F фирмы Andritz применяется в системе FiberFlow для тонкого сортирования или фракционирования ММ. Данная сортировка оснащена цилиндрическим ситом со щелевыми отверстиями. Похожая сортировка модификации HBR также применяется для тонкого сортирования при низкой концентрации ММ. В ее конструкции используется приточное устройство типа inflow, позволяющее более эффективно удалять

липкие загрязнения. Особенность этого устройства состоит в том, что тяжелые частицы включений и липкие вещества удаляются в верхней части корпуса сортировки и не поступают в зазор между ротором и ситом. Это позволяет избежать повреждения сита и ротора, тем самым увеличивая срок их эксплуатации.

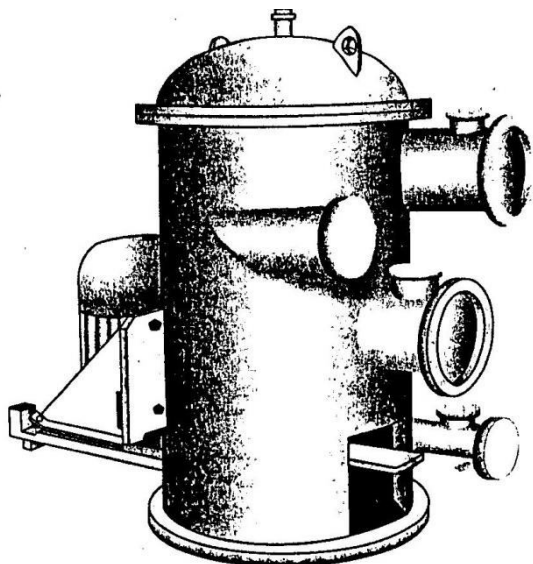


Рис. 5.13. Внешний вид сортировки волокнистых полуфабрикатов типа СВП

Сортировка типа OptiScreen FS фирмы Valmet оснащена устройством LiteFlo для удаления легких отходов и сортирующим ситом со специальным профилем щелей. Данные сортировки снабжаются роторами с гидропланками, предназначенными для сортирования ММ при средней или низкой концентрации. Аналогичная сортировка типа MultiScreen MSS фирмы Voith представлена на рис. 5.14.

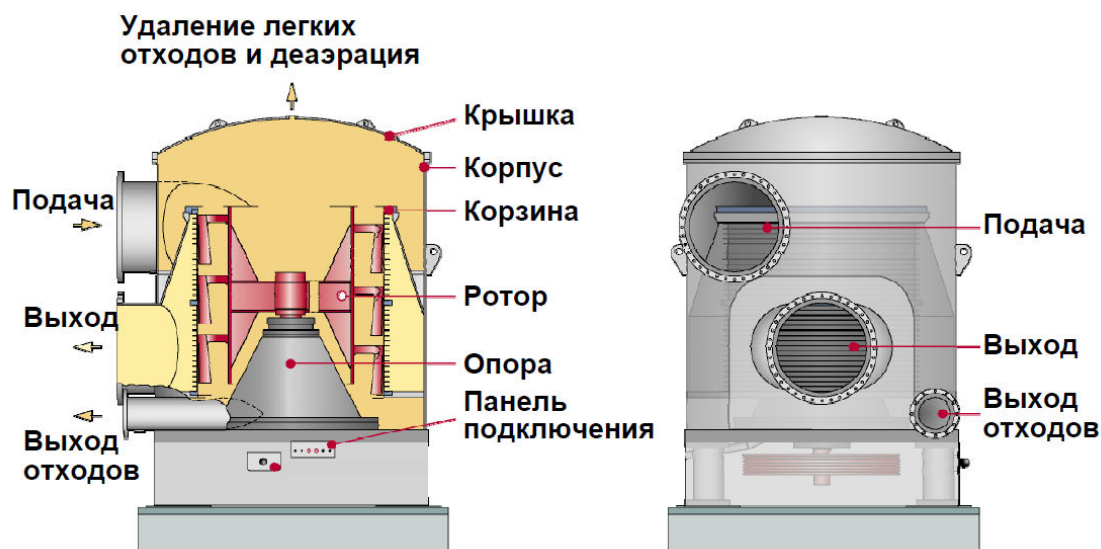


Рис. 5.14. Сортировка MultiScreen MSS фирмы Voith

Сортировка типа Ultra-V фирмы Kadant Lamort обладает высокой эффективностью при удалении частиц легких примесей и воздуха из ММ. В сортировке применяются роторы различного типа.

Упомянутая выше сортировка CellesoScreen фирмы GL&V, применялась и для тонкого сортирования, а также и для фракционирования при использовании соответствующих сит. Масса поступает в приемную камеру сортировки тангенциально. Под действием центробежных сил тяжелые включения отбрасываются к стенке камеры и собираются в камере отходов, что предотвращает повреждение сита. Вода для разбавления массы и транспортировки отходов подается внутрь ротора аппарата. Конусная конструкция сита облегчает осевое движение загрязнений вдоль сита, что повышает качество сортирования ММ.

Как уже отмечалось, подавляющее большинство сортировок работают под давлением с использованием центробежной силы, т.е. с движением сортируемой массы изнутри наружу через отверстия неподвижного сита. Альтернативой таким сортировкам может служить сортировка типа SPH компании Kadant Lamort. В ней реализуется движение массы от периферии сита сортировки к ее центру.

Новые конструкции сортировок фирмы Kadant Lamort, оснащенные специальным ротором и профилированным ситом со щелями шириной $0,10 \div 0,15$ мм, способны работать с массой более высокой концентрации (до 3 %), чем для обычных сортировок тонкого сортирования. Это дает возможность разместить шлицевые сортировки в любом месте системы обработки массы, а не обязательно на участке низкой концентрации вблизи вихревых очистителей. Кроме того, сортирование при повышенной концентрации массы – это сокращение ее объема, проходящего через систему, что уменьшает УРЭ, затраты на бассейны, трубопроводы и насосы.

На заключительной ступени тонкого сортирования для промывки отходов часто используются сортировки типа Reject Sorter и MiniSorter фирмы Voith. Сортировки оснащены ситами с шириной щелей 0,15 мм специальной формы профиля.

В последнее время получают распространение многозонные и многоступенчатые сортировки для тонкого сортирования ММ. Такие сортировки представляют собой компактный аппарат, позволяющий существенно сократить число сортировок и вспомогательного оборудования, т.е. капитальные и эксплуатационные затраты. Отмечается также значительное снижение УРЭ при достаточной эффективности сортирования.

В качестве примера рассмотрим разработанную фирмой Kadant Lamort трехзонную щелевую напорную сортировку Screen One (рис. 5.15). Она не требует дополнительных вспомогательных устройств, больших вложений и характеризуется низким потреблением энергии. Сортировка может использоваться для тонкого сортирования ММ при концентрации менее 3 %, после очистки от тяжелых включений. Сортировка состоит из вертикального

цилиндрического корпуса, внутри которого концентрично располагаются ситовая корзина и ротор. Она имеет тангенциально расположенный входной патрубок, патрубки для вывода тяжелых и легких отходов, три патрубка для разбавления отходов сортирования водой и три патрубка для выхода очищенной массы.

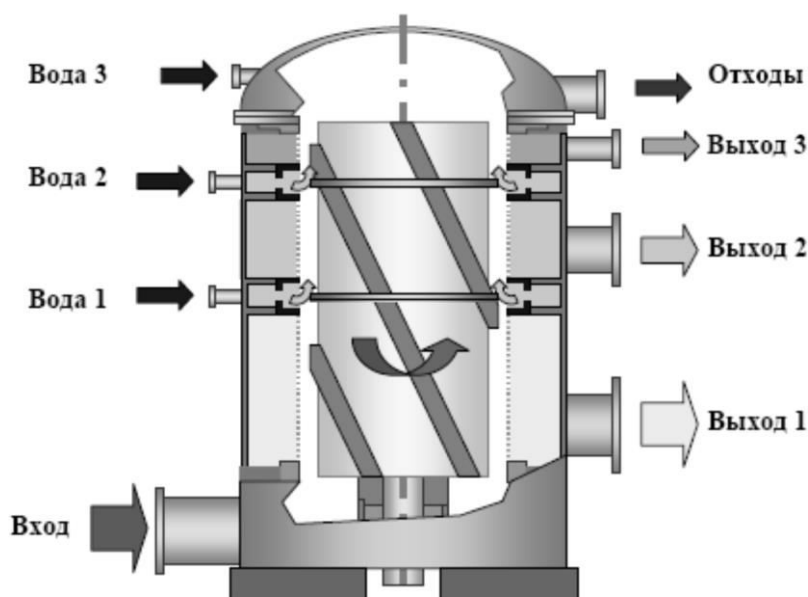


Рис. 5.15. Схема работы трехзонной щелевой напорной сортировки Screen One

Движение массы в сортировке направлено снизу вверх. Отсортированная масса из нижней зоны направляется на выход, а отходы вместе с частью массы, после разбавления водой, поступают на сортирование в среднюю зону. Отходы сортирования из средней зоны поступают, после разбавления, в верхнюю зону сортирования. Очищенная масса из средней и верхней зон возвращается в бассейн массы, а затем вновь сортируется. Отходы из верхней зоны сортирования разбавляются оборотной водой и удаляются из системы.

Разработанная той же фирмой многозонная щелевая сортировка типа MZ (MultiZone), состоит из 2÷3 секций, каждая из которых снабжена индивидуальным подводом ММ, выходами очищенной массы и отходов. Ротор сортировки имеет специальные гидропланки, а ширина щелей сита составляет 0,15 мм. Волокнистая суспензия подается в нижнюю часть сортировки, поступает внутрь полого ротора и направляется в зону сортирования. Легкие включения удаляются через верхнюю часть аппарата. Отдельные отводы отходов из каждой зоны сортирования ММ сокращают продолжительность их контакта с поверхностью сита, что снижает вероятность попадания их в сортированную массу. Достоинством данной сортировки является возможность обработки массы повышенной концентрации (более 3 %). Эти сортировки могут использоваться в режиме фракционирования для разделения массы на длинно- и коротковолокнистую фракции.

Многозонные сортировки даже при ширине щелей, равной 0,15 мм, способны работать при более высокой концентрации ММ (до 3 % и более), чем обычные сортировки со щелями шириной 0,25÷0,30 мм. Это в значительной мере повышает эффективность сортирования массы.

5.3. СХЕМЫ СИСТЕМ СОРТИРОВАНИЯ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

На производствах, перерабатывающих макулатуру, требуемую степень удаления включений осуществляют как подбором эффективного набора сортировок, так и выбором технологической схемы сортирования, руководствуясь при этом следующими факторами:

- требования, предъявляемые к степени чистоты ММ и обеспечению наименьших потерь годного волокна с отходами;
- вид и характер сортируемой ММ, степень ее загрязненности, характеристика загрязнений, количество массы, подлежащей сортированию;
- требование надежного удаления отходов и возможность их дальнейшей утилизации, во избежание циркуляции отходов и накопления загрязнений в потоке.

Сортирующее оборудование любой конструкции делит поступающую массу таким образом, что в кондиционный поток попадает некоторое количество посторонних включений, а с потоком отходов уходит часть кондиционного волокна. Нежелательные последствия этой особенности процесса сортирования можно свести к минимуму рациональной организацией технологической схемы.

Так, для повышения эффективности сортирования кондиционный поток можно последовательно пропускать через несколько сортировок, а для уменьшения потерь кондиционного волокна – дополнительно сортировать поток отходов. Серьезным недостатком схемы с последовательной установкой нескольких сортировок является потеря большого количества кондиционного волокна с потоком отходов. В системах такого сортирования волокна бывает рационально применение сочетания различных типов последовательно устанавливаемых сортировок, что обеспечивает удаление из массы включений разных размеров. Предпочтение отдается тем типам сортировок, которые наиболее эффективно удаляют загрязнения, отсутствие которых необходимо, в первую очередь, в связи с требованиями следующих этапов производства.

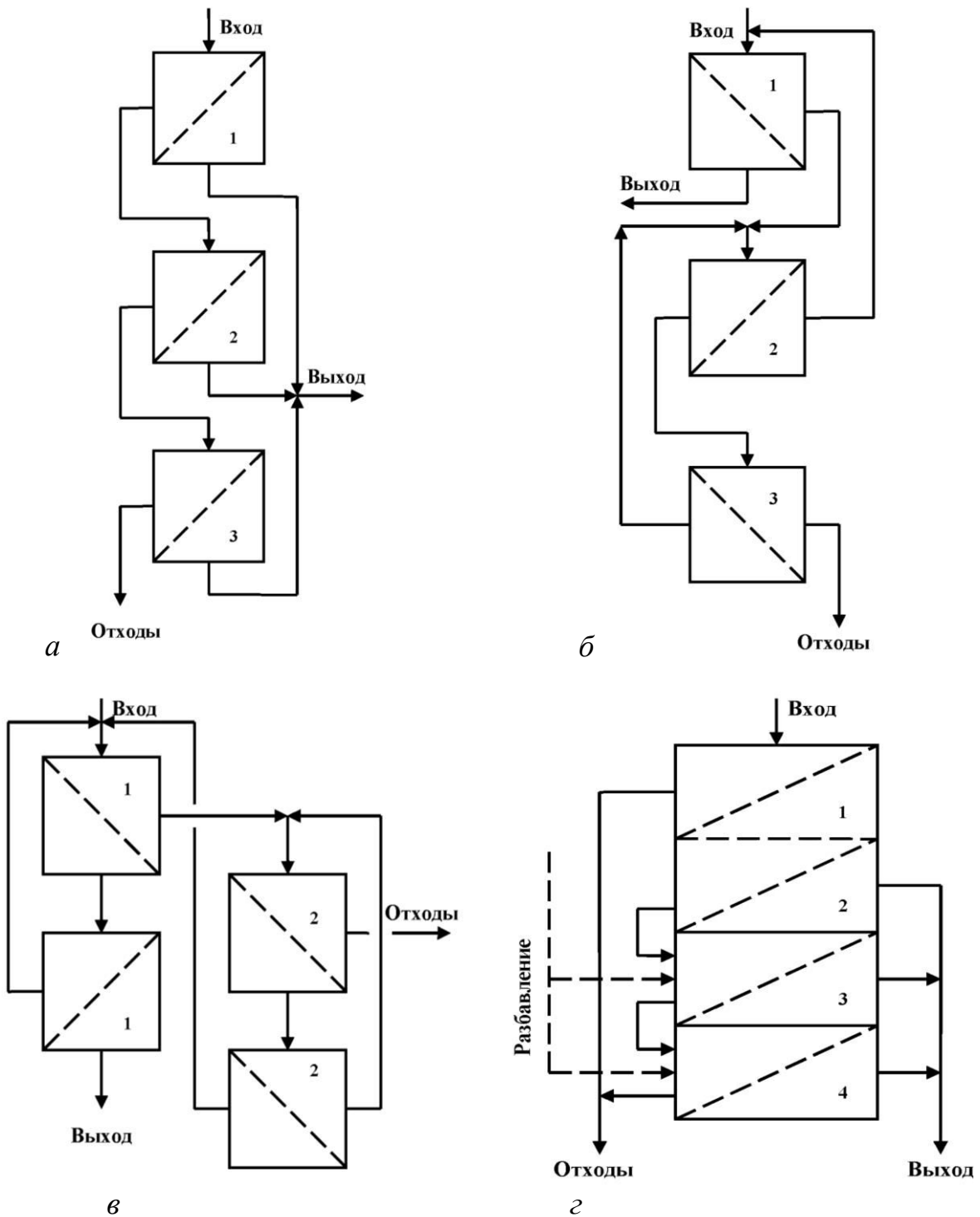
Эффективность сортирования ММ и работоспособность системы могут быть повышены при оснащении отдела сортирования контрольно-измерительными приборами и системой автоматизации, позволяющими контролировать и регулировать содержание загрязнений или пригодного волокна в потоках массы.

При разработке схем следует предусмотреть:

- возможность регулирования расходов и давлений в потоках сортируемой массы и отходов;

- возможность полного или частичного отвода массы, минуя одну или нескольких сортировок (байпасная линия);
- возможность циркуляции фракции кондиционного волокна, минуя дополнительные сортировки.

На рис. 5.16 представлены некоторые наиболее распространенные схемы сортирования ММ. Многоступенчатость сортирования используют преимущественно на стадии тонкого сортирования.



- Рис. 5.16. Типичные блок-схемы сортирования макулатурной массы:
- а – прямая каскадная схема сортирования;
 - б – псевдокаскадная схема сортирования;
 - в – схема последовательного двойного сортирования;
 - г – многоступенчатая сортировка

Прямая каскадная схема

Наиболее простой и часто используемой является прямая каскадная схема тонкого сортирования (см. рис. 5.16а).

Принцип работы такой схемы состоит в том, что вначале вся масса поступает на первую ступень сортирования. Отсортированная масса после первой ступени направляется в производство, а отходы, после разбавления, – на вторую ступень сортирования и т.д. Количество ступеней системы определяется, в первую очередь, исходной степенью загрязненности макулатуры перед сортированием. Отходы после последней ступени сортирования отправляются на утилизацию. Число сортировок на каждой ступени определяется объемом потока сортируемой массы. Каскадное подключение сортировок позволяет снизить потери волокна с отходами последней ступени сортирования, которые выводятся из системы. В случае недостаточной производительности сортировки первой ступени используют схему прямого сортирования, в которой годное волокно с первой, второй и третьей ступеней объединяется. Однако в этом случае сорность годного волокна может увеличиться.

Недостатками данной схемы являются необходимость повышенной производительности сортировок на первой ступени, отделение преимущественно одного вида загрязнений и все более тяжелые условия работы сортировок на второй и последующих ступенях сортирования.

Псевдокаскадная схема

На рис. 5.16б показана многоступенчатая схема системы с применением принципа «косвенного» или псевдокаскадного (каскадного с рециклами) тонкого сортирования. В этом случае отсортированная в первой ступени сортирования масса возвращается в предшествующую ступень. Применение нескольких ступеней сортирования рекомендуется в тех случаях, когда объем отходов после первой ступени составляет $18 \div 20$ % и выше.

На последующих ступенях сортирования устанавливают сортировки с различными ситами, имеющими круглые или шлицевые отверстия, что обеспечивает улавливание разных видов загрязнений. Замыкание потока отсортированной массы снижает пропускную способность системы в целом и поэтому требует большего числа сортировок, чем в прямом каскаде, или увеличения их мощности. Однако применение метода «косвенного» сортирования допускает более высокое содержание доли загрязнений в

потоке сортированной массы второй ступени. Это позволяет применять сита с отверстиями больших размеров и уменьшить количество отходов после второй ступени сортирования. При выборе размеров отверстий сит исходят из условия, чтобы содержание загрязнений в отсортированной массе после второй ступени было не больше содержания их в массе, поступающей на первую ступень сортирования. В этом случае условия работы сортировок будут сохраняться, причем качество отсортированной массы не ухудшится. То же самое относится и ко всем последующим ступеням сортирования.

Схема последовательного двойного сортирования

Одним из наиболее эффективных способов повышения качества сортирования является принцип двойного сортирования (см. рис. 5.16в). На первой ступени сортирования устанавливают последовательно два различных типа сортировок, и поток сортируемой массы последовательно проходит через них. В этом случае наиболее полно отделяются различные виды загрязнений. Обычно в сортировках первой ступени используют сита с круглыми, – а на второй ступени сита со щелевыми отверстиями.

Многоступенчатые сортировки

С увеличением количества ступеней в схемах сортирования возрастает потребность в насосах, трубопроводах, промежуточных емкостях. Поэтому в системах сортирования иногда применяют многоступенчатые сортировки, например, MultiScreen, в которых в одном корпусе конструктивно объединены 2÷3 ступени тонкого сортирования с устройством предварительной очистки (см. рис. 5.16г). Масса с минимальным давлением подается в сортировку аксиально на перфорированную сортирующую плиту, где происходит удаление посторонних включений больших размеров. Далее масса в корпусе установки последовательно проходит две ступени тонкого сортирования.

Многоступенчатые сортировки типа OptiScreen фирмы Valmet (см рис. 5.16г) дают возможность эффективного управления движением потоков сортированной массы, отходов и воды для их разбавления. Сортируемая масса подается в верхнюю часть аппарата для уменьшения перепада давления в сортировке. Сортировка оснащена перфорированным ситом для предварительного удаления крупных включений. Тонкое сортирование производится на второй, третьей и четвертой ступенях через щелевые сита.

5.4. ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Известно, что в результате повторных циклов переработки макулатурного материала нарастает доля мелких волокон, длиной менее 0,2 мм, обрывков и другой мелочи (скопа) в общем составе вторичного волокна

(см. табл. 3.2, разд. 3.1, ч. I). Значительную роль в образовании мелких фракций волокна играет процесс размола, при котором происходит основное измельчение волокон. Избыток мелкой фракции в массе приводит к повышению градуса помола, затруднению процессов обезвоживания на БДМ (в том числе из-за забивания сеток и сукон) и, в результате, к необходимости снижения скорости (или останова) машин. Кроме того, снижаются показатели качества продукции. Это связано с тем, что, как уже отмечалось, у коротких волокон потенциал восстановления бумагообразующих свойств гораздо ниже, чем у длинных.

Макулатура после отпуска, очистки и сортирования представляет собой массу, содержащую различные фракции волокна. В результате сортирования массы происходит некоторое уменьшение содержания в ММ длинноволокнистой фракции волокон, за счет удержания их на сите сортировки, и возрастание доли короткой фракции. Однако следует иметь в виду, что в настоящее время отсутствует нормативная градация размеров различных фракций волокон для отнесения их к категории длинных, средних или коротких.

В табл. 5.2 представлены возможные размеры отдельных частиц твердых фракций в ММ.

Таблица 5.2

Размеры частиц компонентов ММ

Компоненты ММ	Размер частиц, мкм
Наполнитель	0,3 – 5,0
Частицы меловальных покрытий	менее 60
Частицы печатной краски	0,5 – 500
Фракция обрывков волокон	менее 200
Фракция коротких волокон (длина)	120 – 400
Фракция длинных волокон (длина)	более 400

Как показывает практика, для нормальной работы производства требуется ММ определенного и стабильного фракционного состава по волокну. Поэтому для возможности улучшения качества и повышения эффективности использования макулатурного волокна целесообразно разделять его по крайней мере на две фракции (фракционировать): длинноволокнистую фракцию (ДВФ) и коротковолокнистую фракцию (КВФ). Затем возможны следующие стадии дальнейшей переработки ММ:

- смешение разделенных фракций в оптимальных соотношениях;
- раздельное использование каждой фракции волокон в качестве самостоятельного полуфабриката;
- дополнительная обработка ДВФ.

Оптимальное соотношение смеси различных фракций в составе волокна ММ определяется технологическими требованиями производства при выпуске той или иной продукции. На практике этот вариант применяется нечасто из-за неизбежных дополнительных потерь волокна.

Раздельное использование фракций целесообразно при выработке различной продукции на одном предприятии. Например, фракция с повышенным содержанием длинных волокон более пригодна для производства картона, для гладких слоев гофрированного картона, а фракцию с повышенным содержанием коротких волокон целесообразнее использовать для производства бумаги для гофрирования. Раздельное использование целесообразно также при выпуске многослойного картона.

Дополнительная обработка ДВФ дает возможность значительно улучшить качество ММ. ДВФ подвергают дополнительной тепловой, химической или механической обработке (размолу). Затем ее либо возвращают в общий поток массы, либо используют как самостоятельный полуфабрикат.

Для примера, в табл. 5.3 приведены результаты фракционирования макулатурной массы марки МС-5Б в напорной сортировке СНС-05-50 на сите с отверстиями диаметром 1,8 мм.

Таблица 5.3

Характеристики фракционированной массы

Проба	Концентрация массы, %	Степень помола, °ШР	Средняя длина волокна, дг (мм)	Доля фракций (по массе), %
Масса перед сортировкой (вход)	3,1	31	118 (2,25)	100
Масса, прошедшая через сито (КВФ)	1,5	31	89 (1,9)	33,1
Масса, не прошедшая через сито (ДВФ)	4,4	21	185 (3,7)	66,9

Основные цели фракционирования:

- 1) создание возможности повышения качественных (прочностных) характеристик продукции;
- 2) сокращение затрат на процесс размолу ММ за счет раздельной обработки фракций, либо раздельного использования КВФ и ДВФ;
- 3) снижение доли мелкой фракции, образующейся дополнительно при размолу нефракционированной ММ;

4) фракционирование ММ, в отдельных случаях, может служить альтернативой или заменителем рассмотренных выше (см. разд. 2.2, ч. I) процессов сортирования макулатуры по маркам.

Чаще всего фракционирование применяют в схемах подготовки макулатуры из использованной картонной тары (МС-5Б, МС-6Б). Экономическая эффективность фракционирования наступает при объемах переработки макулатуры не менее 50 000 т/год при выпуске многослойной продукции (тест-лайнер, коробочный картон и др.). Непременным условием эффективности процесса фракционирования является хорошее разволокнение макулатуры и максимальное удаление из массы посторонних включений.

5.4.1. Оборудование для фракционирования ММ

Как уже отмечалось, фракционирование является разновидностью сортирования, поэтому для его осуществления используют различные сортировки. Наиболее распространены напорные сортировки различного типа с цилиндрическими ситами, имеющими круглые отверстия диаметром 1,2÷1,8 мм или щелевые – шириной от 0,1 до 0,25 мм. В зависимости от качества макулатуры и требований производства, количество «отходов» в сортировке, т.е. ДВФ, составляет от 40 до 50 % объема поступающей массы. При удалении из массы 20÷30 % мелочи и короткого волокна обычно на 10÷20 °ШР снижается степень помола и примерно на 40÷50 % возрастают прочность на разрыв и сопротивление продавливанию оставшейся массы после размола.

Среди отечественных сортировок для процесса фракционирования наиболее приемлемы вертикальные напорные сортировки типа СНС, СЦ, СЦР, СВП и др. Из сортировок зарубежных фирм – сортировки DeltaScreen (Sunds Defibrator), OptiScreen (Valmet) и др.

Для фракционирования макулатурной массы АО «Петрозаводскмаш» выпускал фракционатор ФВП-1,0 (рис. 5.17). Он представляет собой традиционную сортировку с вертикальным расположением вращающегося вала. На верхнем конце вала закреплен ротор со специальными лопастями. Между ротором и корпусом концентрично установлено неподвижное цилиндрическое сито с круглой или щелевидной перфорацией. Его реальная производительность зависит от вида макулатуры, степени ее загрязненности, концентрации массы, типа и параметров сита и требований к конечному продукту. Проектная производительность равна 200 т/сут по в.с. волокну. Концентрация поступающей массы 2÷5 %.

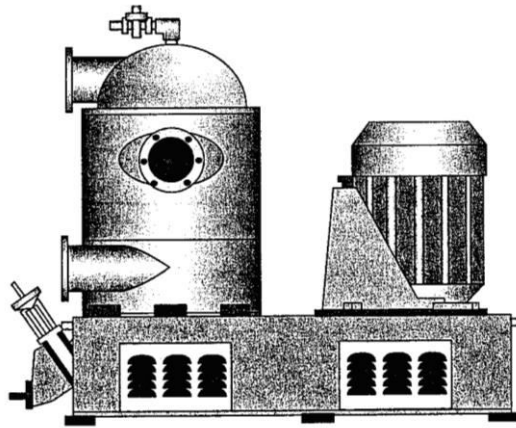


Рис. 5.17. Общий вид фракционатора волокнистых полуфабрикатов ФВП-1,0

В качестве фракционатора можно использовать аппарат типа отделителя волокна ОВ-6. Его работа происходит следующим образом. Подаваемая через коллектор волокнистая масса через распылительные сопла впрыскивается на неподвижную синтетическую сетку. При этом мелкое волокно проходит через отверстия сетки внутрь корпуса и удаляется через центральный патрубок, а длиноволокнистая фракция задерживается сеткой. Благодаря специальной конструкции ситочных рам и вибрациям, создаваемым пульсацией струи массы, задерживаемые длинные волокна сваливаются в боковые отсеки корпуса, откуда уже самотеком двигаются к выпускным патрубкам.

Аналогичный принцип используется во фракционаторах типа Celleco Screen, а также во фракционаторе типа Spray Filter фирмы Krofta (рис. 11.2, ч. III), где масса под давлением через специальные сопла подается на вертикальную сетку. В камере за сеткой создается вакуум, благодаря которому фильтрат, содержащий мелкое волокно (КВФ), проходит и удаляется. Длинноволокнистая фракция под действием сил тяжести опускается вниз и собирается в бассейн.

Как уже отмечалось (см. п. 5.2.3), сортировки типа ModuScreen TM F фирмы Andritz применяются в системе FiberFlow для фракционирования ММ. Данная сортировка оборудована цилиндрическим ситом с шириной щелей до 0,15 мм. После фракционирования ДВФ подвергается тонкому сортированию последовательно в несколько ступеней на сортировках с размером щелей 0,2 мм.

Оригинальным устройством для фракционирования являются сортировки с изогнутым стержневым ситом, выпускаемые фирмой Celleco (рис. 5.18). Сортировки данного типа не имеют движущихся элементов и легки в техобслуживании. Изогнутую поверхность сита образуют клинообразные стержни со щелями между ними. Ширина щелей в модели S составляет 0,35 мм, а в модели TS – 0,15 мм. Различие сортировок S и TS заключается в способе подачи массы на сито.

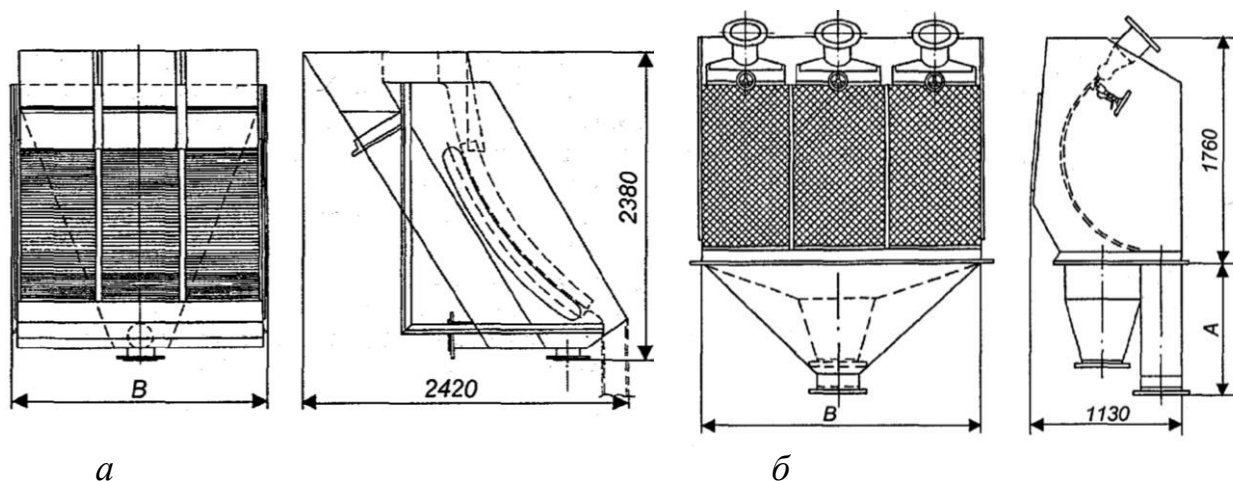


Рис. 5.18. Щелевые сортировки с изогнутым ситом Celleco:
a – типа S; *б* – типа TS

В сортировке S масса поступает в загрузочное устройство, из которого самотеком поступает на сито. Это ограничивает производительность в пределах $0,5 \div 1,0$ т/сут в.с. волокна. В сортировке TS суспензия подается под давлением через сопло, которое распределяет поток тангенциально по всей ширине сита. Их производительность составляет от 0,7 до 3,0 т/сут в.с. волокна.

При течении суспензии волокна на сите ориентируются, в основном, по направлению потока, поэтому часть волокон, размер которых превышает ширину щели, будет задерживаться на поверхности сита и затем выгружаться при концентрации массы $3 \div 4$ %. Вода с мелкими частицами волокна (КВФ) будет проходить через щели между стержнями. При нормальной работе сито обеспечивает постоянное беспрепятственное движение потока. В случае забивания оно легко очищается струей воды даже без остановки работы. Максимальная эффективность работы изогнутого сита достигается при наличии острой верхней кромки стержней, сталкивающейся с потоком. Такие сортировки можно использовать также для сгущения отходов сортирования и удаления частиц клея и краски при промывке.

Фирма GL&V рекомендует осуществлять фракционирование массы с одновременной промывкой на барабанном сгустителе типа FDW, после тонкой очистки в гидроциклонах (разд. 6.2). При сгущении MM до концентрации $6 \div 7$ % отделяется, в основном, ДВФ, которая направляется на дальнейшую обработку. Фильтрат вместе с КВФ подают на наклонные сита для улавливания волокна. Фильтрат после сит подвергается дополнительной очистке на установке для микрофлотации DAF.

Имеется опыт фракционирования волокна MM в гидроциклонах. При этом более длинные грубые волокна с меньшей удельной площадью поверхности (ДВФ) сосредотачиваются в нисходящем потоке, а мелкие, хорошо размолотые волокна и легкие загрязнения с большой удельной площадью (КВФ) – в восходящем потоке циклона.

Известны и другие конструкции фракционаторов, например, созданные на базе промывных устройств типа DSM-120 (фирма «Dorr-Oliver»). Их сортирующая поверхность образована элементами со шлицевыми отверстиями.

Фактически, на каждом этапе сгущения ММ попутно происходит частичное фракционирование ее волокон за счет уноса с фильтратом некоторой доли мелких волокон и частиц наполнителя. Во избежание накопления мелочи в оборотной воде системы подготовки макулатурной массы следует:

1) оборот воды, содержащей мелочь, замыкать с основным потоком массы только после обработки основного потока в размалывающем оборудовании. Это позволит исключить дополнительное измельчение мелких волокон и затраты энергии на их размол;

2) выводить часть мелкой фракции из производственного оборота и утилизировать ее путем сжигания, использования в сельском хозяйстве или в других отраслях промышленности.

5.4.2. Технологические схемы фракционирования ММ

На рис. 5.19 показана одна из возможных технологических схем тонкого трехступенчатого сортирования – фракционирования массы в процессе подготовки макулатурного волокна, полученного из использованного гофрокартона для производства двухслойного коробочного картона. Применение такой технологии позволяет упростить и сократить схему подготовки массы.

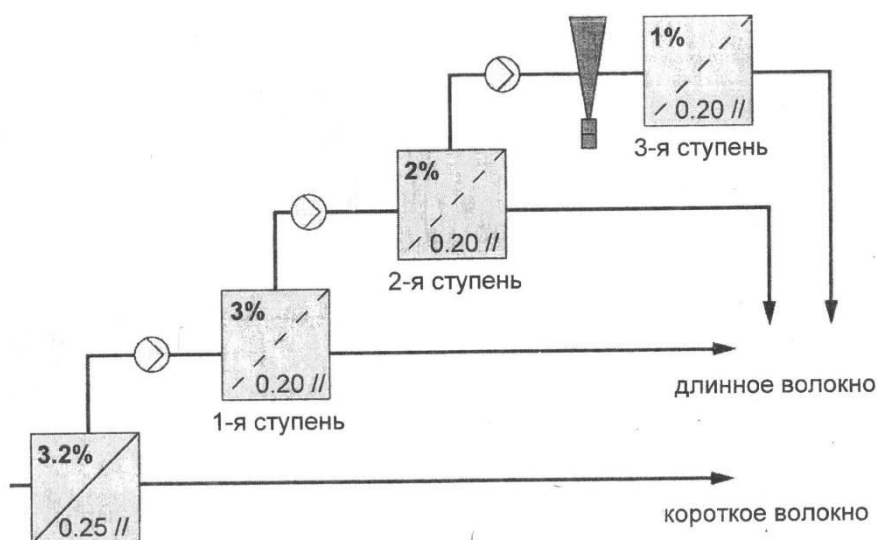


Рис. 5.19. Блок-схема трехступенчатого сортирования (фракционирования) волокнистой массы

Дальнейшим совершенствованием схем подготовки ММ является дополнительная ступень фракционирования ДВФ и включение ступени

промывки КВФ (рис. 5.20). Сначала осуществляется фракционирование ММ в две ступени: на первой ступени отделяется КВФ (SF), на второй – ДВФ (LF). КВФ и средневолокнистая фракции СВФ (MF) направляются на промывку и сгущение.

Двойное фракционирование позволяет дополнительно сократить затраты на обработку ММ, так как диспергированию не подвергается не только КВФ, но и средневолокнистая фракция. Разделение на три фракции повышает степень гибкости технологии подготовки ММ. Фракции можно сочетать в различных пропорциях и комбинациях, в зависимости от требований к конечному продукту: обычно КВФ используется для верхнего слоя картона, СВФ – для верхнего и среднего слоя, ДВФ – для нижнего слоя.

Технологическая схема (рис. 5.21) со ступенью промывки КВФ часто применяется в случае повышенной зольности макулатурного сырья (рис. 5.21). Промывка КВФ позволяет значительно снизить зольность. Фильтрат от промывки КВФ подвергается очистке на установке микрофлотации с последующим повторным использованием в технологическом процессе.

При размоле фракционированной ММ для КВФ рекомендуется использовать преимущественно фибриллирующий режим размола, а для ДВФ – преимущественно рубяще-режущий режим (подробнее об этих режимах см. разд. 7). Это позволит эффективнее восстанавливать бумагообразующий потенциал КВФ и использовать в качестве жесткого каркаса структуры бумажного полотна более прочную ДВФ.

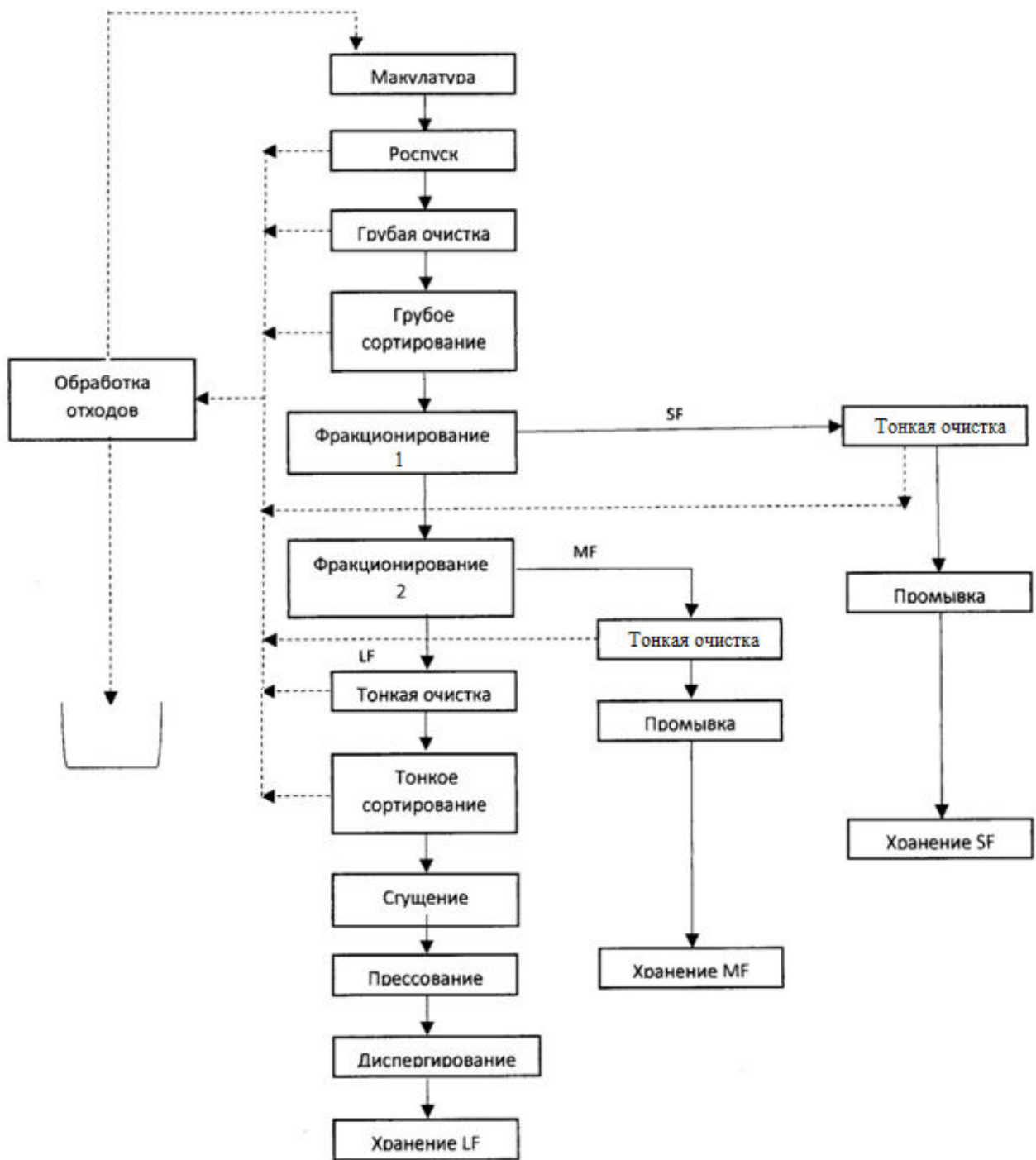


Рис. 5.20. Блок-схема подготовки ММ с двойным фракционированием: SF – коротковолокнистая фракция; MF – средневолокнистая фракция; LF – длиноволокнистая фракция

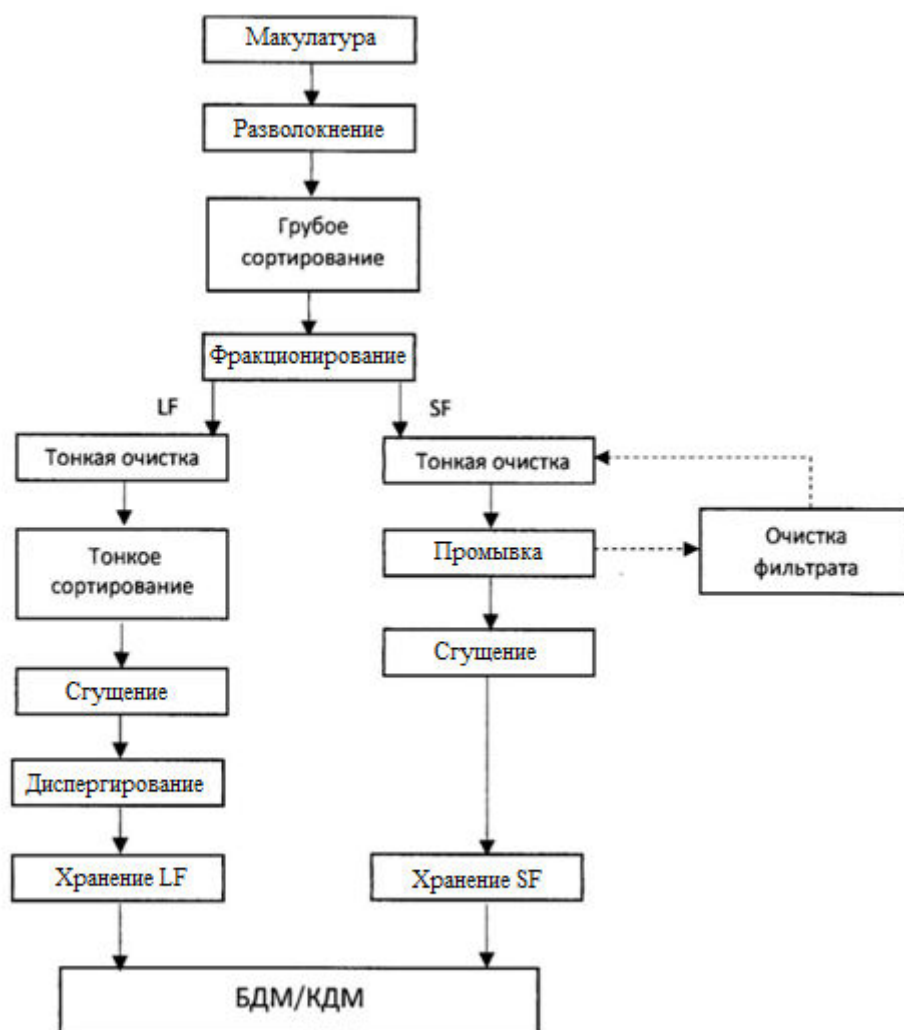


Рис. 5.21. Блок-схема подготовки ММ с промывкой коротковолокнистой фракции:

LF – длиноволокнистая фракция; SF – коротковолокнистая фракция

5.5. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СОРТИРОВАНИЯ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Среди мер, позволяющих повысить эффективность процесса сортирования, отметим следующие.

1. Перед сортированием необходима обязательная (первичная) очистка ММ на вихревых очистителях с целью удаления включений абразивного характера (песок, стекло, металл и т.д.).

2. Так как эффективность сортирования зависит от размеров удаляемых частиц (чем они больше, тем удаление лучше), при подготовке массы следует подбирать оборудование, которое меньше измельчает частицы, подлежащие удалению путем сортирования.

3. Конструкции сит и роторных узлов сортировок следует выбирать в зависимости от размера, форм и деформируемости удаляемых загрязнений.

Оптимизацию работы сортировки следует осуществлять выбором конструкции как сита, так и ротора.

4. Установлено, что эффективность сортирования на сортировках обратно пропорциональна скорости движения массы через отверстия сортирующего сита. Поэтому эффективность сортирования может быть повышена за счет максимального использования всех отверстий или увеличения площади живого сечения сита.

5. При сортировании ММ с целью удаления клеевых частиц в условиях низкой концентрации можно обеспечить щадящее воздействие на массу за счет снижения скорости вращения ротора и, как следствие, снижения усилий сдвига. Именно поэтому не происходит интенсивного измельчения клеевых частиц, и они более эффективно отделяются на ситах сортировок (см. разд. 9.6.2, ч. III).

Список приведенных мер для повышения эффективности сортирования ММ постоянно расширяется за счет совершенствования технологии процесса сортирования и конструкции сортировок.

Развитие технологии сортирования может, в перспективе, позволить сохранить очистку массы в схемах подготовки макулатурного волокна только на грубой стадии и отказаться от тонкой очистки. Использование в сортировках щелевых сит и усовершенствованных типов роторов дало возможность на отдельных технологических линиях переработки макулатуры из использованного тарного картона (марок МС-5Б и МС-6Б) отказаться от процессов термодисперсионной обработки за счет достаточно равномерного распределения клейких включений в массе.

6. ОЧИСТКА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

После роспуска и предварительного сортирования в ММ содержится значительное количество тяжелых и легких нежелательных посторонних включений (загрязнений) различной плотности, формы и размера, которые необходимо удалить из волокнистой суспензии и утилизировать. Для этого в технологических схемах подготовки ММ предусматривают процесс очистки массы. Очистку ММ производят с помощью вихревых конических очистителей (гидроциклонов).

Для эффективного удаления указанных включений при очистке плотность частиц должна заметно отличаться от плотности воды, а размер и форма частиц включений – от волокнистой компоненты суспензии. Очистка может быть грубая или тонкая, в зависимости от места расположения ее в технологической схеме переработки макулатуры и от параметров удаляемых включений.

Размер частиц включений, находящихся в ММ перед очисткой, зависит от величины диаметров отверстий сита в гидроразбивателе или в дисковой сортировке. Очистка ММ от частиц липких веществ возможна при условии, что размеры этих частиц достаточно велики, а плотность их несколько отличается от плотности воды.

Среди требований к свойствам частиц, определяющим эффективность их удаления с помощью очистителей, наиболее существенными являются:

Плотность частиц. Она должна значительно отличаться от плотности воды. Данные о плотности частиц некоторых веществ включений в макулатуре приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Плотность загрязнений в макулатурной массе

Загрязнения	Плотность, г/см ³
Металл	6,00÷9,00
Песок	2,00÷2,20
Глина, мел	1,80÷2,60
Печатная краска	1,20÷1,60
Асфальт (битум)	1,04÷1,10
Полистирол	0,95÷1,10
Горячие расплавы	0,95÷1,10
Полиэтилен	0,91÷0,97
Латекс, каучук	0,90÷1,10
Адгезивы, чувствительные к давлению	0,90÷1,10
Воск, парафин	0,90÷1,00
Стироформ (теплоизолирующий пенопласт)	0,30÷0,50

Размеры частиц. Более крупные частицы в процессе очистки при сопоставимой плотности имеют больше шансов быть удаленными из массы, чем мелкие. Например, удаление из ММ частиц наполнителя размером более 30 мкм происходит успешно, а частицы размером порядка 3 мкм практически не удаляются.

Форма частиц. Частицы сферической и объемной формы удаляются лучше, чем плоские или нитевидные.

Обязательным условием нормальной очистки массы в гидроциклоне является высокая степень роспуска макулатуры, а также минимальное содержание в ММ пучков и узелков волокон.

6.1. СУЩНОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Очистка подразделяется на грубую и тонкую, в зависимости от расположения соответствующего оборудования в технологической схеме переработки макулатуры и от размеров посторонних включений, присутствующих в ММ.

Гидроциклоны работают по принципу противотока или прямотока, в соответствии с направлением потоков отходов и очищенной массы по отношению к направлению поступающей на очистку массы.

В циклонах, работающих по принципу противотока, подача загрязненной массы и выход очищенной расположены в верхней части циклона. Отверстие для вывода отходов расположено в нижней части гидроциклона. В редко встречающихся циклонах, работающих по принципу прямотока, направление потоков очищенной массы и отходов совпадают. Такие аппараты называют также реверсивными, или обратными.

Процесс очистки в обычных противоточных циклонах происходит следующим образом. При подаче потока волокнистой суспензии, подаваемого насосом во входное отверстие, расположенное по касательной к корпусу гидроциклона, происходит закручивание потока и возникает центробежная сила. Расположение и геометрические параметры входного отверстия аппарата и давление насоса должны обеспечить создание вращающегося потока массы.

Под действием центробежной силы тяжелые частицы по спиральной траектории направляются из центральной части корпуса гидроциклона к периферии. Торможение суспензии на стенках гидроциклона постепенно снижает скорость ее движения. Для сохранения необходимой скорости потока величина диаметра циклона обычно уменьшается по направлению к нижней части корпуса. Поэтому большинство гидроциклонов имеет верхнюю часть корпуса цилиндрической формы, а нижнюю – конической. Отделенные тяжелые частицы включений удаляются через отверстие для отходов в нижней части корпуса вместе с небольшим количеством суспензии (для тонкой очистки это 3÷10 % от поступающей массы).

Легкие частицы загрязнений при круговом движении массы движутся в радиальном направлении к центру аппарата. При очистке ММ от частиц легких включений вывод очищенной массы осуществляется через нижнее выпускное отверстие, а отходы – через отверстие в верхней части аппарата. В реверсивных циклонах удаление легких отходов производится с некоторой частью волокон (от 1 до 5 % от поступающей массы) – через отверстие для вывода отходов, находящееся в верхней части аппарата.

В связи с совершенствованием технологии сортирования ММ с применением щелевых сит, в последнее время гидроциклоны для удаления легких загрязнений из ММ постепенно утрачивают свою роль в процессах подготовки массы. Их применяют в основном для очистки ММ с высоким содержанием парафина и пенопластов.

На некоторых предприятиях гидроциклоны используют в контурах водопользования. Так, при изменении рН среды в процессе поступления ММ из одного контура в другой происходит агломерация малых частиц липких частиц в более крупные, что создает возможность их удаления в гидроциклонах.

6.1.1. Теоретические основы процессов в гидроциклонах для очистки массы

Движение отдельных частиц посторонних включений в потоке массы внутри очистителя происходит одновременно в трех направлениях, которые составляют спиральную траекторию движения относительно оси аппарата:

1) круговое движение вокруг оси циклона, за счет которого возникает центробежная сила;

2) радиальное движение, направленное от центра циклона к периферии, за счет которого частицы, имеющие плотность больше плотности воды, движутся от центра к периферии, а менее плотные – наоборот;

3) осевое движение, направленное вдоль оси циклона, за счет которого включения, имеющие плотность выше (или ниже) плотности воды вместе с частью волокна опускаются вниз (или поднимаются вверх) к выходу из циклона.

Тангенциальную скорость кругового движения массы (пренебрегая трением) можно определить по формуле

$$v_T = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_c}}, \text{ м/с} \quad (\text{а})$$

где ΔP - перепад давления между входным и выходным отверстиями очистителя, Н/м²; ρ_c - плотность массы, кг/м³.

Соответствующее этой скорости центробежное ускорение составит

$$a = 2v_T^2 / D, \text{ м/с}^2, \quad (6)$$

где D - диаметр цилиндрической части циклона, м.

Центробежное ускорение в очистителях, как правило, выше, чем ускорения свободного падения (g). Например, при перепаде давления $\Delta P = 0,2$ МПа, минимальном диаметре конической части циклона $d = 0,1$ м и плотности массы $\rho_c = 1000$ кг/м³ центробежное ускорение составит $a = 8000$ м/с², т.е., примерно, в 800 раз больше ускорения гравитации. Это отношение (a/g) называют «g-фактором» очистителя.

Центробежная сила, действующая на выделяемую частицу, составит

$$F_u = m_u a, \text{ Н}, \quad (в)$$

где m_u – масса частицы ($m_u = V_u \rho_u$), кг; V_u – объем частицы, м³; ρ_u – плотность материала частицы, кг/м³.

Подставляя (а) в (б) и в (в), получим

$$F_u = 4V_u \frac{\Delta P}{D} \frac{\rho_u}{\rho_c}, \text{ Н}.$$

Сила, выталкивающая частицу из ММ (т.е. противодействующая центробежной)

$$F_g = 4V_u \frac{\Delta P}{D}, \text{ Н}.$$

Сила лобового сопротивления массы, препятствующая радиальному движению частицы

$$F_c = c_w S_u \eta_c v_p, \text{ Н}$$

где c_w – коэффициент сопротивления движению частицы; S_u – среднее поперечное сечение частицы, м²; η_c – вязкость массы, кг/с·м²; v_p – радиальная скорость движения частицы, м/с.

Результирующая сила, действующая на частицу в радиальном направлении,

$$F_p = F_u - F_g - F_c = 4V_u \frac{\Delta P}{D} \left(\frac{\rho_u}{\rho_c} - 1 \right) - F_c, \text{ Н.}$$

Из полученной формулы следует, что если плотность частицы будет меньше плотности массы ($\rho_u < \rho_c$), то результирующая сила (F_p) изменит знак, т.е. направление действия, и будет воздействовать на частицу от периферии к центру циклона. Если отношение $\rho_u/\rho_c > 1$, то сила (F_p) будет прижимать частицу к стенке аппарата.

Тяжелые частицы, отброшенные результирующей силой к внутренней стороне очистителя, вместе с потоком по спирали движутся в нижнюю часть конуса циклона, где расположен сборник или выход для загрязнений. Основной поток массы центральным вихрем поднимается в верхнюю часть аппарата и удаляется через специальный патрубок. Легкие частицы собираются в середине центрального вихря и, с помощью отдельного патрубка, могут быть выведены из аппарата. Удаление выделенных частиц загрязнений может быть непрерывным или периодическим. При периодическом режиме выпуска загрязнений расход воды для их промывки должен быть минимальным. В противном случае возможно вымывание загрязнений обратно в массу, а также рост потерь волокна.

Объемная (транспортная) производительность циклонного очистителя определяется формулой

$$W = \mu S_{\text{вх}} \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где $S_{\text{вх}}$ – площадь сечения входного патрубка, м^2 ; H – разность давлений на входе и выходе из циклона, м. вод. ст.; μ – коэффициент расхода массы:

$$\mu = d_{\text{вых}}^2 / (D^2 - d_{\text{вых}}^2),$$

где D и $d_{\text{вых}}$ – диаметры циклона и выходного отверстия для очищенной массы, м.

Расчетное значение диаметра цилиндрической части циклона можно определить по формуле

$$D = 0,0158 (W^2 \rho_c \xi / \Delta P)^{0,25}, \text{ м},$$

где W – заданная производительность циклона, $\text{м}^3/\text{ч}$; ξ – коэффициент сопротивления циклона.

Ориентировочные значения коэффициента сопротивления для очистителей высокой концентрации $\xi = 1500 \div 3000$, а для очистителей низкой концентрации $\xi = 500 \div 1000$.

Для обеспечения требуемой производительности очистки (W) и достаточных значений центробежного ускорения взамен одного циклона большого диаметра используют несколько малых. В этом случае количество малых циклонов определяют из соотношения

$$n = (D_{\sigma} / D_{\text{м}})^2,$$

где D_{σ} и $D_{\text{м}}$ – диаметр верхней части большого и малого циклонов.

Обычно диаметр верхней части гидроциклона принимают равным 6÷8 диаметрам входного патрубка.

Эффективность очистки массы в гидроциклонах оценивают по критериям, аналогичным критериям оценки процессов сортирования (см. разд. 5.1).

6.2. АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ И СХЕМЫ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Вихревые конические очистители подразделяют в соответствии с диапазоном значений рабочих концентраций массы:

- 1) устройства для очистки при высоких концентрациях массы в диапазоне 4÷5,5 %, перепад давления в пределах 50÷100 кПа;
- 2) устройства для очистки при средних концентрациях массы в диапазоне 2÷3 %;
- 3) устройства для очистки при низких концентрациях массы в диапазоне 0,5÷1,5 %.

Принципы работы гидроциклонов (центриклинеров), предназначенных для удаления тяжелых и легких включений, показаны на рис. 6.1.

Основные конструктивные требования к циклонному очистителю состоят в обеспечении износостойчивости его конической части, предотвращении забивания выпускного отверстия и засасывания воздуха и выделенных отходов внутрь очистителя при опорожнении грязевой камеры. Последнее требование вызвано тем, что в центральной части очистителя может образовываться воздушное ядро, в котором возможно образование вакуума.

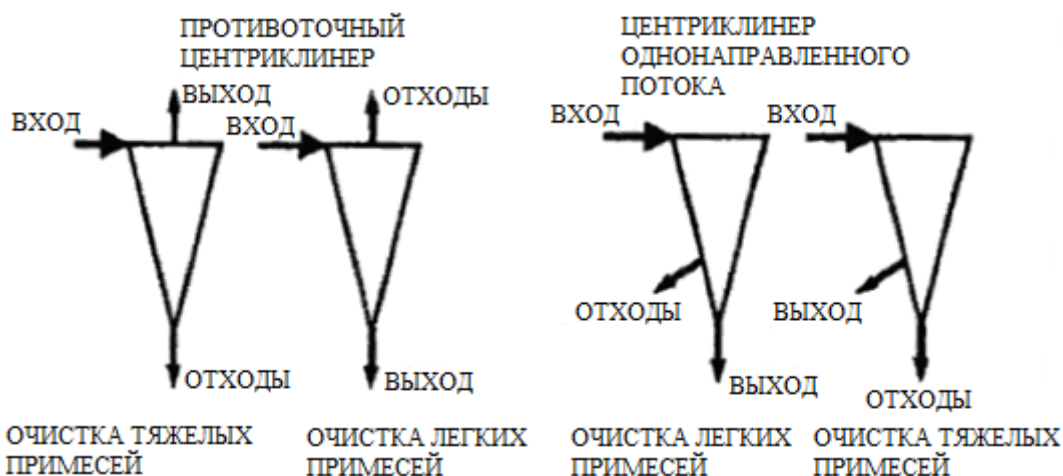


Рис. 6.1. Принципы работы гидроциклонов для очистки ММ от легких и тяжелых включений

В целом, эффективность применения очистителей зависит от правильного выбора диаметра входного и выходного отверстий для массы, длины вихреобразующей конусной части, а также от избыточного давления массы на входе, которое, помимо прочего, определяет УРЭ на очистку.

В табл. 6.2 представлены ориентировочные характеристики различных гидроциклонов и возможные режимы их работы.

Таблица 6.2

Основные характеристики очистителей ММ

Характеристика	Циклон для массы высокой концентрации		Циклон для массы низкой концентрации	
	с ротором	без ротора	тяжелые частицы	легкие частицы
Предпочтительный тип потока	Противоток	Противото	Противото	Прямото
Концентрация массы, %	2,0-4,5	2,0-4,5	0,5-1,5	0,5-1,5
Пропускная способность, л/мин	100-10000	80-10000	100-1000	100-500
УРЭ на 1 ступень, кВт·ч/т	0,5-3,0	0,5-3,0	2-10	2-50
Перепад давления, кПа	100-120	40-120	70-120	80-120
Приблизительный g-фактор	≤60	≤60	≤1000	≤1000
Длина, мм	3000	2000-5000	-	-
Диаметр max, мм	300-700	100-500	75-300	110-450
Диаметр отверстия для отходов, мм	80-120	80-120	10-40	40-60
Количество отходов на 1 ступень, %	0,1-1,0	0,1-1,0	5-30	3-20
Коэффициент сгущения	-	-	1,5-7,0	-

отходов				
Способ удаления отходов	Периодич ески	Периодиче ски	Непрерыв но	Непреры вно

6.2.1. Грубая очистка ММ

Целью грубой очистки ММ является удаление крупных тяжелых включений. При грубой очистке из волокнистой суспензии удаляются, в основном, тяжелые включения, такие как песок, частицы металла, стекла, а также и легкие частицы, такие как пластик, пленки и парафин. Эти загрязнения оказывают негативное влияние на качество готовой продукции и повышают износ технологического оборудования последующих стадий обработки массы от забивания и повреждений.

Соответствующие очистители устанавливаются, как правило, между аппаратами для роспуска макулатуры и грубого сортирования ММ, с целью удаления частиц загрязнений, имеющих плотность выше 1 г/см^3 и размер не менее 1 мм. Обычно это шурупы, гвозди, скрепки, камни, куски стекла и т.п. Возможно также удаление легких частиц: пластика, пленки и парафина.

Иногда (при концентрации массы выше 4,5 %) очистители оснащаются ротором, расположенным в верхней части аппарата, обеспечивающим закручивание потока массы при недостаточном напоре подающего насоса. Недостатками очистителей с ротором являются опасность намотки на ротор поступающих с массой обрывков ниток и веревок, а также дополнительный расход энергии на вращение ротора.

В современных очистителях необходимое давление в аппарате создается подающим насосом. Очиститель состоит из расположенной сверху цилиндрической загрузочной секции и выходной секции. На входе в очиститель расположен клапан (шиберная задвижка) для регулировки расхода и скорости движения очищаемой массы. Этот клапан одновременно регулирует и количество массы на выходе. Нижняя часть очистителя имеет форму обратного конуса, иногда с прозрачными стенками. Коническая часть очистителя подвержена интенсивному износу и потому может выполняться сменной.

Под конусом расположен грязевик (камера отходов) для отходов, часто оснащенный смотровым окном. Он представляет собой ловушку, состоящую из верхнего и нижнего скользящих клапанов и промежуточной камеры. В промежуточную камеру отходов подается вода для разбавления и промывки отходов. Расход подпорной воды, подаваемой в камеру отходов, регулируется клапаном. Подпорной водой, подаваемой в грязевик, производится отмыв годного волокна из отходов, которое захватывается очищенным восходящим потоком и отводится вместе с очищенной массой. Разгрузка грязевика от посторонних включений производится в автоматическом режиме через промежуток времени, устанавливаемый в зависимости от степени загрязненности очищаемой массы.

Пропускная способность таких очистителей составляет от 0,1 до 10 м³/мин, удельный расход энергии на 1 ступень равен 0,5÷3,0 кВт·ч/т, диаметр корпуса циклона в верхней части составляет 200÷400 мм.

Из отечественных очистителей следует отметить очистители типа ОВМ-250 и ОВМ-400 (рис. 6.2). Данный аппарат имеет пропускную способность от 60 до 150 м³/час при концентрации 3,0÷5,5 % и перепаде давления 50÷150 кПа. Диаметр головки очистителя равен 250 и 400 мм, соответственно. Объем камеры отходов – 40÷80 л, расход воды на ее промывку составляет 20÷35 л/мин. Достоинствами этих гидроциклонов являются низкий УРЭ и возможность эксплуатации при высокой концентрации массы. Очиститель состоит из головки 1 с входным 2 и выходным 3 патрубками, конуса 4, прозрачного стакана 5, грязевика 6, двух задвижек 7,8 с пневмоприводом и рамы.

При оснащении очистителя осевым патрубком, расположенным концентрично выходному патрубку, возможно удаление легких включений (пленок, пенопласта и т.п.).

Ниже приводится краткое описание некоторых зарубежных конструкций гидроциклонов для грубой очистки.

Гидроциклон типа НСС фирмы Voith предназначен для очистки ММ от тяжелых включений при концентрации до 6 % при отсутствии ротора. Оптимизированные размеры и форма патрубка подачи массы в аппарат способствуют созданию высокой турбулентности потока внутри циклона. Гидроциклон оснащен специальной ловушкой, обеспечивающей низкие потери волокна за счет промывки отходов водой противотоком. Аппарат имеет частичную или полную керамическую футеровку, что снижает износ его стенок.

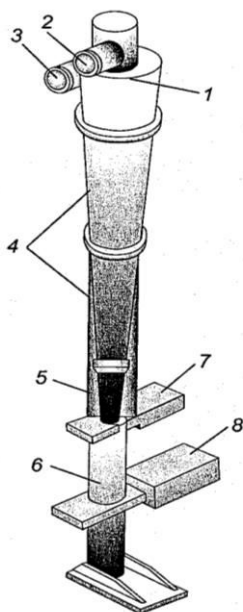


Рис. 6.2. Очиститель-гидроциклон типа ОВМ:

- 1 – головка; 2 – выходной патрубок для отходов;
3 – выходной патрубок для массы; 4 – конус; 5 – прозрачный стакан;
6 – грязевик; 7,8 – верхняя и нижняя задвижки

Очистители компании Valmet разработаны для осуществления дополнительной очистки массы и защиты сортирующих сит в таких случаях, как, например, после роспуска при низкой концентрации, перед грубым сортированием, между стадиями грубого и тонкого сортирования. Очистители высокой концентрации также используют перед размолом для защиты гарнитуры мельниц от износа.

Очистители фирмы Krima для грубой очистки поставляются как с ротором, так и без него. Нижняя часть очистителя состоит из прозрачного конуса для наблюдения за процессом очистки. Ниже конуса расположен грязевик для отходов вместимостью 40 л с обзорным окном. На входе в очиститель, для регулирования скорости подачи массы, и между очистителем и грязевиком имеются задвижки. Максимальное рабочее давление в очистителе – 600 кПа. Как правило, оно фактически бывает ниже. Оптимальные условия работы устанавливаются при помощи задвижки на входе и давления уплотняющей воды, подаваемой в грязевик для отходов.

Без ротора очиститель работает при давлении не менее 130 кПа. Давление внутри очистителя зависит от вида, концентрации и скорости прохождения массы и составляет обычно 100 кПа.

При установке очистителя с ротором давление на входном и выходном патрубках может быть одинаковым. Центробежная сила создается за счет вращения ротора. Ротор самоочищающийся и при вращении поддерживает равное давление на входе и выходе, т.е. выполняет функцию насоса, компенсирующего возможное падение давления в аппарате.

Для удаления из массы крупных включений фирма GL&V предлагает очистители типа ALBIA 500 и ALBIA 1600 (рис. 6.3). Камера отходов типа FBR оборудована устройством, подающим воду на разбавление, которая промывает отходы и отделяет волокна от тяжелых включений. Волокно вымывается в центральную часть конуса аппарата в восходящий поток очищенной суспензии. Тяжелые включения накапливаются в камере отходов (рис. 6.3в) и периодически (через 10÷30 мин работы) удаляются с помощью поочередного включения пневматических клапанов. Расход воды на промывку отходов составляет 75÷80 л/мин. Верхняя часть гидроциклона оснащена устройством, называемым турбинной головкой (рис. 6.3а), для тангенциальной подачи суспензии и для вывода очищенной массы. Конструкция этих очистителей отличается наличием канавки в виде спирали с отрицательным углом наклона на внутренней стороне конической части (рис. 6.3б). Коническая спираль создает направленное вниз движение тяжелых включений, снижает турбулентность и вертикальные противотоки внутри конуса, которые наблюдаются в аппаратах с обычным конусом. Это

позволяет работать при более высокой концентрации волокна, уменьшает его потери и УРЭ.

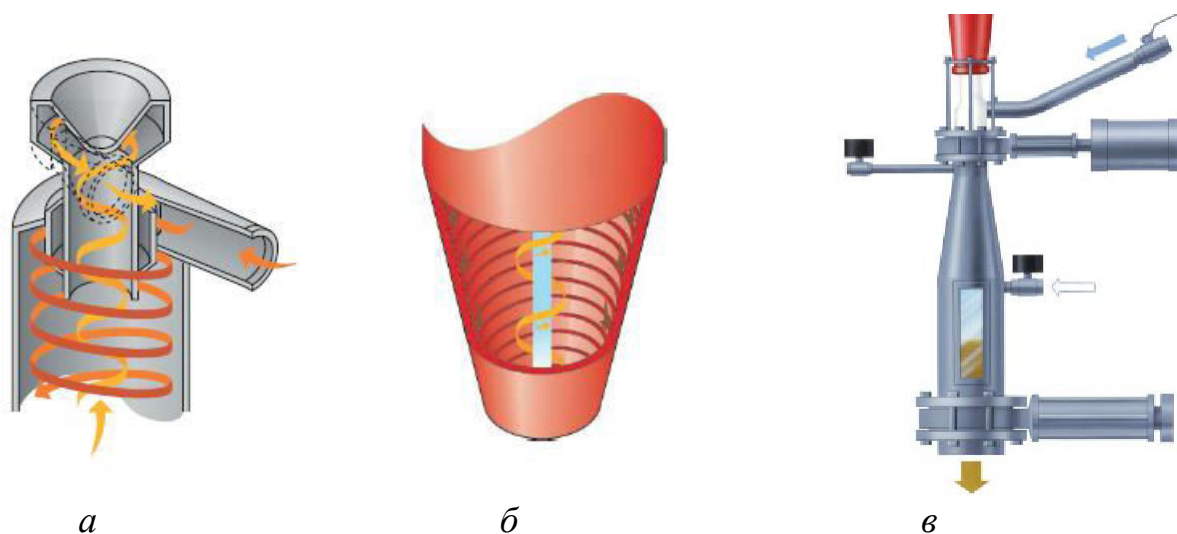


Рис. 6.3. Основные элементы очистителя типа ALBIA:
а – турбинная головка TurboHead; б – спиральный конус;
в – камера отходов FRB

Пропускная способность этих очистителей составляет от 500 л/мин (ALBIA 500) до 1600 л/мин (ALBIA 1600). Как правило, параллельно устанавливают от 2 до 5 таких очистителей, в зависимости от требуемой производительности. Перепад давления устанавливается, соответственно, $0,1 \div 0,12$ МПа. Очиститель ALBIA 1600 рекомендуется использовать для грубой предварительной очистки сильнозагрязненного сырья.

Очиститель ALBIA 500 TDRL удаляет, помимо тяжелых, легкие включения и воздух из массы. Воздух и легкие включения направляются к центру очистителя и удаляются через специальную трубу в верхней части турбоголовки очистителя.

6.2.2. Тонкая очистка ММ

Тонкая очистка ММ осуществляется для удаления мелких тяжелых (мелкие фракции песка, стекла, металлов и т.п.) и легких (воск, пенопласт и т.п.) включений. Она является необходимой операцией для удаления из массы тяжелых абразивных материалов, которые вызывают преждевременный износ сит щелевых сортировок и гарнитуры мельниц, расположенных далее по технологическому потоку. Кроме того, данная технологическая операция может быть использована для отделения мелких легких загрязнений, налипающих на горячие части БДМ и забивающих одежду машин.

В связи с совершенствованием технологии сортирования с применением щелевых сит, в последнее время гидроциклоны для удаления легких частиц из ММ играют все менее заметную роль в процессах

переработки макулатуры. Такие очистители продолжают применяться для очистки ММ с высоким содержанием парафинов, пенопластов и клеевых частиц.

Обычно такие очистители устанавливаются перед размалывающим оборудованием или перед сортировками для защиты гарнитуры мельниц или дорогостоящих ситовых барабанов сортировок со щелевыми отверстиями от абразивного износа и для обеспечения их надежной эксплуатации. Такие гидроциклоны работают при значениях центробежного ускорения до 1000 g, которое обеспечивается за счет значительно меньшего диаметра циклона, чем у очистителей высокой концентрации для грубой очистки. Это делает их гораздо эффективнее при отделении мелких загрязнений от массы. Как правило, удаление отходов очистки из этих циклонов происходит в непрерывном режиме.

В гидроциклоны тонкой очистки масса обычно поступает после грубой очистки, т.е. с меньшим, чем исходное, содержанием тяжелых включений, что позволяет защитить аппарат от забивания и снизить его абразивный износ. Вследствие низких концентраций, УРЭ на тонну волокна является достаточно высоким и составляет до 5,0 кВт·ч/т на одну ступень очистки. Пропускная способность таких циклонов составляет от 100 до 1000 л/мин.

В работе очистителей низкой концентрации существует проблема захвата загрязнений обратным потоком в нижней части конуса. Эта проблема решается по-разному. Например, в конструкции очистителя EcoMizer, разработанной компанией Voith (рис. 6.4), снизу в очиститель постоянно подается фильтрат оборотной воды. Это препятствует захвату отходов восходящим потоком очищенной массы. Отходы в неразбавленном виде непрерывно выводятся из системы очистки. Данные очистители способны удалять из массы отходы не только с высокой, но и с низкой плотностью, а также воздух. Очистители EcoMizer особенно необходимы при очистке макулатурной массы, содержащей легкие посторонние включения в виде частиц пластика, клея, воска, термопластика, кусочков полистирола и пузырьков воздуха. Эти включения, попадая в центральную часть очистителя, выводятся через специальный патрубок в верхней части головки.

Современные, продвинутые варианты очистителей способны удалять отдельные частицы печатных красок, клейкие (липкие) частицы, минеральные компоненты макулатуры (наполнитель) и др. Рассмотрим некоторые из них.

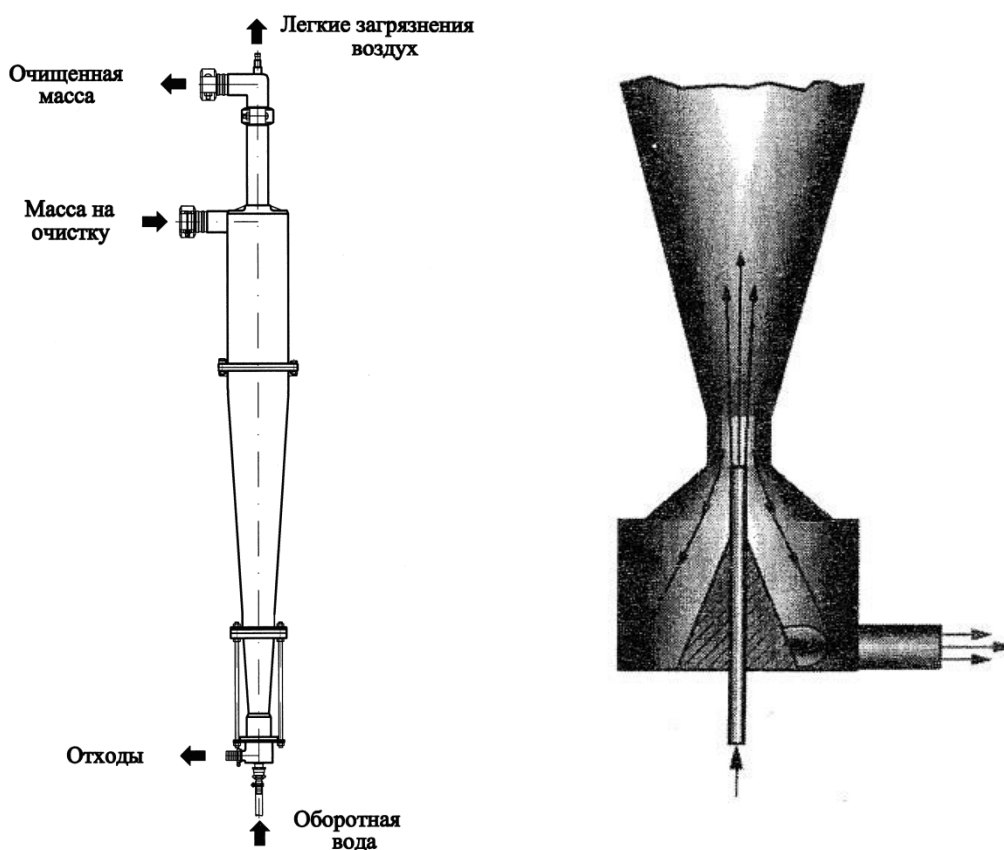


Рис. 6.4. Внешний вид и принцип действия очистителей типа EcoMizer

Гидроциклон типа HydroClean HC5/HCH5 фирмы Voith применяется при многоступенчатой тонкой очистке ММ. Аппарат обеспечивает высокую эффективность очистки при концентрации массы до 2,0 % благодаря гладкой внутренней поверхности пластикового корпуса, оснащенного индикатором износа. Достоинствами аппарата являются минимальные потери волокна с отходами очистки и отсутствие забивания конуса за счет непрерывного удаления отходов.

Фирмой Celleco разработаны конструкции вихревых конических очистителей для удаления из ММ мелких частиц печатной краски, клейких частиц, золы и наполнителя. Для этих целей рекомендуется применение очистителей Cleanpac 700 (рис. 6.5а) и Cleanpac 270 (рис. 6.5б).

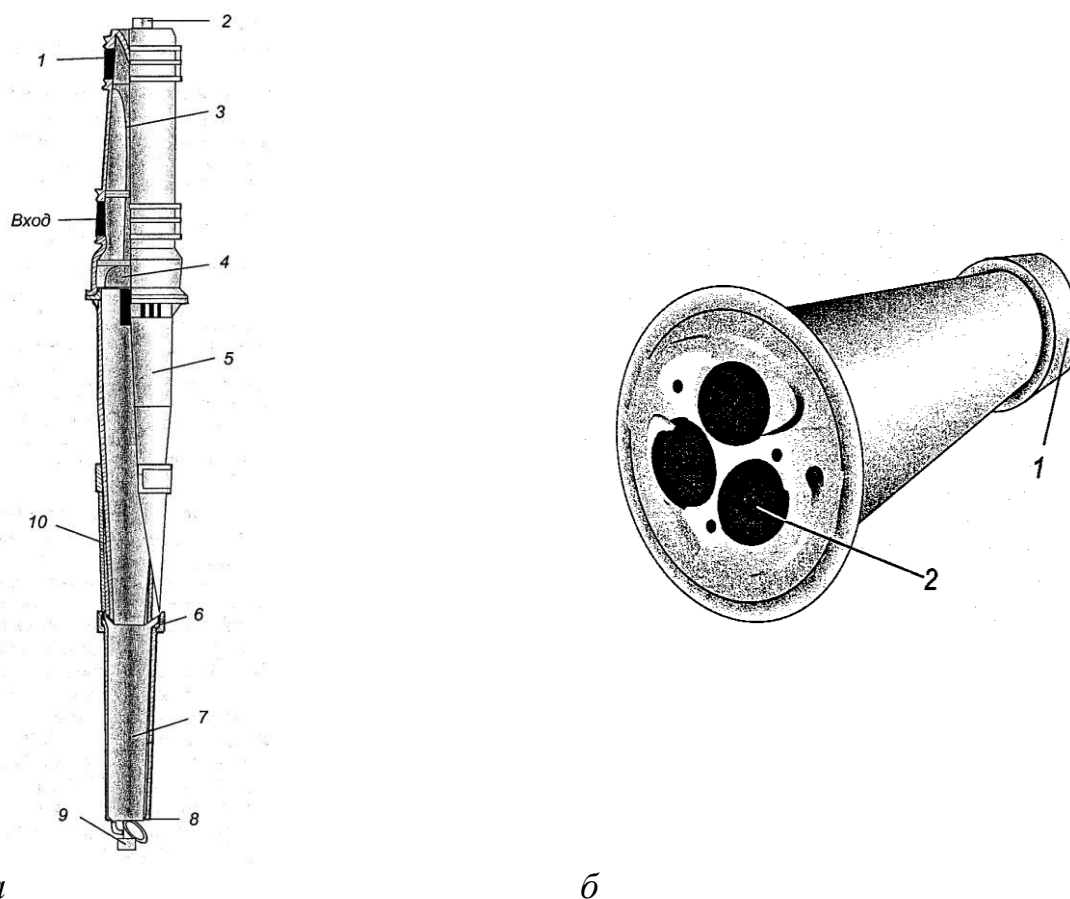


Рис. 6.5. Вихревой очиститель:

- а* – Cleanpac 700: 1 – выход очищенной массы;
 2 – отверстие для выхода легких включений и воздуха (модификация LD);
 3 – дополнительный вихревой отделитель;
 4 – впускная головка турбины; 5 – верхний конус;
 6 – двухстенная конструкция; 7 – нижний конус; 8 – камера отходов;
 9 – выпускное отверстие; 10 – верхнее смотровое окно;
- б* – Cleanpac 270 пакетного типа: 1 – камера для отходов;
 2 – впускное отверстие

Очиститель Cleanpac 270 фирмы GL&V используют для удаления загрязнений, включающих частицы печатной краски, липких веществ и зольных элементов размером $0,002 \div 0,4 \text{ м}^2$ при концентрации ММ $0,3 \div 0,9 \%$. Модульная конструкция очистителя состоит из трех гидроциклонов, каждый диаметром 60 мм в едином корпусе (рис. 6.5б). Стандартные конфигурации их включают 2, 4, 8, 12 и 16 очистителей. Перепад давления – $120 \div 170 \text{ кПа}$, пропускная способность – $270 \div 320 \text{ л/мин}$.

Гидроциклоны, установленные в очистителе этого типа, оборудованы общей гидростатической камерой. Отходы из трех гидроциклонов поступают в общую камеру большого диаметра, что снижает риск забивания циклонов. Впускные патрубки в каждом циклоне заменяемы, что позволяет выбрать

диаметр впускного отверстия в зависимости от требуемой производительности. Выпускные отверстия гидроциклонов больше, чем диаметр отверстия на входе в аппарат. Данная конструкция сочетает в себе присущие циклонам большого диаметра надежные эксплуатационные характеристики, высокую производительность, низкий процент потерь волокна с эффективностью гидроциклонов малого диаметра.

Отличительными особенностями очистителя Cleanpac 700 являются его большой диаметр при сохранении высокой эффективности очистки, новая конструкция впускного и выпускного устройств и устройства для вывода отходов, а также удлиненный конус. Масса поступает в верхнюю часть и распределяется через два впускных отверстия внутри головки очистителя. Эта особенность конструкции в сочетании с ускорением потока, а также с более длительным пребыванием массы в очистителе повышает эффективность очистки. Конструкция устройства для вывода отходов обеспечивает минимальный риск забивания и стабильную работу. Производительность одного очистителя до 550 л/мин, перепад давления 140÷200 кПа, концентрация массы – 0,8 %. Этот очиститель предназначен для удаления только тяжелых частиц.

Для удаления включений с низкой плотностью, а также пузырьков воздуха, разработана специальная модификация очистителя Cleanpac 700 LD. Легкие посторонние включения, типа частиц пластика, клея, воска, термопластика и пузырьков воздуха, попадают в центральную часть очистителя и удаляются через патрубок в верхней части головки очистителя.

С этой же целью используется система реверсивных гидроциклонов типа TRIPAK 90 Reverse, которая устанавливается после системы удаления тяжелых загрязнений.

Очистка ММ от легких включений может осуществляться в горизонтальном циклоне типа GIROCLEAN фирмы Kadant Lamort. В нем ускорение массе внутри аппарата придается вращающимся ротором, частицы легких включений устремляются в центр потока суспензии и удаляются. Степень удаления легких частиц достигает 90 % без потери волокна. Концентрация массы на входе в аппарат составляет 1,0÷2,0 %.

Сдвоенный горизонтальный очиститель Twincleaner TC 133 предназначен для очистки волокнистой массы от мелких посторонних включений. Он представляет собой блочную единую конструкцию из пар очистителей с общими коллекторами подачи и выхода очищенной массы в общей крышке. Небольшой перепад давления (130 кПа) обеспечивает эффективную очистку массы при низком УРЭ. Очистители компонуются в блоки (рис. 6.6), в состав которых может входить до 36 очистителей. Номинальная пропускная способность одного очистителя составляет 780 л/мин.

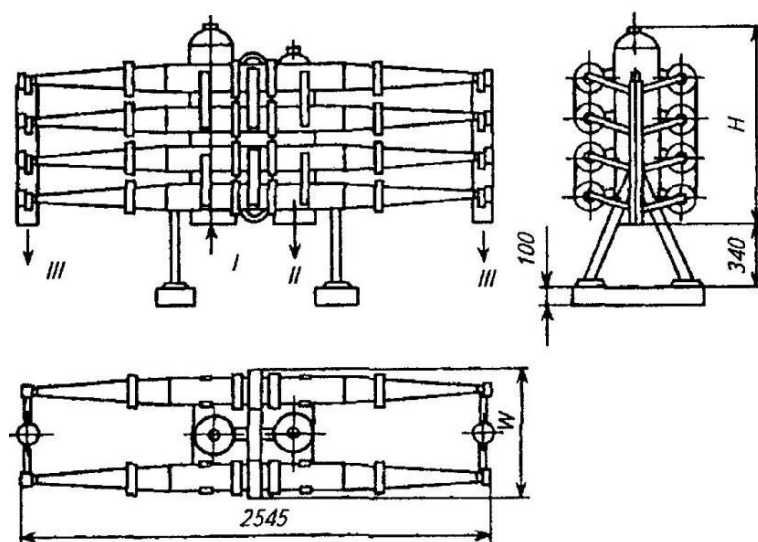


Рис. 6.6. Блок очистителей Twincleaner TC 133:

I – подача массы; II – выход очищенной массы; III – выход отходов

Одноступенчатый очиститель фирмы GL&V Fibermizer (рис. 6.7) используется в качестве последней ступени систем очистки и предназначен для снижения потерь волокна и наполнителя в системах очистки Cleanpac и ALBIA. Эта установка может состоять из двух ступеней гидроциклонов с эжекторной передачей массы между ними.

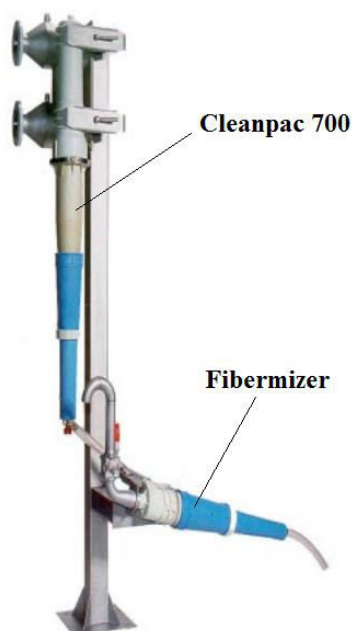


Рис. 6.7. Одноступенчатый центробежный очиститель Fibermizer интегрированный в систему очистки Cleanpac

Преимущества очистной установки типа Fibermizer:

- сокращение потерь волокна до 90 %;
- не требуется дополнительных насосов и емкостей;

– простота конструкции.

Предварительно разбавленные отходы очистки последней ступени под давлением, которое создается эжектором, поступают на очистную установку типа Fibermizer. Давление на входе в аппарат 50÷90 кПа, пропускная способность – 90 л/мин.

Малая пропускная способность единичных очистителей обуславливает необходимость параллельного включения нескольких устройств. В этих случаях их компонуют обычно в двух вариантах, представленных на рис. 6.8 (канистровый и батарейный).

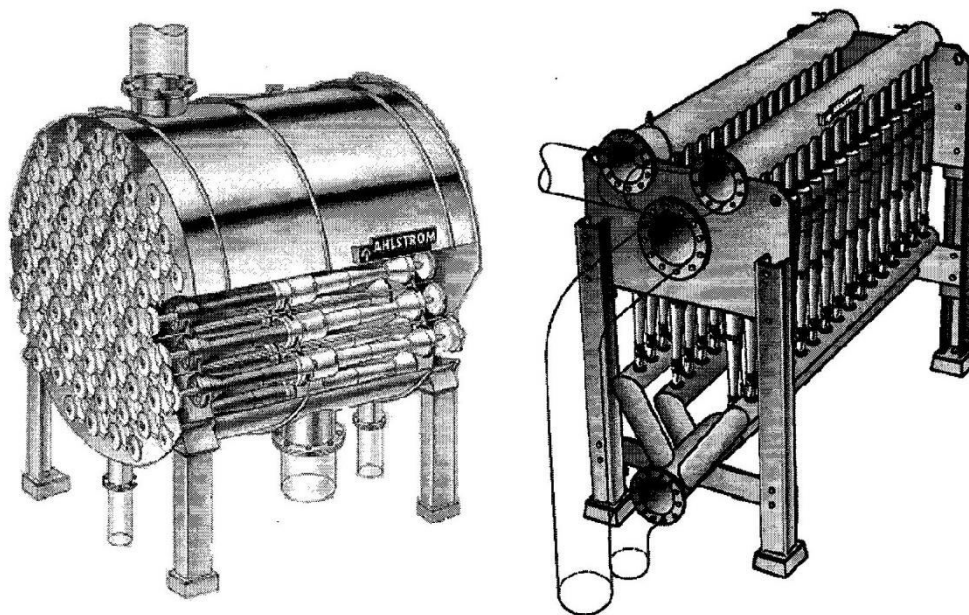


Рис. 6.8. Канистровая и батарейная компоновки вихревых очистителей

Установка канистрового типа включает две концентрические трубы. Внутренняя труба образует камеру очищенной массы, наружная – питательную камеру. При такой компоновке отпадает необходимость в отдельных шлангах для подвода массы и отвода отходов. Разновидностью такой компоновки является установка радиклонов (рис. 6.9). Циклоны в радиклонной установке расположены радиально в несколько горизонтальных рядов под общим кожухом. Например, для увеличения общей пропускной способности и компактности системы Cleanpac 350 отдельные циклоны объединяют в один агрегат – мультигидроциклон с горизонтальным расположением отдельных аппаратов (радиклон, или бочка).

Суспензия под давлением поступает в камеру и тангенциально вводится в каждый гидроциклон через несколько отверстий на цилиндрической части аппарата. Загрязнения поступают из каждого циклона в камеру отходов и удаляются. Очищенная суспензия поступает во внутреннюю цилиндрическую камеру аппарата. В радиклоне камера для удаления отходов работает под давлением. Это позволяет снизить общий перепад давления в гидроциклонах до 0,1 МПа, применять для отходов сопла

большого диаметра и регулировать количество отходов. Производительность радиклонов от 6000 до 16000 л/мин.

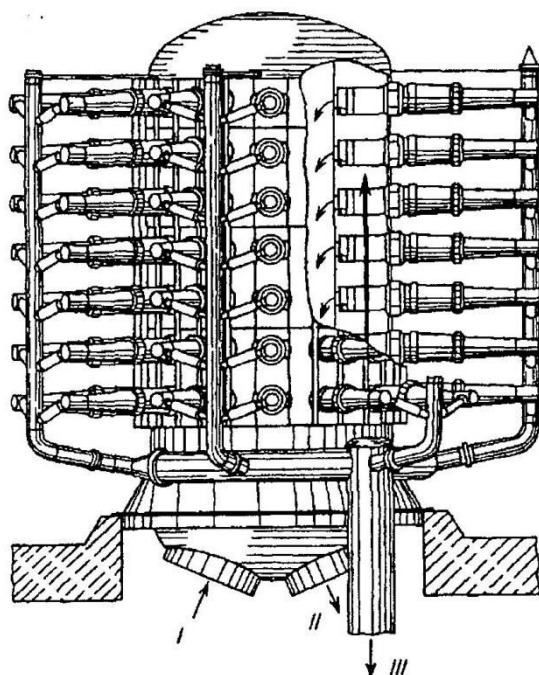


Рис. 6.9. Схема и общий вид радиклона с горизонтальным расположением очистителей типа Cleanpac 350:

I – подача массы; II – выход очищенной массы; III – выход отходов

При батарейной компоновке циклоны располагаются в ряд. Такая компоновка облегчает доступ к каждому отдельному циклону. Она может быть, как в вертикальном, так и в горизонтальном (см. рис. 6.8) исполнении.

Для экономии энергозатрат на подачу насосами массы в системах многоступенчатой очистки разработаны очистители Celleco Twister, работающие при концентрациях массы до 2 % (рис. 6.10).



Рис. 6.10. Общий вид очистителя Celleco Twister

Требуемый эффект очистки достигается в них за счет дополнительного закручивания потоком обратной воды, подаваемой в среднюю часть

корпуса, в количестве 5 % от объема массы и повышением давления подвода массы на очистку до 190÷240 кПа.

6.2.3. Технологические схемы очистки ММ

В системах предварительной очистки ММ при высокой концентрации вихревые очистители устанавливаются параллельно с одним общим патрубком (коллектором) для ввода массы. Масса в очиститель подается насосом.

На рис. 6.11 представлена схема трехступенчатой установки УОТ-12 для очистки массы при низкой концентрации. ММ концентрацией не более 1 % подается насосом на первую ступень очистки. Очищенная масса направляется далее по технологическому потоку, а отходы очистки разбавляются водой и с помощью насоса подаются на вторую ступень. Очищенная масса от второй ступени поступает на вход первой ступени. Отходы очистки второй ступени снова разбавляются и подаются насосом на третью ступень очистки. Очищенная масса третьей ступени поступает на вход второй ступени, а отходы отводятся в отвал. Благодаря последовательной обработке отходов, начиная с первой ступени очистки, снижается количество потерь волокна с отходами. Наибольшее количество циклонов устанавливаются на первой ступени. Так как последующие ступени очистки обрабатывают только поток отходов, который уменьшается за счет ухода очищенной массы, то количество установленных циклонов в них уменьшается от ступени к ступени.

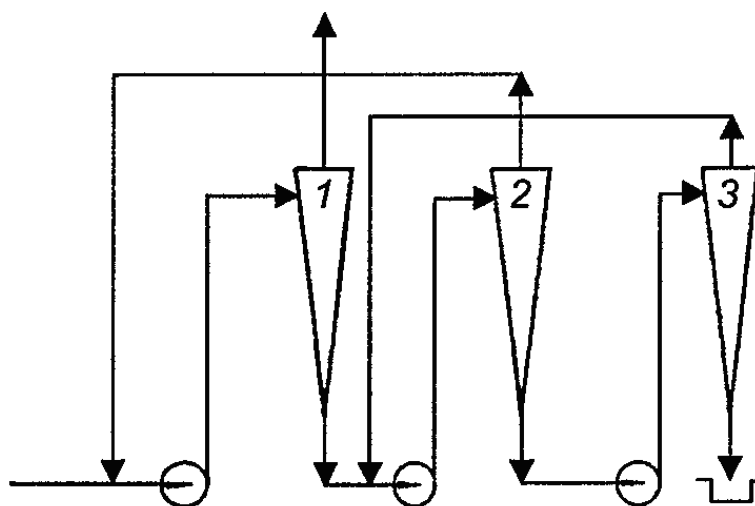


Рис. 6.11. Схема трехступенчатой системы очистки УОТ-12

Обычно в установках гидроциклонов для удаления тяжелых включений производительность каждой последующей ступени составляет около 25÷45 % производительности предыдущей. Гидроциклоны последней ступени должны обеспечивать удаление отходов очистки при минимальной потере волокна.

Концентрация отходов, отделенных в гидроциклоне, превышает концентрацию поступающей в аппарат массы за счет увеличения в них наполнителей, тяжелых включений и волокна. Коэффициент сгущения отходов зависит от количества загрязнений в ММ и типа гидроциклона. При увеличении коэффициента сгущения отходов эффективность отделения включений в гидроциклоне повышается.

В некоторых случаях можно использовать схему комбинированной (грубой и тонкой) очистки, которую производят в две стадии (рис. 6.12). От первой стадии очистки (один или несколько очистителей высокой концентрации, установленных параллельно) отходы непосредственно в непрерывном режиме удаляются в специальный отстойник. При этом удаляемые отходы разбавляют водой до концентрации от 1,5 % и ниже. В отстойнике крупные частицы включений осаждаются и удаляются через специальную задвижку.

На следующей стадии очищаются отходы от первой стадии. Она тоже базируется на вихревых очистителях для удаления оставшихся тяжелых частиц. При этом производят промывку грязевика водой для удаления из него волокон и периодическое удаление отходов. Отходы всей системы очистки составляют, в зависимости от степени засоренности, от 0,1 до 1,0 % от поступающей массы.

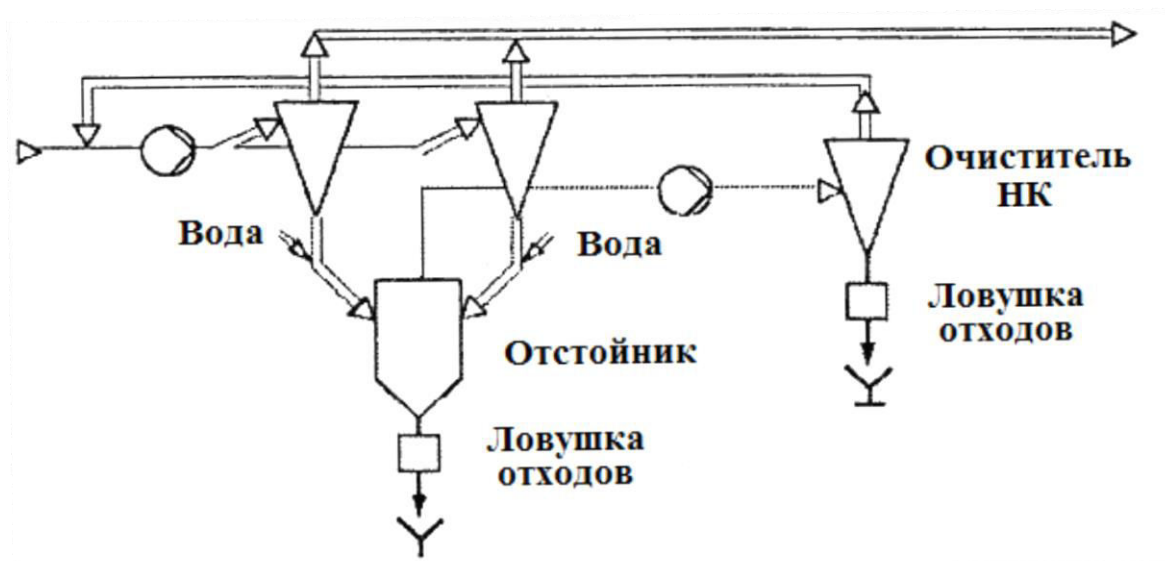


Рис. 6.12. Схема комбинированной очистки макулатурной массы

На рис. 6.13 представлена технологическая схема тонкой очистки макулатурной массы с использованием трехступенчатого каскада из очистителей типа Celleco Twister и дополнительной конечной ступени в виде очистителя типа Fibermizer.

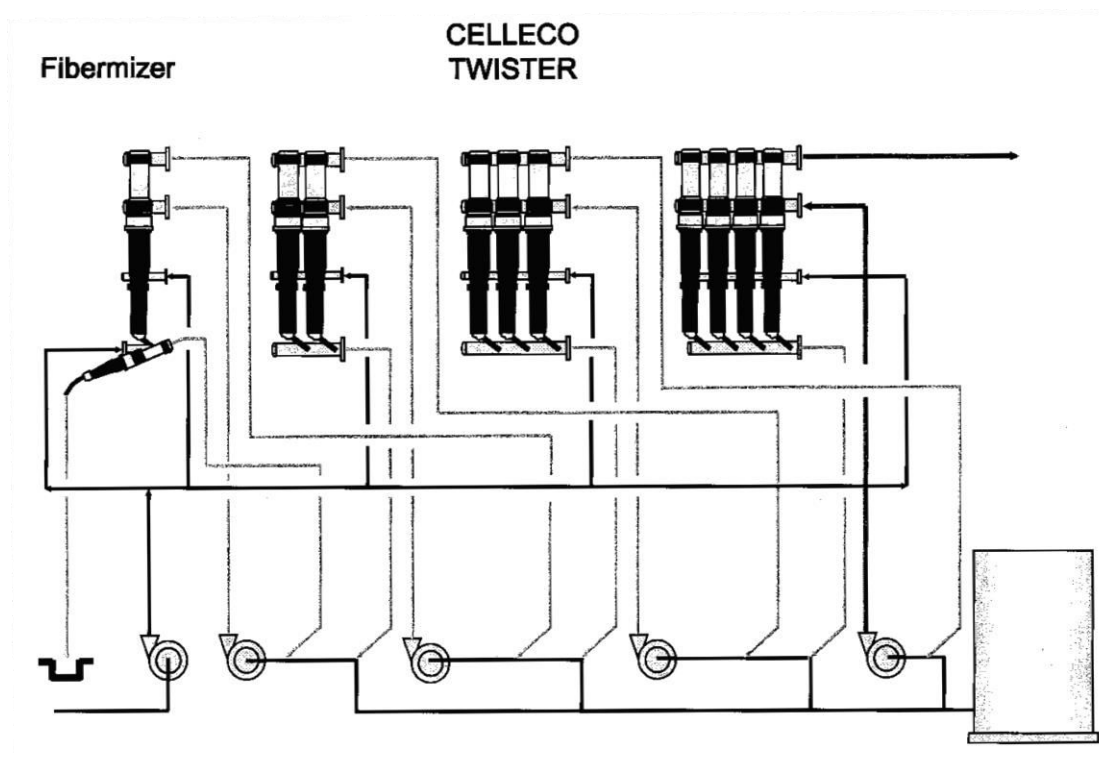


Рис. 6.13. Схема системы тонкой очистки массы с использованием очистителей Celleco Twister и очистителя Fibermizer на последней ступени

6.3. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ

Меры для повышения эффективности очистки массы в циклонах должны носить комплексный характер, так как каждая из них в отдельности, помимо положительного эффекта, приносит и негативные последствия.

Обобщая вышеизложенное, можно отметить следующие пути повышения эффективности очистки:

1) увеличение перепада давлений между входом исходной и выходом очищенной массы. Это приводит к высоким значениям тангенциальной скорости потока и высокому центробежному ускорению. Например, при разности давлений 20 МПа и радиусе аппарата 50 мм центробежное ускорение составляет 8000 м/с^2 . В обычном циклоне потери давления будут возрастать при увеличении расхода массы. При этом продолжительность пребывания массы в аппарате сокращается, а турбулентность будет больше. Однако перепад давления прямо пропорционально влияет на затраты энергии при перекачке массы через циклон. Поэтому перепад давления должен быть целесообразным не только технологически, но и экономически;

2) уменьшение диаметра циклона. Несмотря на кажущуюся тривиальность, этот фактор имеет практические ограничения. Так, для обеспечения эксплуатационной надежности размеры патрубков на входе и выходе массы должны быть такими, чтобы предотвратить их забивание. Поэтому минимально возможный диаметр патрубков должен быть не меньше

максимального размера (длины) удаляемых частиц. Кроме того, малая производительность небольших гидроциклонов обуславливает необходимость параллельного включения одновременно нескольких устройств. Все это устанавливает ограничения технологического и экономического характера на минимальный диаметр циклонов;

3) снижение концентрации массы для улучшения условий отделения частиц загрязнений. Свобода перемещения частиц зависит от содержания волокон в массе. При повышении концентрации массы волокна создают дополнительные препятствия перемещению удаляемых частиц;

4) снижение содержания в массе лепестков и пучков волокон. Так же как и высокая концентрация массы, они ограничивают свободу перемещения удаляемых частиц. Возрастают потери волокон, так как большая часть лепестков и пучков волокон удаляется вместе с тяжелыми включениями;

5) повышение температуры очищаемой массы. Повышенная температура снижает вязкость массы и, соответственно, сопротивление движению частиц загрязнений внутри аппарата;

6) оптимизация гидравлической нагрузки на циклон за счет регулирования расхода отделенных отходов. Увеличение расхода отходов улучшает процесс разделения, но ведет к росту потерь волокна;

7) оптимизация процесса удаления отделенных отходов;

8) усовершенствование отдельных узлов очистителей и оптимизация потоков внутри них.

Опыт использования реверсивных гидроциклонов для удаления частиц легких примесей оказался неудовлетворительным. В этих случаях вместо гидроциклонов следует использовать щелевые сортировки и флотационные камеры, а также системы очистки оборотной воды. В связи с совершенствованием технологии сортирования ММ и применением щелевых сит, в последнее время гидроциклоны для удаления легких включений используют все реже. Их применяют, в основном, для очистки ММ с повышенным содержанием парафина и пенопласта.

7. РАЗМОЛ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Основная цель размола волокнистой массы для производства бумаги и картона заключается в подготовке волокон к образованию межволоконных связей в бумажно-картонном полотне. Помимо термина «размол» в литературе широко используется термин «рафинирование». Эти термины являются синонимами, однако термин «рафинирование», в случае обработки ММ, ближе к сути происходящих процессов.

При размоле одновременно протекают два главных процесса:

- чисто механическая обработка волокна размалывающей гарнитурой мельниц, которая приводит к изменениям состояния (фибриллирование), размеров и формы растительных волокон;
- коллоидно-химическое воздействие, проявляющееся гидратацией и набуханием волокон.

При размоле волокон происходит как внешнее, так и внутреннее фибриллирование.

Внешнее фибриллирование заключается в полном или частичном отделении от основного тела волокна клеточных оболочек, или фибрилл. При этом ослабляются сами волокна и облегчается доступ воды в межфибрилярные пространства. Благодаря внешнему фибриллированию волокон увеличивается их поверхность, освобождаются ранее скрытые в толще волокна гидроксильные группы, по которым осуществляются водородные связи между волокнами. Увеличивается число контактов между волокнами, что способствует повышению прочности бумажного полотна. Внутреннее фибриллирование изменяет структуру вторичной стенки волокна без заметного влияния на его прочность.

В результате гидратации и набухания волокон (главным образом, гемицеллюлозной фракции) повышается их гибкость и пластичность. У предварительно размолотых волокон (макулатуры) в результате набухания происходит увеличение размеров в поперечном направлении, которое может достигнуть 20÷30 %. В процессе гидратации увеличивается площадь наружной поверхности волокон, и на ней обнажаются группы клеточных оболочек, способных адсорбировать воду. Создаются условия, при которых волокна приобретают дополнительную способность образовывать межволоконные связи.

Различают два крайних режима размола волокнистой ММ: преимущественно фибриллирование и преимущественно укорочение (рубка). Первый дает заметное повышение прочностных характеристик, высокую плотность бумаги, малое измельчение волокон, высокую степень их набухания, повышенную прозрачность бумаги. Второй – понижает прочностные характеристики, повышает пухлость, пористость и непрозрачность бумаги, приводит к заметному измельчению волокон.

Размол ММ, как правило, осуществляется после грубой очистки и сортирования во избежание повреждения и ускоренного износа гарнитуры

мельниц. Кроме того, размол ММ без предварительного грубого сортирования приводит к измельчению частиц посторонних включений, что затрудняет их удаление в дальнейшем.

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССАХ РАЗМОЛА

Существующие аппараты для размола можно разделить на две большие группы: безножевые (гидродинамические, пульсационные) и ножевые мельницы (дисковые и конические с ножевой гарнитурой).

В гидродинамических роторно-пульсационных мельницах, или энтштипперах (рис.7.1) при вращении ротора канавки на его кольцевых выступах периодически перекрываются кольцевыми выступами с канавками статора, в результате чего площадь живого сечения для прохода массы резко сокращается, что вызывает гидродинамические удары (импульсы), воздействующие на массу. Частота гидравлических пульсаций (ударов) зависит от частоты вращения ротора и числа канавок в каждом ряду выступов гарнитуры ротора и статора и может достигать 2000 пульсаций в секунду. Чем больше скорость движения массы по канавкам гарнитуры, тем выше частота пульсаций давления и эффективность воздействия на волокна.

Кроме этого, происходят чисто ударные столкновения частиц массы с поверхностью рабочих выступов при переходе из канавок ротора в канавки статора и наоборот, кавитационное воздействие, жидкостное трение в зазоре и, наконец, чисто механическое воздействие (сжатие-сдвиг) на пучки волокон, размеры которых превышают величину зазора.

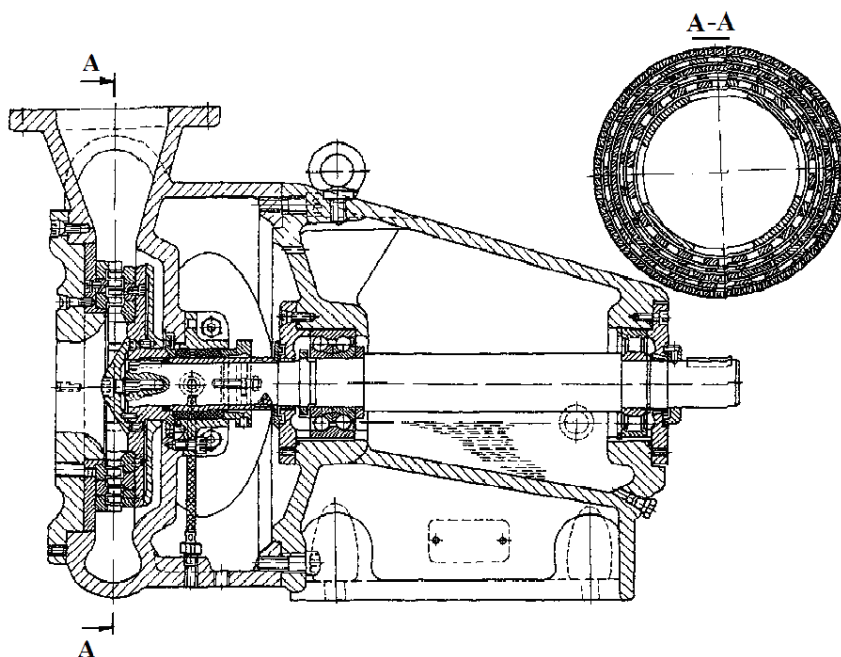


Рис. 7.1. Схема энтштиппера

В результате происходит заметное снижение содержания пучков волокон в массе и пластификация волокон. Как следствие – несколько

повышается разрывная длина, сопротивление излому и сопротивление продавливанию. При этом измельчения волокон практически не наблюдается. Вместе с тем, безножевой размол имеет существенные недостатки, наиболее важными из которых являются низкая производительность и, как следствие, высокие показатели УРЭ на размол.

Значительного повышения механических показателей волокнистой массы достигают при использовании мельниц с ножевой гарнитурой.

На рис. 7.2 представлены конфигурации волокон в процессе прохождения между роторными и статорными ножами гарнитуры мельницы. Попадая в зазор между ножами, волокна сдавливаются и прижимаются к поверхности ножей. При этом они находятся под действием фрикционных сил сдвига, величина которых определяется коэффициентами трения между волокном и металлом, а также между волокном и волокном. Передняя сторона ножевой кромки проходит по слою материала. Волокна, расположенные рядом с ножом, стремятся следовать за ним, а волокна, находящиеся в середине слоя, испытывают нагрузку разрыва (среза). Чем острее кромки ножей и меньше зазор между ними, тем больше срезающий эффект, который ведет к разрыву и разрушению волокон.

Одновременно происходят внешняя и внутренняя фибрилляция волокон и изменение их состояния (расслоение, набухание). В результате, значительно возрастают основные механические показатели массы и степень помола, но снижается средняя длина волокон.

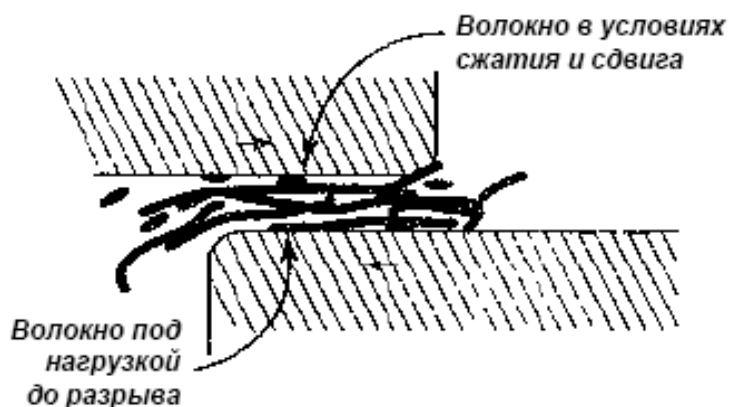


Рис. 7.2. Конфигурация волокон при прохождении их между ножами ротора и статора

Основными параметрами процесса размола являются удельный расход энергии (контролируемый параметр) и, для ножевых мельниц – удельная нагрузка на нож (ограничивающий параметр).

Энергия, идущая непосредственно на размол волокон, в ножевой гарнитуре мельниц передается волокнам в три этапа, или фазы (рис. 7.3). На первом этапе (1) движущийся нож ротора, пересекаясь с ножом статора, захватывает волокна, которые зажимаются между кромками ножей и испытывают ударное воздействие. Во второй фазе (2) кромка ножа ротора

прижимает волокна к плоской поверхности ножа статора. При этом, в зависимости от шероховатости и остроты кромки ножа, происходит преимущественно внешняя или внутренняя фибрилляция волокон. В том случае, когда кромки ножей острые, а поверхность ножей шероховатая, происходит дополнительное расслаивание и увеличение удельной поверхности отдельных волокон, т.е. преимущественно внешняя фибрилляция. При сжатии волокон, резке и увеличении их внешней поверхности (затупленные ножи и шероховатость) происходит преимущественно внутренняя фибрилляция. По окончании второго этапа сжатие волокон происходит между поверхностями ножей ротора и статора и продолжается фибриллирование волокон. Наступает третья фаза (3), которая заканчивается при расхождении кромок ножей.

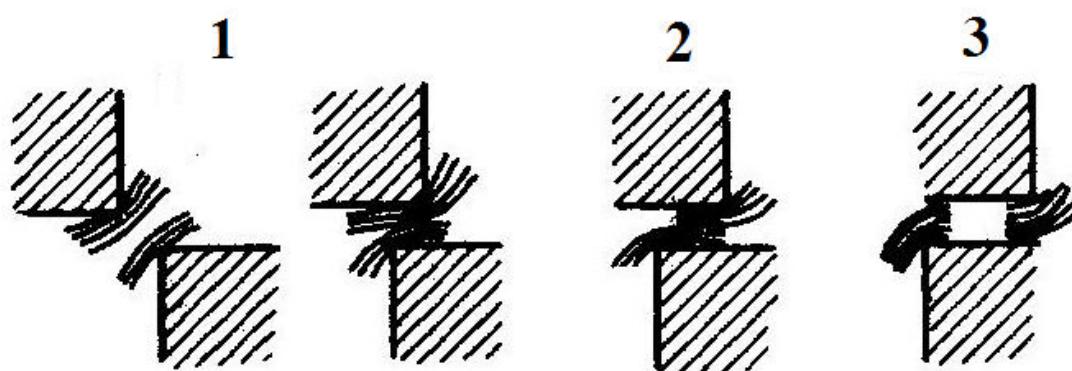


Рис.7.3. Фазы механизма ножевого размол массы при низкой концентрации

Поскольку рассмотренные фазы размол создают сопротивление вращению ротора, УРЭ на размол складывается из:

- энергии фазы 1, пересечения кромок (кромка – кромка);
- энергии фазы 2, пересечения кромки ножа ротора и поверхности ножа статора (кромка – поверхность);
- энергии фазы 3, фибрилляции (поверхность – поверхность).

Распределение энергии между фазами, которое в значительной степени зависит от соотношения между шириной канавки и шириной ножа, определяет результат размол, т.е. качество размолотой ММ. При повышении расхода энергии в первой фазе волокна подвергаются режущему воздействию с уменьшением их длины, а во второй и третьей фазах волокна в значительной степени фибриллируются.

Для сравнения особенностей безножевого и ножевого способов размол на рис. 7.4 приведены результаты исследований изменения межволоконных сил связи в зависимости от степени помола, достигнутой в соответствующих аппаратах. На рис. 7.4 видно, что качественные изменения межволоконных сил связи, вне зависимости от вида волокнистого материала и способа размол, имеют более или менее идентичный характер.

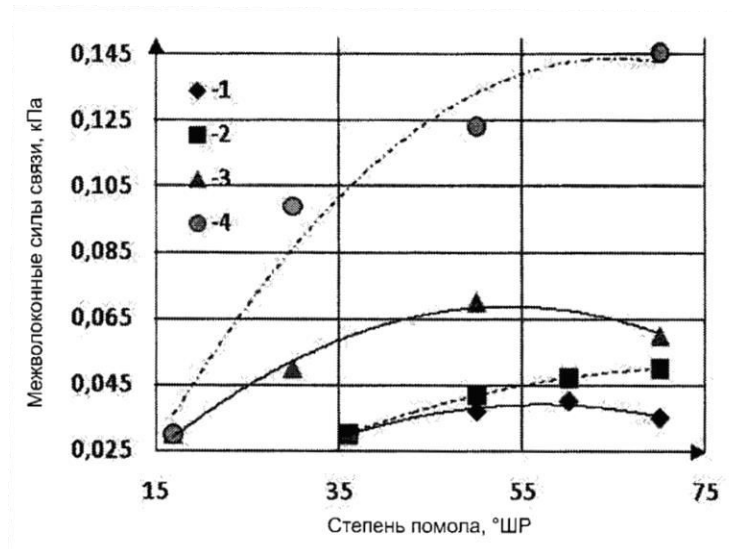


Рис.7.4. Зависимость межволоконных сил связи от степени помола:

- 1 – вторичное волокнистое сырье в ножевой установке;
- 2 – вторичное волокнистое сырье в безножевой установке;
- 3 – первичное волокнистое сырье в ножевой установке;
- 4 – первичное волокнистое сырье в безножевой установке

На рис. 7.5 представлены графики зависимости изменения механических показателей бумаги, полученной из различных марок макулатуры от степени помола при обработке в дисковой ножевой мельнице.

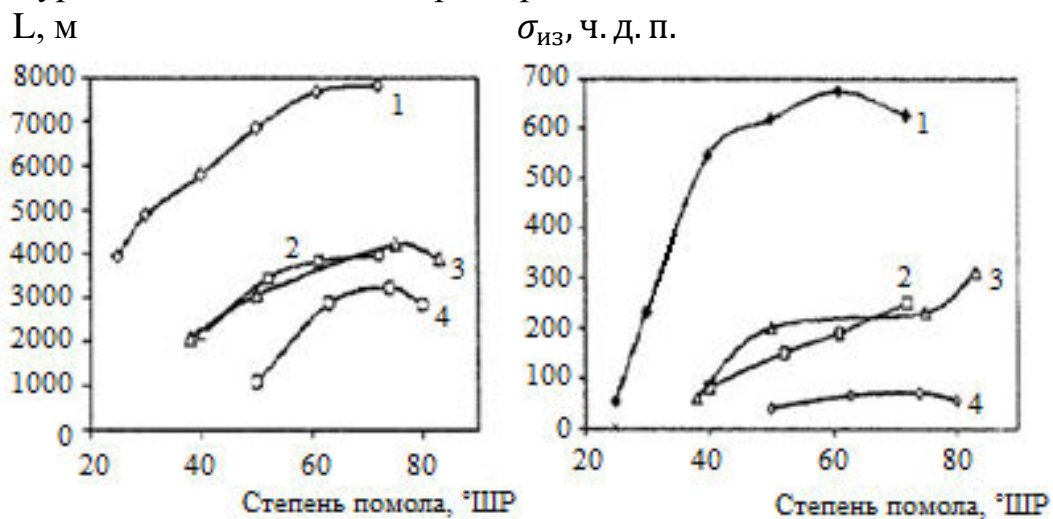


Рис. 7.5. Зависимость разрывной длины (а), прочности при перегибах (б) и сопротивления продавливанию бумаги (в) от степени помола ММ:

- 1 – МС-5Б; 2 – МС-13В; 3 – МС-7Б; 4 – МС-8В

Удельный расход энергии на размол (кВт·ч/т) равен отношению полезной мощности размолы (N_p) к пропускной способности аппарата по волокну (Q). Полезная мощность размолы – это разность между рабочей

мощностью мельницы (N) и мощностью, затрачиваемой на холостой ход (N_{xx}). Эта мощность (N_{xx}) определяется при работе мельницы в условиях, когда зазор между рабочими поверхностями таков, что непосредственное силовое воздействие ножей на волокна отсутствует (зазор 2÷3 мм).

Для расчета ножевых размалывающих машин используют показатель, называемый полезной удельной энергоемкостью размола ($E_{п}$). Эта величина показывает, какая работа затрачивается в межножевом зазоре мельницы для того, чтобы повысить степень помола 1 т а.с. волокна на 1 °ШР. Значение полезной удельной энергоемкости для ММ зависит от ее вида, состава волокна и определяется на основе соответствующих экспериментов. Кроме того, существенен и тот факт, что макулатурный материал уже прежде подвергался размолу. Поэтому ниже приведены средние значения ($E_{п}$) (МДж/(т · °ШР)) в диапазоне степени помола 20÷60 °ШР для различных видов волокон макулатуры.

Вид волокна:

➤ сульфатная небеленая целлюлоза	15÷25;
➤ сульфатная беленая целлюлоза	13÷20;
➤ сульфитная небеленая целлюлоза	12÷18;
➤ сульфитная беленая целлюлоза	10÷15;
➤ полуцеллюлоза (древесная масса)	9÷12.

Приведенные значения полезной удельной энергоемкости позволяют ориентировочно вычислить полезную мощность размола, которая обеспечит получение требуемой производительности (Q), т а.с. волокна/сут по формуле

$$N_p = \frac{Q \cdot E_{п} \Delta^{\circ}ШР}{24 \cdot 3,6}, \text{ кВт}$$

где $\Delta^{\circ}ШР$ – разность между конечной и начальной степенью помола.

Рабочую мощность мельницы можно оценить с помощью коэффициента эффективности (КПД) работы мельницы

$$\eta = N_p / N.$$

Величина этого коэффициента зависит от удельной нагрузки на кромки ножей (B_s) и окружной скорости ротора мельницы (V). Удельная нагрузка на кромку ножа равна отношению полезной мощности размола (N_p) к секундной длине режущей кромки гарнитуры (L), т.е. к общей длине пересечения ножей гарнитуры статора с ножами ротора в единицу времени. Очевидно, что с повышением удельной нагрузки на кромки ножей увеличивается рубящее действие на размалываемый волокнистый материал.

Средние значения оптимальной удельной нагрузки на кромки ножей (B_S), Дж/м, для различных видов волокнистого материала из макулатуры приведены ниже:

- сульфатная небеленая целлюлоза 2,5÷2,7;
- сульфатная беленая хвойная целлюлоза 1,5÷1,8;
- сульфатная беленая лиственная целлюлоза 1,1÷1,3;
- сульфитная небеленая целлюлоза 1,5;
- сульфитная беленая целлюлоза 0,8;
- полуцеллюлоза (древесная масса) 1,3;
- макулатура МС-5Б 0,55.

Величина удельной нагрузки на кромки ножей обеспечивается регулированием зазора между ножами. Величина зазора, при заданной удельной нагрузке на кромки ножей, зависит не только от концентрации массы и вида волокнистого материала, но и от требуемой степени помола.

Графики $\eta = f(V)$ на рис. 7.6 показывают предельные значения коэффициента эффективности, которые могут быть достигнуты при данных значениях (B_S) и (V) независимо от диаметра гарнитуры; например, при значениях $B_S = 3,0$ Дж/м и скорости $V = 30$ м/с величина η не превышает 0,83, а при $V = 50$ м/с – $\eta \leq 0,63$.

Графики $\eta = f(B_S)$ дают возможность оценить характер изменения η в зависимости от B_S при различных скоростях ротора. При скорости ротора $V \leq 25$ м/с коэффициент эффективности мельницы довольно быстро возрастает, достигая значения 0,7 при сравнительно небольшой нагрузке $B_S = 1,0$ Дж/м. При больших скоростях ($V = 50 \div 60$ м/с) η растет весьма медленно и при $B_S = 1,0$ Дж/м составляет всего 0,3÷0,35. Пользуясь этими графиками при известных значениях N_p , B_S и V , находится величина η и, соответственно, рабочая мощность мельницы ($N = N_p/\eta$).

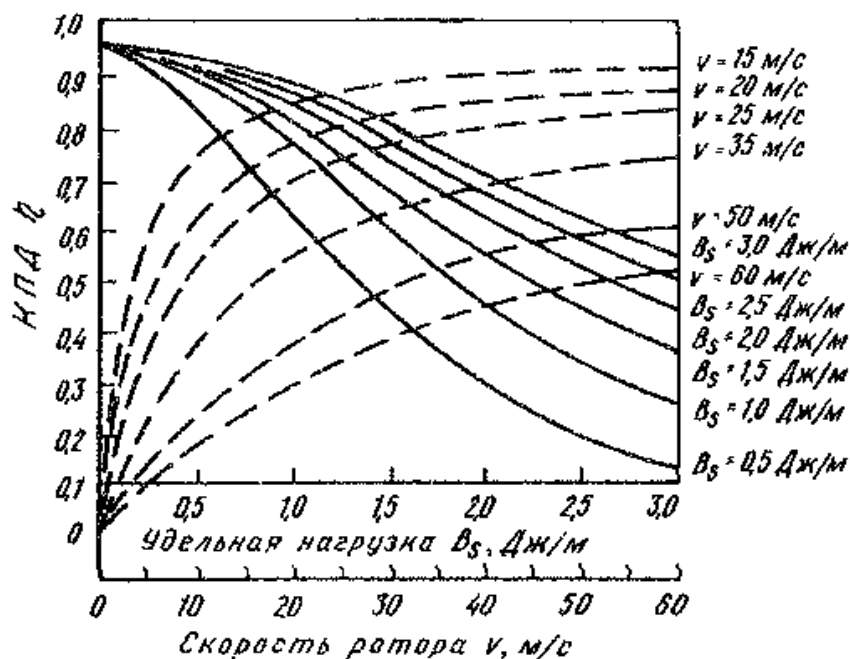


Рис. 7.6. Зависимость коэффициента эффективности работы мельницы от удельной нагрузки на нож и скорости вращения ротора

Для правильного выбора типоразмера мельницы используют понятие предельной работы мельницы $[A_{\text{п}}]$, которое показывает, какую предельную работу над единицей массы волокна может совершить мельница без ухудшения качества размола и при обеспечении благоприятных условий работы гарнитуры. Пользуясь параметром $[A_{\text{п}}]$, оптимальный типоразмер мельницы, т.е. секундную длину режущей кромки ее гарнитуры (L), м/с, при заданной производительности (Q), можно определить из соотношения

$$L = \frac{10^3 Q [A_{\text{п}}]}{24 \cdot 3,6 B_s}, \text{ м/с.}$$

На основе производственных данных можно принять для целлюлозного материала $[A_{\text{п}}] = 250 \div 300$ МДж/т.

Реальное значение удельной работы мельницы

$$\Delta A_{\text{п}} = \frac{E_{\text{п}} \Delta^{\circ} \text{ШР}}{24 \cdot 3,6}, \text{ МДж/т.}$$

Характер обработки волокон при размоле в значительной мере зависит от расстояния (зазора) между статором и ротором аппарата. Качество размолотой ММ определяется в значительной мере стабильностью зазора между элементами гарнитуры статора и ротора мельницы, величина которого при низкой концентрации массы обычно составляет $0,1 \div 0,2$ мм.

Как уже отмечалось, различают два режима размола в ножевых мельницах: мягкий с преимущественным фибриллированием (жирный помол) и жесткий с преимущественной рубкой волокон (садкий помол). Первый режим размола позволяет получить продукцию с более плотной структурой и повышенными прочностными характеристиками. Второй режим приводит к получению бумажного листа с высокой пухлостью и пористостью, при этом прочностные характеристики будут значительно ниже.

Для оценки вида размола можно использовать параметр, называемый коэффициентом укорочения волокна

$$K = \frac{\ln(l_{\text{исх}}/l_{\text{к}})}{^{\circ}\text{ШР}_{\text{к}} - ^{\circ}\text{ШР}_{\text{исх}}}, 1/^{\circ}\text{ШР},$$

где $l_{\text{исх}}$ и $l_{\text{к}}$ – исходная и конечная средняя длина волокна массы;
 $^{\circ}\text{ШР}_{\text{исх}}$ и $^{\circ}\text{ШР}_{\text{к}}$ – исходная и конечная степень помола массы.

Для ведения размола в фибриллирующем режиме, при необходимости минимальной степени измельчения волокна, должно быть $K \leq 0,009 1/^{\circ}\text{ШР}$. Этот режим предпочтителен для размола макулатурного волокна и, особенно, для его короткой фракции.

Для размола в режиме рубки, сопровождаемого укорачиванием волокна, должно быть $K \geq 0,015 1/^{\circ}\text{ШР}$. Средний режим наблюдается в диапазоне промежуточных значений указанного коэффициента. Если необходим средний режим, то статоры мельниц оснащают диском с гарнитурой укорачивающего типа (Р), а ротор – диском фибриллирующего типа (Ф). Такой режим используют для нефракционированной массы или для длиноволокнистой фракции ММ.

Выбор типа и параметров работы размалывающего оборудования зависит от характеристик размалываемого сырья и требований к конечной продукции. На работу размольного оборудования и ее результат оказывают влияние ряд факторов. В том числе:

- контролируемые переменные факторы: продолжительность размола, удельное давление на волокна при их размоле, концентрация массы, рН и температура среды, давление в корпусе мельницы, добавка химических веществ;
- регулируемые (активные) факторы: зазор между гарнитурой статора и ротора, частота и направление вращения ротора;
- пассивные переменные факторы: геометрия гарнитуры. Для ножевых мельниц это угол наклона и число ножей, ширина ножей и впадин между ними, материал и шероховатость поверхности ножей.

7.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗМОЛА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Особенности технологии размола макулатурной массы связаны с тем, что макулатурное волокно обладает более низкой, по сравнению с первичным волокном, стойкостью (прочностью) при воздействии размола. Это обусловлено технологическими процессами изготовления бумаги и картона, которые со временем становятся макулатурой. Существенную роль играет и то обстоятельство, что этот вид сырья уже претерпел ранее не менее одного цикла размола до того, как стал макулатурой. Конечная цель процесса размола макулатурной массы сводится к регенерации утраченного потенциала бумагообразующих свойств, т.е. не к «размолу», а, скорее, к «подмолу» или «рафинированию» массы.

Как уже отмечалось, размол ММ повышает способность волокон к образованию межволоконных связей, в основном, за счет внешнего и внутреннего фибриллирования волокон. Это способствует восстановлению части бумагообразующих свойств макулатурного волокна, отражающихся, в первую очередь, на показателях механической прочности продукции, приближая их к уровню, получаемого из первичных волокнистых полуфабрикатов. Вместе с тем, при размоле происходит некоторое измельчение волокон ММ и увеличение доли коротковолокнистой фракции, что снижает способность полуфабриката к обезвоживанию. Размол может значительно изменить свойства макулатурного волокна. С ростом степени помола ММ снижается пухлость и способность бумажного полотна к обезвоживанию. Отмечается отрицательное влияние размола на оптические свойства ММ, такие как белизна, непрозрачность и коэффициент светорассеяния.

Размол ММ, отличающейся неоднородной длиной волокон в ней, неизбежно связан с известным и ненужным укорочением макулатурных волокон, что отрицательно сказывается на свойствах изготавливаемой продукции. В связи с этим предпочтительно вести процесс размола весьма осторожно (мягко), при сравнительно малых нагрузках на кромку ножа. В свою очередь, щадящий размол может привести к таким отрицательным явлениям, как недостаточная разработка длиноволокнистой фракции, увеличение продолжительности процесса размола и повышение расхода энергии на этот процесс. При этом все же не исключено нежелательное укорочение коротких волокон. Данные явления приводят к выводу о целесообразности предварительного фракционирования ММ по длине волокон и осуществления процесса размола в оптимальном для каждой фракции режиме. Перед фракционированием массы желательно осуществлять ее предварительный легкий размол, а окончательный размол проводить только для ДВФ.

При наличии в схеме подготовки макулатуры операции фракционирования волокон дополнительному размолу обычно подвергается

только ДВФ ММ, что позволяет значительно снизить УРЭ и заметно (до 20 %) повысить показатели механической прочности получаемой из нее продукции. При этом необходимо обеспечить мягкий режим размола с минимальным эффектом укорочения волокон.

Это позволит: во-первых, использовать мельницы меньшего типоразмера, ввиду меньшего объема потока отдельной фракции, а во-вторых, применять различные типы гарнитуры мельниц и режимы ведения процесса размола ДВФ и КВФ с максимальным эффектом при оптимальных затратах. Исследования показывают, что при размоле КВФ в режиме фибриллирования (например, в пульсационных мельницах) наблюдается существенное улучшение физико-механических показателей продукции из ММ. После размола отдельные фракции ММ могут быть смешаны в определенной пропорции и распределены по слоям в многослойных видах конечной продукции.

7.2.1. Специфические особенности размола массы из различных марок макулатуры

ММ представляет собой смесь различных видов волокон: по происхождению (порода древесины), по методу получения (химическое, химико-механическое, механическое, беленое или небеленое), по использованию (изготовление различных видов бумаги и картона, последующая их обработка и переработка) и т.д. Сложный состав ММ обуславливает заметные различия в ее способности к размолу и в его результатах.

Эффективность обработки макулатурной массы в мельницах зависит от их типа и марки макулатуры. Так, при одном цикле размола в гидродинамических (пульсационных) мельницах степень помола массы из книжно-журнальной макулатуры (МС-7Б) повышается на $4\div 5$ °ШР, а из мешочной и картонной макулатуры (МС-3А, МС-5Б) – на $1\div 2$ °ШР. При этом показатель средней длины волокна практически не изменяется. Установка пульсационных мельниц со специфической гарнитурой оправдана в случае обработки массы из книжно-журнальной макулатуры (МС-7Б), исходная степень помола которой превышает $30\div 40$ °ШР, и одной гидродинамической обработки может быть достаточно для восстановления требуемых бумагообразующих свойств. Такие мельницы можно устанавливать также в качестве первой (подготовительной) ступени размола перед обработкой в ножевых аппаратах.

Для существенного восстановления бумагообразующих свойств макулатурных волокон и при высоких требованиях к механическим показателям продукции необходима обработка массы в ножевых аппаратах (см. рис.7.5). В среднем, механические показатели после обработки в ножевых аппаратах повышаются в $1,5\div 2,5$ раза больше, чем при обработке в безножевых аппаратах для одной и той же исходной макулатуры.

Так, исследования размолма макулатуры из сульфатной небеленой целлюлозы показали, что в результате предварительного легкого размолма и последующего разделения ее на три фракции, а затем окончательного размолма только ДВФ получен заметный эффект. Отмечено повышение прочности изготовленной бумаги на $10\div 15\%$ при сокращении расхода энергии на размол на $25\div 30\%$ и соответствующем снижении себестоимости бумаги. ДВФ при фракционировании ММ из гофрированного картона (фракция составляла 50% от всей массы волокон) использовали вместо сульфатной целлюлозы для отлива поверхностного слоя крафт-лайнера. Удалось снизить себестоимость продукции без ухудшения прочности картона. Работы по раздельному размолу фракций ММ перспективны и заслуживают продолжения и развития.

Исследованиями установлен факт значительного роста степени помола КВФ даже при незначительном размалывающем воздействии в ножевых мельницах. Так, обработка этой фракции, полученной из макулатуры марки МС-7Б, в гидроразбивателе и затем на дисковой мельнице повышает степень помола с 31 до 48 °ШР за 1 мин 10 с воздействия. ДВФ в тех же условиях повышает степень помола с 22 до 35 °ШР. Это свидетельствует о том, что ножевой размол массы, не разделенной на фракции, приводит к приросту степени помола преимущественно за счет обработки КВФ.

Размол может производиться при низкой (до 5%) и при высокой (до 30%) концентрации ММ. Размол при низкой концентрации позволяет улучшить показатели механической прочности ММ. При концентрации ММ $3,2\div 3,5\%$ и УРЭ $70\div 100$ кВт·ч/т размол повышает разрывную длину и несколько снижает оптические свойства (коэффициент светорассеяния).

Размол ММ при высокой концентрации массы осуществляется, в определенной степени, за счет трения волокон ММ друг о друга, что приводит к увеличению показателя влагопрочности бумаги, а также сопротивления раздиранию и излому. Однако такой размол требует повышенного УРЭ и приводит к росту эффекта флокуляции волокон при формировании бумажного полотна, что сопровождается ухудшением печатных свойств и просвета бумаги. Такой размол рекомендуется осуществлять при наличии в ММ большого количества целлюлозных волокон из лиственных пород древесины, содержащих значительную долю КВФ. Строго говоря, в этом случае подразумевается не размол, а скорее диспергирование ММ. Для размолма массы при высокой концентрации используют специальные рафинеры или диспергаторы (см. разд. 8).

В табл. 7.1 представлены некоторые данные по повышению прочностных показателей макулатуры темных сортов (МС-4А, МС-5Б) для производства тест-лайнера. При размоле масса низкой концентрации трижды проходила через двухдисковую мельницу при удельной нагрузке на кромку ножа $1,5$ Дж/м. Данные, приведенные в табл. 7.1, свидетельствуют о том, что для экономии расхода энергии на размол массы низкой концентрации при достижении результатов, сходных с полученными при обработке массы

высокой концентрации, необходимо применять мягкий многоступенчатый размол.

Таблица 7.1

Влияние режима размола на физико-механические свойства
вторичного волокна

Показатели	Размерность	Размол при нормальной концентрации		Размол ДВФ при высокой концентрации	
		до	после	до	после
Концентрация	%	4,2		37	
Удельная нагрузка на кромку ножа	$\frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{км}}$	1500		-	
Удельный расход энергии	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	3×30 (на 1 ступень)		127	
		до	после	до	после
Степень помола	°ШР	35	54	19	24
Разрывная длина	км	3,5	4,5	3,5	4,5
Продавливание	кПа	158	200	162	220
Торцевое сжатие	кН/м	1,55	1,87	1,53	1,69

Существенным фактором, влияющим на результаты размола ММ в ножевых аппаратах, является удельная нагрузка на кромку ножей. Она, как указывалось, обратно пропорциональна величине секундной режущей длины ножей. Более высокий показатель удельной нагрузки означает, что при размолке волокна будут, в основном, укорачиваться. Более низкое значение этого показателя свидетельствует о более ярко выраженном эффекте фибриллирования.

Удельная энергия, затрачиваемая непосредственно на размол (полезная), при постоянной удельной нагрузке на кромку ножей должна быть как можно выше. В связи с этим для размола ММ используют гарнитуры с возможно большей режущей длиной кромки ножа за счет уменьшения ширины ножей и канавок. Такая гарнитура обеспечивает так называемый «мягкий размол». Поэтому для размола массы, например, из макулатуры МС-5Б (коробки из гофрокартона), предназначенной для изготовления флотинга и тест-лайнера, требуется не менее двух последовательно установленных мельниц, оснащенных гарнитурой, обеспечивающей минимальную нагрузку на кромки ножей.

При переработке макулатуры, не содержащей механической древесной массы, для производства писче-печатных видов бумаги или бумаги санитарно-бытового назначения дополнительный размол ММ часто не производится.

7.3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗМОЛА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Как уже указывалось, оборудование для размол ММ в зависимости от характера воздействия на волокна подразделяется на две группы: аппараты с гидродинамическим воздействием на волокна и аппараты с механическим воздействием на волокна – ножевой размол.

7.3.1. Размол ММ в гидродинамических мельницах

К первым относятся: роторно-пульсационные (энтштипперы (см. рис. 7.1), пульсационные мельницы), акустические (гидродинамический генератор акустических колебаний (ГАК)) и кавитационные аппараты. Силовыми воздействиями в них являются: напряжение сдвига в градиентном потоке, кавитация, пульсации гидродинамического давления, трение между волокнами и турбулентные напряжения.

Наиболее распространенными машинами для гидродинамического размол ММ являются аппараты типа пульсационных мельниц, например, марок МП-03 и МП-04 (рис. 7.7), которые реализуют принцип радиально-осевого и импульсного перемещения массы в рабочей зоне. Для создания такого движения гарнитура ротора 2 и статора 1 имеет три ряда пазов и выступов на конических поверхностях. Существенным достоинством этих мельниц является жесткая и прочная конструкция рабочих поверхностей, устойчивость к износу при обработке ММ, содержащей твердые включения, а также высокий эффект роспуска пучков волокон за один проход. Так, при размоле оборотного брака при производстве тарного картона содержание пучков за один проход уменьшается с 10 до 2 %, т.е. производится почти полное разделение макулатуры на волокна. Степень помола при этом увеличивается всего на 1÷2 °ШР, укорочение волокон практически не происходит.

Энергоемкость гидродинамических аппаратов в 3÷4 раза ниже, чем ножевых, поскольку затраты энергии на создание сжимающего воздействия на волокна гораздо меньше, чем на создание сдвигового усилия при давлении ножей гарнитуры на слой волокна. Несомненным достоинством этих аппаратов является мягкое воздействие на волокна без их укорочения и диспергирование пучков волокон. Поэтому гидродинамические аппараты часто применяются для дополнительного разволокнения или предварительного размол ММ.

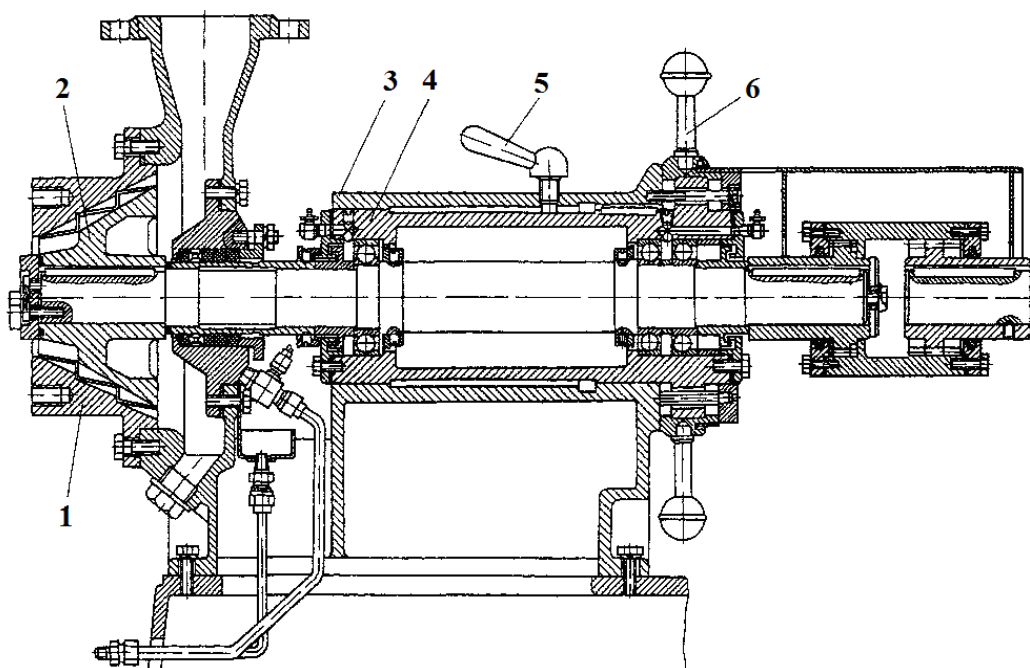


Рис. 7.7. Конструкция пульсационной мельницы:
 1 – статор; 2 – ротор; 3 – станина; 4 – стакан ротора;
 5 – стопор для фиксации положения ротора;
 6 – механизм перемещения ротора

В табл. 7.2 представлены некоторые результаты размолы различных видов макулатуры на мельнице МП-03 для производства коробочного и тарного картона при производительности потока $80 \div 90$ т/сут.

В табл. 7.2 видно, что пульсационная мельница может эффективно использоваться как для доразволокнения макулатурной массы, так и для конечного размолы без значительного изменения показателя средней длины волокна и степени помола.

За один проход массы через мельницу степень разволокнения повышается от $80 \div 90$ до $95 \div 98$ %, в зависимости от состава макулатуры, при удельных энергетических затратах $20 \div 25$ кВт·ч/т. При двухступенчатом включении мельниц степень разволокнения достигает 99 % при энергетических затратах 40 кВт·ч/т. Размол в пульсационной мельнице повышает степень помола массы из книжно-журнальной макулатуры на $6 \div 8$ °ШР, а из картонной макулатуры – на $1 \div 2$ °ШР. При этом масснй показатель средней длины волокна практически не меняется.

Таблица 7.2

Результаты размолы различных видов макулатуры в пульсационной мельнице типа МП-03

Вид макулатуры	До размолы	После размолы	
		за 1 проход	за 2 прохода

	степень помола, °ШР	средняя длина волокна, дг	степень роспуска, %	степень помола, °ШР	средняя длина волокна, дг	степень роспуска, %	степень помола, °ШР	средняя длина волокна, дг	степень роспуска, %
Книжно-журнальная (МС-7Б)	26	54	86,0	32	50	96,2	34	50	98,7
Картонно-мешочная (МС-4А, МС-5Б)	23	85	89,7	24	83	98,0	25	83	99,1
Несортированная (МС-13)	24	62	80,4	27	60	95,1	29	59	97,6

7.3.2. Размол ММ в ножевых мельницах

При выборе ножевых мельниц для установки в технологический поток переработки макулатуры следует уделять внимание соответствию типоразмера мельницы производительности потока. Ввиду того, что при размоле макулатурной массы рекомендуются низкие удельные нагрузки на кромки ножей, для повышения эффективности использования мощности двигателя мельница должна эксплуатироваться на производительности, близкой к максимальной. При этом в мельнице должна устанавливаться размалывающая гарнитура с максимальной длиной секундной режущей кромки, что обеспечивает мягкие условия размола и достаточно высокую степень загрузки двигателя.

Так, например, для технологических потоков производительностью 30 т/сут рекомендуется применять дисковые мельницы МД-02, оснащенные гарнитурой с длиной режущей кромки не менее 70 км/с, для производительности 20÷80 т/сут – МД-14 – с такой же длиной режущей кромки, а для производительности 35÷120 т/сут – дисковые сдвоенные мельницы типа МДС-14 (рис. 7.8) с гарнитурой, имеющей длину режущей кромки около 140 км/с.

Как известно, основным результатом размола достигается в зазоре между ножами гарнитуры статора и ротора. Поэтому важным требованием при размоле является контроль точного сохранения величины зазора между ножами ротора и статора в комбинации с использованием размольной гарнитуры, правильно подобранной для данной массы.

Стабильную работу и равномерный результат размола обеспечивает консольная конструкция конической мельницы типа OptiFiner RF (более ранняя модель мельницы имела наименование Conflo) фирмы Valmet с фиксированным статором и равномерно передвигаемым ротором малой длины (рис. 7.9 и рис. 7.10).

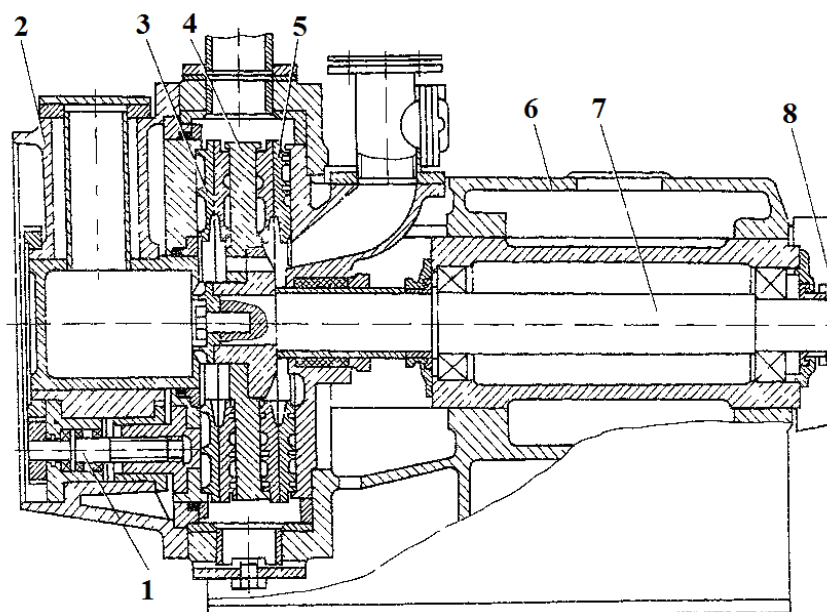


Рис. 7.8. Сдвоенная дисковая мельница типа МДС-14:
 1 – винтовая пара; 2 – крышка камеры; 3 – статор; 4 – диск ротора;
 5 – гарнитура размалывающая; 6 – станина; 7 – вал ротора; 8 – муфта

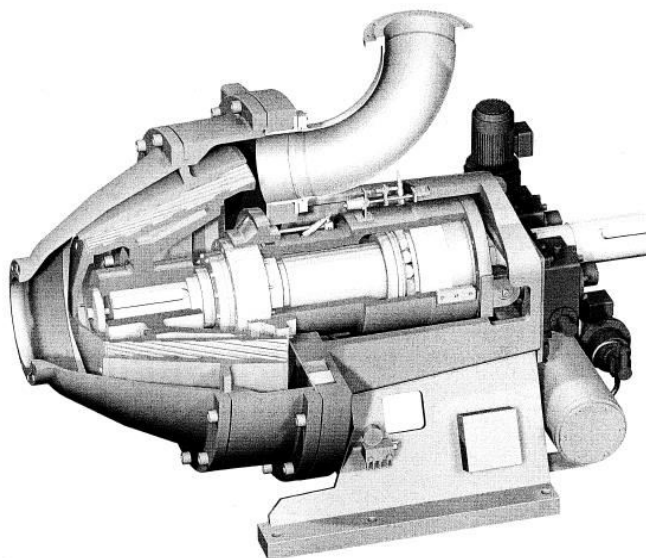


Рис. 7.9. Общий вид мельницы типа OptiFiner RF

Конструктивные особенности этой мельницы сочетают преимущества конических и дисковых мельниц. Они обеспечивают стабильный результат размола, точный контроль зазора между гарнитурой ротора и статора, легкость смены гарнитуры и возможность установки двигателя высокой мощности. Стабильность зазора между ножами ротора и статора поддерживается специальной системой контроля и тонкой регулировки. Благодаря углу конуса изменение величины зазора составляет только 1/3 от осевого перемещения ротора. Конфигурация потока между размольными гарнитурами ротора и статора создает высокую плотность покрытия ножей

волокном. Это, в комбинации с длинной зоной размола, способствует длительному нахождению волокон между гарнитурами и обеспечивает оптимальный результат обработки волокна.

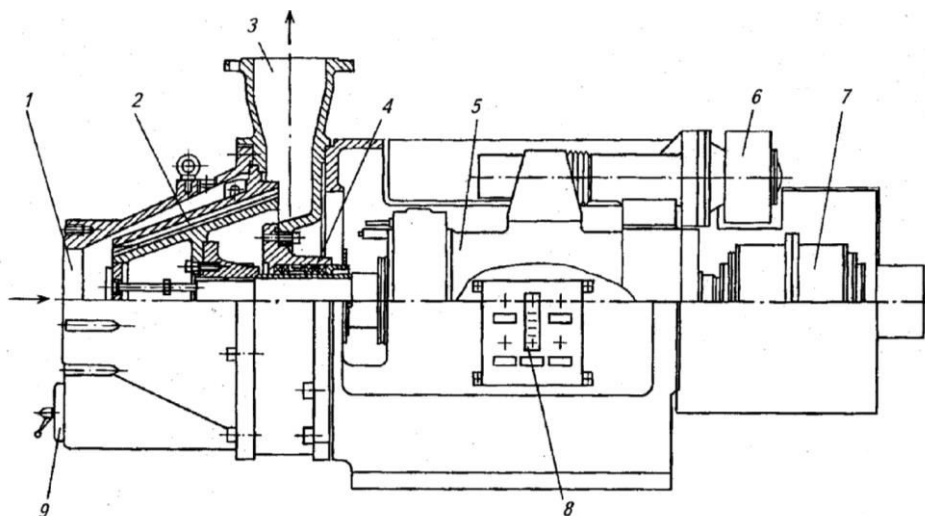


Рис. 7.10. Конструкция мельницы Conflo модели IC-01:

1 – вход массы; 2 – гарнитура размалывающая; 3 – выход массы;
4 – уплотнение вала; 5 – сборочный узел вала; 6 – механизм присадки;
7 – зубчатая муфта; 8 – расходомер уплотнительной воды; 9 – грязевик

Питание мельницы осуществляется по центральному патрубку в узкую часть конуса (что принципиально отличает ее от конических мельниц старого поколения и приближает к дисковым мельницам). Конструкция мельницы характеризуется простотой, надежностью, легкостью обслуживания, низкими эксплуатационными расходами. Замена размалывающей гарнитуры может быть произведена за 1÷3 ч., в зависимости от исполнения. Концентрация массы – 2÷6 %. Типоразмерный ряд мельниц OptiFiner RF включает диапазон производительности от 5 до 800 т/сут, при мощности привода от 90 до 2600 кВт и частоте вращения от 300 до 1800 об/мин, в зависимости от модели.

В процессе размола волокна подвергаются интенсивной внутренней фибрилляции, в результате чего повышается сопротивление разрыву при растяжении и раздирании по сравнению с массой, размолотой в обычной дисковой мельнице. Так, при сравнении результатов размола одинаковой массы в двухдисковой мельнице и в мельнице типа OptiFiner RF для последней отмечаются увеличение сопротивления продавливанию на 5÷10 % и снижение степени помола на 10÷15 % при уменьшении УРЭ на 30÷40 %. Размол в данной мельнице придает вторичным волокнам необходимые бумагообразующие свойства при сохранении средней длины волокна без снижения их прочности. Наилучшие результаты размола ДВФ достигаются при УРЭ 30÷60 кВт·ч/т.

Хорошие результаты по размолу макулатурной массы дает дисковая мельница типа TwinFlo фирмы Voith (рис. 7.11). Данная мельница со сдвоенной гарнитурой обеспечивает эффективный размол ММ благодаря высокой параллельности размалывающей гарнитуры.

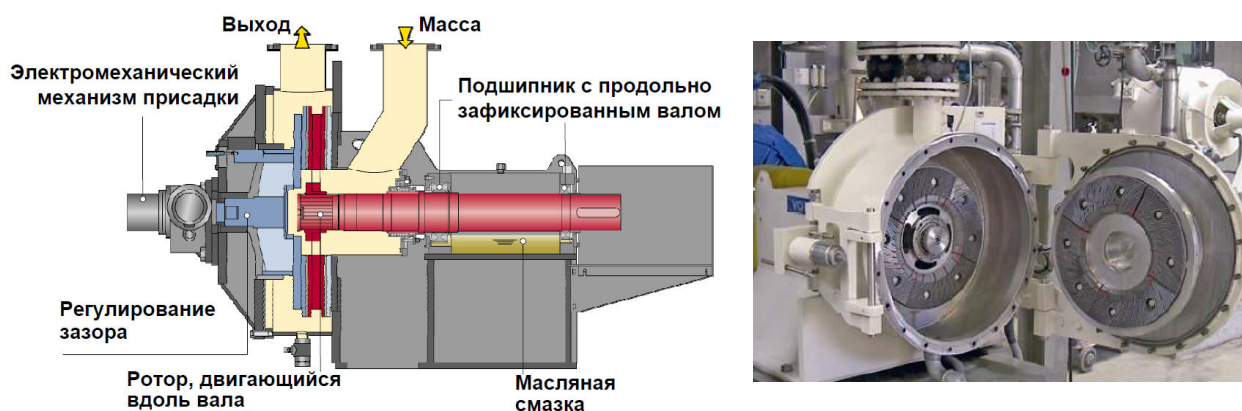


Рис. 7.11. Конструкция и общий вид мельницы TwinFlo фирмы Voith

Преимущества данного аппарата: свободное перемещение ротора в осевом направлении, минимум движущихся деталей, оптимальное соотношение мощностей при отсутствии нагрузки и в режиме эксплуатации, доступность и простота обслуживания.

7.3.3. Гарнитуры ножевых размалывающих мельниц для размола ММ

Под гарнитурой размалывающих аппаратов подразумевают материал и конфигурацию размалывающих ножей, вид расположения их, шаг между ножами на рабочих поверхностях статора и ротора, а также угол наклона ножей, глубина и ширина канавок между ножами.

Размалывающая гарнитура может быть металлической (из высоколегированного чугуна и стали), неметаллической (базальтовой, абразивно-керамической) или смешанной (например, ротор – металлический, а статор – базальтовый).

Узкие ножи гарнитуры рубят волокна за счет высокого удельного давления на кромке. Широкие ножи гарнитуры создают большую, чем узкие ножи, рабочую поверхность размола. При этом снижается удельное давление на кромку ножа, что позволяет получить массу жирного помола с оптимальным сохранением средней длины волокна. Увеличение числа узких ножей на единице площади поверхности гарнитуры позволяет повысить эффективность их работы в размалывающем аппарате за счет усиления расчесывающего эффекта в действии ножей на волокна. В размольных аппаратах с узкими ножами возможно в определенной степени сохранить длину волокон путем снижения удельного давления и применения разбавления массы.

Качество гарнитуры оценивают по ее размалывающей способности. Этот параметр определяется отношением площади поверхности ножей к общей площади гарнитуры. Если отношение составляет $65\div 70\%$, то процесс размола происходит, в основном, в направлении фибриллирования волокон, а при величине параметра около 50% происходит как фибриллирование, так и частичное укорочение волокон. Если этот параметр находится в пределах $35\div 50\%$, то происходит преимущественно укорачивание волокон.

Чем больше высота ножей (или глубина впадин), тем больше срок их службы (продолжительность износа). Но при этом возрастают общие энергозатраты на размол, так как увеличиваются гидродинамические потери. Небольшая высота ножей затрудняет продвижение волокнистой массы внутри аппарата при размоле, что способствует флокуляции волокон массы и неравномерности ее размола. Для волокнистой массы жирного помола принимают приблизительно такое соотношение размеров ножей гарнитуры (высота ножа \times ширина ножа \times ширина канавки): $4,8 \times 3,2 \times 4,8$ мм, для садкого помола – $3,2 \times 6,4 \times 4,8$ мм, для среднего (жирно-садкого) помола – $4,8 \times 4,8 \times 4,8$ мм.

Гарнитура ножевых мельниц работает в жестких условиях. Это абразивный износ, значительное давление между ножами ($1,0\div 1,2$ МПа), кавитация, диапазон рН от 2 до 12, температура среды до 190°C . Указанные факторы приводят к преждевременному износу, деформации гарнитуры, а также перенаклепу, усталости и коррозии металла. В связи с этим ограничен срок службы гарнитуры. Повышение концентрации массы требует увеличения рабочего зазора между ножами ротора и статора, за счет чего может увеличиться срок службы гарнитуры. Срок службы гарнитуры гидродинамических мельниц составляет обычно $1\div 2$ года. Долговечность гарнитуры зависит от качества очистки ММ, химического состава материала ножей, метода изготовления, термомеханической обработки его и условий эксплуатации.

Заново установленная гарнитура в начале своей работы ($\sim 5\%$ срока службы) преимущественно рубит волокно, и качество массы будет пониженным. Этот период называют периодом «прицековки». По мере износа гарнитуры зазор между ножами постепенно уменьшают, что приводит к повышению энергоемкости процесса и снижению производительности. В конце срока службы – износ максимальный, и снова наблюдается укорочение волокна из-за минимального зазора между ножами. Для решения проблем неравномерности работы гарнитуры в период срока службы используют системы мельниц, гарнитуры которых заменяются по очереди, в разное время.

О разнообразии вариантов геометрии гарнитуры дисковых мельниц можно судить по рис. 7.12. Оно обусловлено различием свойств размалываемой массы, ее концентрации и задач размола. На практике наиболее часто используются два варианта рисунков гарнитуры:

- расходящиеся ножи, расположенные по касательной к некоторой вспомогательной окружности (III, V);
- ножи, расположенные параллельно друг другу в пределах одного сектора (I, II).

Регулирование соотношения фибриллирующего и укорачивающего воздействий на волокна возможно путем подбора угла скрещивания ножей ротора и статора. Кроме того, определенную роль играет угол наклона ножей к радиусу (для дисковой мельницы). Если этот угол равен 0° , происходит преимущественно режущее действие при минимальной удельной энергоемкости. При угле наклона, равном 45° , происходит расчесывание (фибрилляция) волокна при максимальной удельной энергоемкости. На практике этот угол принимают равным $12 \div 25^\circ$.

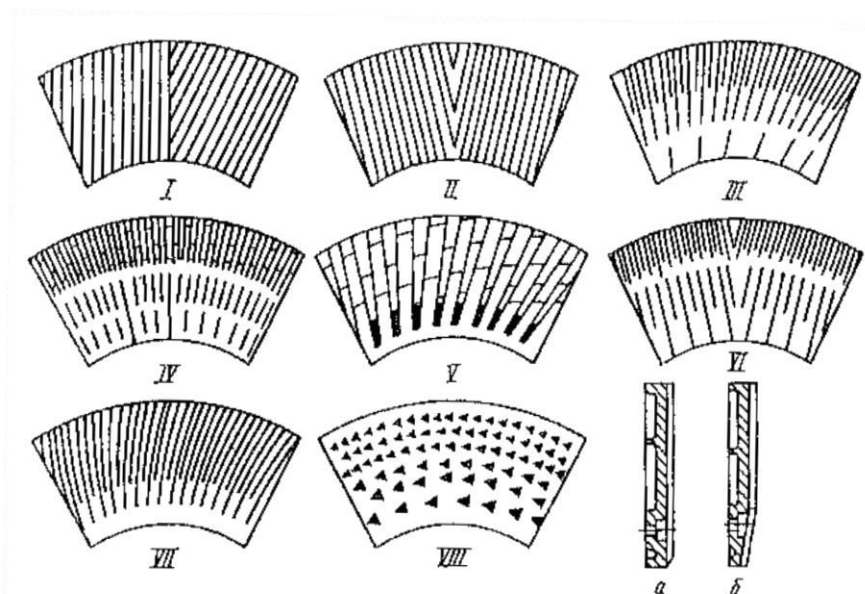


Рис. 7.12. Варианты конфигурации ножевой гарнитуры дисковых мельниц:

- 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 – пирамидальные зубья;
- a – сечение гарнитур I, II, III типов для массы низкой концентрации;
- b – сечение гарнитур IV, V, VI типов для массы высокой концентрации

Имеет значение и направление вращения ротора по отношению к наклону ножей гарнитуры. Если направление совпадает, то мельница работает в режиме удержания массы в зоне размола, если нет – то увеличивается пропускная способность мельницы (режим «прокачивания»).

В процессе эксплуатации гарнитура ротора мельницы истирается интенсивнее, чем статора. Это объясняется тем, что волокнистый слой при размоле образуется преимущественно на ножах гарнитуры статора, способствуя защите его рабочей поверхности. Поэтому желательно гарнитуру ротора изготавливать из более твердых материалов, чем гарнитуру статора.

По сравнению с металлической гарнитурой определенными преимуществами обладает абразивно-керамическая гарнитура. Она имеет гораздо больший срок службы, а благодаря наличию многочисленных абразивных выступов на кромках ножей происходит хорошее фибриллирование волокон без существенного их укорачивания. Также снижаются расход энергии на размол и шумовой фон при работе мельницы.

7.4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Оптимизация процесса размола ММ обеспечивается выбором значений основных факторов, определяющих режим работы соответствующего оборудования. К таким факторам относятся: природа и химический состав волокна, продолжительность размола, давление в мельнице и величина зазора, концентрация массы, величина рН и температура массы при размоле, наличие гидрофильных химических добавок, окружная скорость ротора и вид гарнитуры. Первые шесть факторов, определяющих режим размола, являются регулируемыми, а последние три – неизменны в конкретных условиях производства. Ниже кратко рассмотрено влияние этих факторов.

Природа и химический состав волокна ММ

ММ из сульфитной хвойной целлюлозы в одинаковых условиях размалывается быстрее, чем из сульфатной, а ММ из лиственных пород – гораздо быстрее, чем из хвойных. По степени подверженности размолу ММ из целлюлоз различных пород древесины можно разместить в следующем порядке: тополевая, осиновая, березовая и еловая.

Хвойные волокна обладают преимущественно ленточной структурой, а лиственные – более короткие и имеют трубчатую форму. Ленточные волокна лучше задерживаются на кромках ножей при размоле и поэтому сильнее набухают и фибриллируются. В одинаковых условиях размола целлюлоза из лиственных пород древесины размалывается быстрее, чем хвойная.

Наличие гемицеллюлоз в составе ММ из целлюлозы приводит к ускорению размола и способствует улучшению механических показателей продукции. Гемицеллюлозы способствуют более эффективной обработке поверхности волокна, что сопровождается увеличением числа свободных гидроксильных групп, которые при сушке бумаги образуют дополнительные межволоконные связи.

Лигнин, содержащийся в волокнах ММ из древесной массы, приводит к увеличению жесткости и ломкости бумаги, снижает степень набухания волокон в процессе размола. В результате чего теряется часть бумагообразующих свойств бумаги.

Продолжительность размола ММ

Определяет уровень разработки волокон, т.е. среднюю длину волокон и степень их фибриллирования. При увеличении продолжительности размола степень помола растет на разных этапах в разной степени. Так, в начале процесса, когда волокна набухают и разрабатываются, происходит незначительный рост степени помола до уровня 25÷30 °ШР. Далее происходит резкий подъем степени помола до 45÷50 °ШР, а затем прирост степени помола замедляется вплоть до 95÷98 °ШР. Увеличение продолжительности размола, одновременно с увеличением степени помола, снижает производительность мельницы и, соответственно, увеличивает расход энергии.

Для получения массы жирного помола необходимо последовательное использование нескольких размалывающих аппаратов. Целесообразно после 2÷3-х аппаратов направлять ММ в промежуточный бассейн для набухания волокна в течение 1÷2 ч. Для осуществления садкого помола необходимо меньше времени, чем для жирного.

В современных аппаратах непрерывного принципа действия продолжительность размола зависит от конструкции аппарата и требуемой производительности. Величина продолжительности обработки на одной ступени размола может составлять от десятых долей до нескольких секунд. Увеличение продолжительности процесса размола достигается следующими способами:

- путем многократного пропускания ММ через размалывающий аппарат путем циркуляции;
- путем создания подпора массы на выходе прикрытием задвижки (дросселирование);
- пропусканием массы через несколько размалывающих аппаратов;
- выбором направления вращения ротора, совпадающим с углом наклона ножей гарнитуры к радиусу.

Давление в мельнице и величина зазора при размоле

Определяет удельное давление на волокна в мельнице при размоле. Высокое удельное давление приводит к преимущественной рубке волокон, а низкое – к их преимущественному фибриллированию. Это давление тем больше, чем меньше величина зазора между размалывающими поверхностями аппарата. В свою очередь, величина зазора зависит от концентрации размалываемой ММ, требуемого характера помола и вида размалываемой макулатуры. Так, величина зазора при дороспуске ММ

обычно составляет от 1,5 до 1,0 мм, при легком фибриллировании – от 1,0 до 0,5 мм, при более интенсивном расчесывании и расщеплении волокон – от 0,5 до 0,2 мм, а при рубке волокон с получением ММ садкого помола величина зазора составляет 0,1 мм и менее.

При выборе надлежащего удельного давления следует иметь в виду, что при его увеличении продолжительность процесса размола сокращается с одновременным снижением расхода энергии на размол. Однако в это же время происходит нарастание явления рубки (укорочения) волокон, что отражается на показателях качества продукции. Практически, при размоле довольно трудно определить истинное удельное давление на волокно, поэтому косвенно можно оценивать характер процесса размола по величинам удельной нагрузки на кромки ножей и удельного расхода полезной энергии, которым пропорционально удельное давление на размалываемое волокно.

Концентрация ММ при размоле

Выбирается в соответствии с типом используемого размольного оборудования и желаемого характера помола ММ. Для получения садкого помола с укороченным волокном размол производят при низкой концентрации. В этом случае на каждое отдельное волокно, которое попадает между ножами мельницы, приходится повышенное удельное давление, способное его разрушить. Для получения ММ жирного помола с хорошо фибриллированными волокнами размол производят при повышенной (до 7÷8 %) концентрации. В этом случае увеличивается толщина волокнистой прослойки между ножами мельницы. В результате гораздо меньше волокон непосредственно контактирует с ножами и разрушается. На каждое отдельное волокно приходится меньшее удельное давление. Одновременно возрастает взаимное трение между волокнами, которое способствует их расчесыванию и фибриллированию.

При концентрации большей, чем 10 %, масса становится нетекучей и превращается во влажную крошку, которая плохо разделяется на отдельные волокна при размоле. Наблюдается процесс деструкции гемицеллюлозы в результате нагревания массы за счет трения, что приводит к дополнительной флокуляции ее при производстве бумаги. Одновременно снижается степень белизны и ухудшаются печатные свойства продукции.

Величина рН при размоле ММ

Влияет на скорость размола и на показатели прочности бумаги. Размол ММ в кислой среде происходит несколько медленнее, чем в нейтральной. Он может сопровождаться некоторым уменьшением длины волокон. Процесс размола ускоряется, а энергозатраты на него сокращаются при размоле в слабощелочной среде. Это связано с увеличением степени набухания волокон в щелочной среде, при котором может наблюдаться снижение

степени белизны (пожелтение) продукции Пожелтение можно устранить путем добавления в ММ перекиси водорода (2 % от массы а.с.в.). Также возможно ухудшение механических показателей продукции из-за частичной деструкции целлюлозных волокон.

Температура ММ при размол

Является важным и практически управляемым фактором процесса размола волокон. Активное набухание и гидратация волокон в процессе размола ММ, содержащей преимущественно целлюлозные волокна, сопровождается выделением тепла. Поэтому понижение температуры массы перед размолем приводит к повышению способности волокон массы связывать воду и набухать. Практика показывает, что процесс размола легче и быстрее протекает в зимнее время года, в более холодной производственной воде. В таких условиях волокна лучше фибриллируются, что положительно сказывается на показателях прочности изготавливаемой продукции. Если процесс размола проходит при повышенной температуре, волокна получаются недостаточно эластичные и гибкие, плохо фибриллируются и в большей степени рубятся из-за недостаточной степени их набухания. Это также приводит к увеличению продолжительности размола, повышению расхода энергии и к снижению механических показателей продукции. Оптимальным температурным режимом размола ММ из бисульфитной лиственной целлюлозы считается температура 55÷65 °С, а из бисульфитной хвойной – 30÷40 °С.

Это не относится к ММ, содержащей преимущественно древесную массу. Подогрев такой массы полезен и приводит к повышению механической прочности размолотой массы. В данном случае повышение температуры приводит к пластификации лигнина и гемицеллюлоз волокон, что обеспечивает их размол, так как этот процесс превалирует над снижением степени набухания целлюлозного компонента волокна. Вторичные волокна механической массы улучшают свои бумагообразующие свойства при рафинировании в условиях высокой концентрации массы. Это происходит, в основном, за счет уменьшения толщины стенки клетки волокна, сопровождающегося освобождением части фибрилл. Размол древесной массы улучшается при температуре 60÷90 °С, которая способствует пластификации лигнина в ней.

Гидрофильные химические добавки при размол

Их использование способствует процессам набухания волокон и повышает их эластичность и гибкость. Кроме того, они благоприятствуют образованию дополнительных межволоконных связей в изготавливаемой

продукции. Добавление в ММ таких гидрофильных веществ, как альгинаты, манногалактаны, крахмал, карбамид, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и др. в количестве около 0,1 % к массе существенно снижает продолжительность размола и энергозатраты на него.

Окружная скорость ротора мельницы

Является фактором, практически не регулируемым в условиях конкретного производства. Обычно размол ММ производится при следующих окружных скоростях: в конических мельницах скорость составляет $8 \div 22$ м/с, в дисковых мельницах – $22 \div 100$ м/с.

При увеличении скорости ротора увеличивается и гидратирующее воздействие ножей на волокно, что приводит к лучшему набуханию и фибриллированию волокон. Одновременно увеличивается и УРЭ на размол. Это происходит из-за роста потерь на гидродинамическое сопротивление движению ММ внутри размалывающего аппарата. В связи с этим, при выборе окружной скорости ротора обязательно следует учитывать два фактора: требуемое качество подготовки ММ и допустимую энергоемкость процесса размола.

Вид размалывающей гарнитуры

Влияние этого фактора достаточно подробно рассмотрено в п. 7.3.3.

8. ТЕРМОДИСПЕРСИОННАЯ ОБРАБОТКА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Для придания бумагам и картонам барьерных свойств (водо- и жиронепроницаемости) производится соответствующая обработка их путем пропитки или нанесения на их поверхность нерастворимых проклеивающих веществ, битума, воска, парафина и т.п. Кроме того, внедрение новых способов печати и повышение скорости печатных машин потребовало применения быстросохнущих красок, которые производятся на основе синтетических смол, не растворимых в воде. Наличие крупных частиц этих веществ (макрочастиц) в макулатуре приводит к повышенному содержанию различных термопластичных загрязнений в ММ. Они создают затруднения при эксплуатации очистного и сортирующего оборудования, загрязняют сетки, сукна, прессовые валы и сушильные цилиндры бумагоделательных машин. Это является причиной образования дыр, пятен и других дефектов на бумажном полотне и, как следствие, его обрыва. Наличие частиц печатной краски снижает белизну и качество продукции, содержащей макулатуру из запечатанных видов бумаги и изделий из нее.

Удаление указанных загрязнений с помощью традиционных процессов очистки и сортирования массы труднодостижимо, а иногда и экономически невыгодно. В связи с этим достаточно широко используется процесс механического диспергирования ММ при повышенной температуре и концентрации. Он называется термодисперсионной обработкой (ТДО).

Термодисперсионная обработка ММ служит для разрушения термопластичных включений, клеевых частиц и частиц печатной краски и/или тонирующих веществ до размеров, не видимых невооруженным глазом (менее 40 мкм), и равномерного распределения их в массе. После диспергирования они не оказывают существенного влияния на процессы производства и качество бумаги и картона. ТДО базируется на общем свойстве данных загрязнений пластифицироваться (размягчаться) при повышенных температурах и диспергироваться (измельчаться) при интенсивных механических воздействиях.

ТДО – применяют при выпуске картона для плоских слоев гофрокартона, бумаги санитарно-гигиенического назначения, писче-печатных бумаг и других видов продукции, в композиции которых используется макулатурное сырье.

ТДО – это многофункциональный процесс, который может служить для решения различных задач обработки ММ. Среди них:

- отделение от волокон частиц печатной краски и/или тонирующих веществ для возможности их дальнейшего удаления на последующих стадиях обработки ММ;
- диспергирование плавких включений, клеевых частиц, частиц печатной краски и меловальных покрытий и их равномерное распределение в ММ;

- смешивание отбелных реагентов с ММ и ее попутная отбелка;
- увеличение пухлости получаемой из ММ продукции;
- стерилизация массы.

В табл. 8.1 обобщены основные задачи, решаемые с помощью ТДО для различных видов бумаги и картона, производимых с применением макулатуры.

Таблица 8.1

Задачи ТДО ММ для различных видов продукции

Задачи диспергирования	Газетная бумага	Суперкаландрированная бумага	Легкоолованная бумага	Макулатурный картон	Санитарно-гигиеническая бумага СГБ (тишью)	Картон	
						внутренние слои	внешние слои
Отделение печатной краски или тонирующих веществ	+	+	+		+		
Диспергирование пигментных покрытий	+	+	+	+	+	+	+
Диспергирование липких веществ	+	+	+	+	+	+	+
Смешивание отбеливающих реагентов с массой	+	+	+	+	+		
Увеличение пухлости					+	+	
Стерилизация массы				+	+	+	

8.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕРМОДИСПЕРСИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

В зависимости от состава и температуры (пластификации) плавления основной массы указанных выше типов включений в ММ, используют два режима ТДО: «холодное» (при атмосферном давлении и температуре до 95 °С) и «горячее» (при давлении 0,3÷0,5 МПа и температуре 130÷150 °С).

При «холодном» диспергировании ММ частицы загрязнений с низкой температурой плавления размягчаются и диспергируются. Невысокая температура процесса мало влияет на механические показатели продукции. Поэтому после ТДО массы в таком режиме, как правило, нет необходимости в дополнительном размоле ММ.

«Горячая» ТДО ММ применяется при наличии в массе посторонних веществ с температурой плавления свыше 100 °С. Следует помнить, что «горячая» ТДО ММ приводит к ослаблению межволоконных связей и снижению показателей механической прочности продукции. После ТДО в таком режиме желательно производить дополнительный подмол ММ для восстановления утраченных бумагообразующих свойств.

Необходимость повышения концентрации обрабатываемой массы до 25÷35 % продиктована стремлением к экономии расхода пара на ее прогрев и снижению необходимых затрат энергии на диспергирование. Одновременно, за счет повышения концентрации массы, существенно повышается взаимное трение волокон друг о друга, обеспечивающее эффективное отделение загрязнений от них и дополнительное выделение тепла.

Экономичность процесса ТДО ММ зависит от удельного расхода энергии и производительности системы. Увеличение мощности приводов оборудования установки дает рост производительности в большей, чем прямо пропорциональной степени. Поэтому снижения УРЭ можно добиться путем увеличения производительности установки за счет повышения мощности приводов. При неизменной производительности установки и концентрации массы наибольшие УРЭ требует масса из макулатуры, содержащей преимущественно небеленую сульфатную целлюлозу. Наименьшие – при обработке массы, содержащей преимущественно сульфитную беленую целлюлозу. Обычно расход энергии колеблется в пределах от 30 до 130 кВт·ч/т, в зависимости от вида волокна и параметров установки.

На рис. 8.1, в качестве примера, представлена диаграмма изменения основных показателей массы из газетной и книжно-журнальной макулатуры (МС-8В, МС-7Б) в зависимости от температуры процесса, при удельном расходе энергии на диспергирование 63÷69 кВт·ч/т а.с. волокна и концентрации массы 24÷26 %.

Как видно на рис. 8.1, при повышении температуры с 60 до 90÷98 °С и далее до 135÷140 °С практически все физико-механические характеристики массы снижаются. Исключение составляет показатель воздухопроницаемости, который с увеличением температуры достаточно резко возрастает.

При переработке бумажных мешков и картонных ящиков, обработанных влагостойкими веществами с точкой плавления выше 100 °С (битум, некоторые полимерные покрытия), в режиме горячего термодиспергирования в течение 6÷8 мин при температуре 130÷150 °С

происходит хорошее диспергирование указанных включений, но заметно снижаются бумагообразующие свойства волокон.

Технология ТДО обязательно включает следующие стадии: сгущение, нагревание и диспергирование ММ. В табл. 8.2 приведены решаемые на каждой стадии обработки задачи и их влияние на свойства волокон отдельных стадий ТДО.

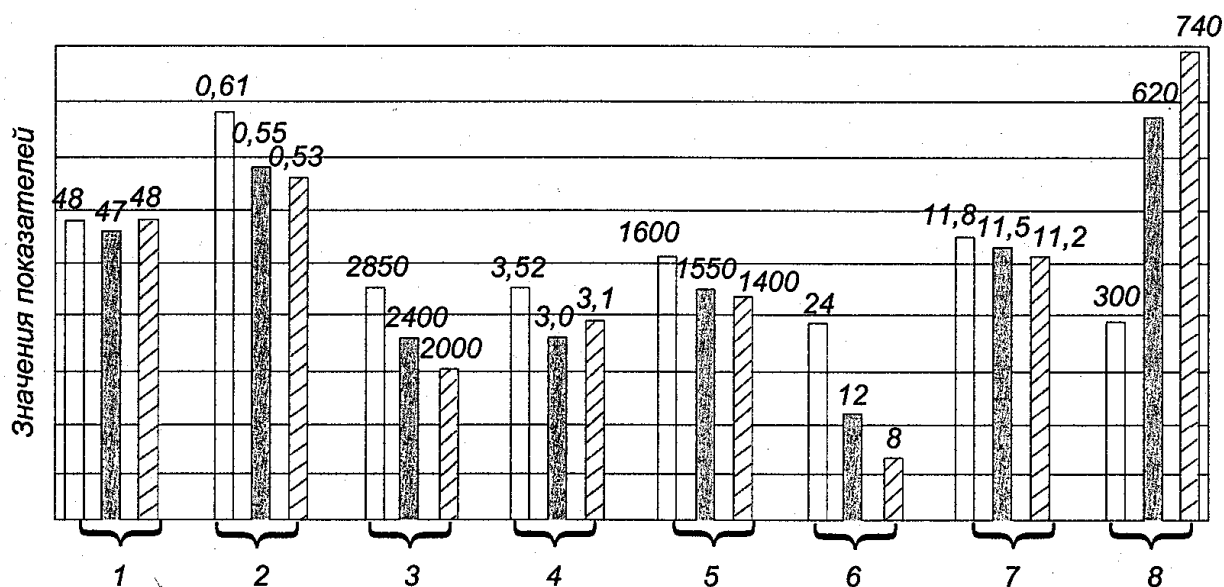


Рис. 8.1. Диаграмма изменения качественных показателей массы после термодисперсионной обработки при температуре 60 °С (□), 90÷98 °С (■) и 135÷140 °С (▨):

- 1 – степень помола, °ШР; 2 – удельная масса, кг/дм³;
- 3 – разрывная длина, м; 4 – среднее удлинение, %;
- 5 – сопротивление продавливанию, кПа; 6 – число двойных перегибов;
- 7 – сопротивление раздиранию, мН·м²/г;
- 8 – воздухопроницаемость, см³/мин

Таблица 8.2

Стадии процесса диспергирования ММ

Стадия процесса	Решаемые задачи	Влияние на свойства волокон
Обезвоживание (сгущение)	Увеличение концентрации и вязкости суспензии, вызывающие высокие сдвиговые деформации. Удаление растворенных загрязнений (в отдельном контуре фильтра)	Удаление мелочи

Нагревание	Размягчение липких загрязнений и краски. Стерилизация массы. Снижение содержания микроорганики. Возможно добавление отбеливающих реагентов	Придание волокнам гибкости. Уменьшение степени водоудержания
------------	--	--

Окончание табл. 8.2

Стадия процесса	Решаемые задачи	Влияние на свойства волокон
Диспергирование	Отделение от волокна и диспергирование липких загрязнений и частиц краски	Пластификация волокон. Изменение формы волокон (скручивание, изгиб)

8.2. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОДИСПЕРСИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАССЫ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ВОЛОКОН

8.2.1. Особенности технологии диспергирования битумных, парафиновых и других включений в ММ

Как показали исследования, сокращение площади пятен на готовой продукции от загрязнений при «горячем» диспергировании экспоненциально зависит от УРЭ на диспергирование. Для повышения эффективности процесса диспергирования ММ, содержащей битумные добавки, можно использовать различные вспомогательные вещества.

Это могут быть добавки щелочи в массу до рН 7,5÷8,5 перед диспергированием. После диспергирования и понижения рН до 7 и менее битум теряет свою липучесть. Также возможно использование ароматических или насыщенных углеводородов в присутствии смачивающих веществ. Величину рН в этом случае устанавливают на уровне 8,5÷9,5, а температуру массы – до 95 °С. В качестве защитного коллоида в массу добавляют карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ).

Действие химикатов для интенсификации диспергирования битума происходит по трем направлениям:

- снижение вязкости;
- ослабление сил поверхностного натяжения;
- осаждение тонко диспергированного битума на волокна.

Бумагу с содержанием воска (парафина) менее 10 % вполне возможно перерабатывать методом диспергирования. В роли диспергатора часто используют даже обычную бракомолку. Частицы воска отделяются от

волокон за счет действия сульфата алюминия. При добавке окиси кальция в массу, содержащую парафин, образуется гидроксид кальция, сорбирующий в себе диспергированные частицы парафина, которые затем удаляются из массы с помощью центрифуги или пресс-фильтра.

Роль диспергирования при борьбе с липкими включениями рассматривается в разд. 9.6, ч. III.

8.2.2. Влияние ТДО на свойства волокон ММ

На рис. 8.1 показано стабильное повышение показателя воздухопроницаемости макулатурной массы в результате ТДО. Одновременно, на данном рисунке наблюдается снижение удельной массы полотна с увеличением температуры диспергирования. Как правило, эти показатели напрямую связаны с пористостью материала. При этом, как показала практика, при диспергировании не происходит заметных изменений фактической длины волокон, а показатели прочности систематически снижаются.

Указанные явления могут быть объяснены, в первую очередь, изменением формы волокон в массе при ТДО. Это предположение подтверждается анализом полученных с помощью микроскопа изображений конфигурации волокон до и после диспергирования. Наблюдается заметное увеличение степени изогнутости волокон, которую называют «завиванием». Показателем степени завивания служит индекс завивания, или фактор формы. Он определяется отношением реальной длины волокна к расстоянию между его крайними точками в массе. В принципе, деформация волокон в той или иной степени происходит при любой механической обработке волокнистой массы, но особенно заметно она проявляется после ТДО ММ.

Если завивание волокон произошло в результате отдельных стадий процесса приготовления массы, это вовсе не означает, что в таком виде волокна сохранятся до напорного ящика БДМ. Часть изогнутости волокон, в зависимости от композиции и технологических параметров, обратима (латентна). Например, возможность заметной обратимости завивания наблюдается в макулатурной массе после стадии ее сгущения перед диспергированием.

Степень завиваемости волокон и ее обратимость сильно зависят от композиции ММ. Макулатурная масса, содержащая древесную массу (марка МС-8В), имеет высокую степень обратимости завивания, в то время как завивание волокон в массе из целлюлозных волокон в значительной степени необратимо. Обратимость завивания волокон суспензии, содержащей древесную массу, приписывают упругой структуре древесного волокна. На завиваемость волокон также влияет температура обработки массы. Так как волокна пластифицируются и легко деформируются при высокой температуре, то завивание с повышением температуры обработки становится более интенсивным.

Сравнения показывают, что завивание волокон в процессе диспергирования происходит в любом случае, но при этом оно заметно меньше при использовании диспергаторов дискового типа, особенно в горячем режиме. Большой эффект завивания наблюдается в диспергаторах растирающего типа. При оценке влияния диспергирования на прочностные характеристики массы установлено, что в дисковых диспергаторах понижение их наблюдается в меньшей степени, чем в диспергаторах растирающего типа.

Завивание волокна в процессе термодисперсионной обработки макулатурной массы вызывает следующие эффекты:

- повышение растяжимости бумажного полотна во влажном состоянии и его усадки при сушке;
- снижение удельной массы полотна;
- повышение абсорбционной (поглощительной) способности и пористости;
- повышение способности к обезвоживанию на БДМ;
- понижение стандартной (по двум крайним точкам) длины волокна.

В большинстве случаев эти эффекты, а также уменьшение прочностных характеристик продукции, нежелательны. Но иногда, например, при производстве бумаги санитарно-гигиенического назначения, завивание волокон полезно для придания продукции большей мягкости, пористости и впитываемости.

В заключение следует еще раз отметить, что попытки диспергированием добиться повышения механической прочности волокна не имеют перспективы. Сохранения или даже небольшого повышения механической прочности можно добиться путем использования «холодного» диспергирования и/или дополнительного подмола при низкой концентрации массы, т.е. после ее разбавления.

8.3. ОБОРУДОВАНИЕ И СХЕМЫ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕРМОДИСПЕРСИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

8.3.1. Оборудование для сгущения ММ

На первой стадии ТДО производят сгущение ММ от концентрации около 3,0 % до концентрации 25÷35 %. Кроме ТДО, сгущение, как технологическая операция, используется на многих стадиях процесса подготовки ММ: перед сортированием, размолом, отбелкой и хранением массы, а также при подготовке к утилизации отходов и шлама при обработке оборотной воды в локальных контурах водопользования. Следует отметить, что процесс сгущения ММ наблюдается также и при промывке ММ (разд. 9.3.1, ч. III).

Производительность оборудования для сгущения волокнистой суспензии зависит, прежде всего, от площади фильтрующей поверхности, а также от режимов работы и продолжительности процесса сгущения. Интенсивность процесса сгущения зависит от концентрации массы на входе, температуры, водоудерживающей способности и состава поступающей ММ. Например, повышение температуры увеличивает эффективность обезвоживания ММ за счет снижения вязкости воды. Способность массы к обезвоживанию обычно определяется степенью помола или величиной водоудержания (WRV). Для повышения степени сгущения ММ применяют механическое прессование волокнистой массы между валами, сетками или с помощью винтового пресса.

Процесс сгущения осуществляется с помощью различного оборудования, в зависимости от требуемой производительности и концентрации ММ на выходе. В табл. 8.3 приведены характеристики некоторых типов оборудования для сгущения ММ.

Для сгущения ММ от концентрации 0,5÷1,0 % до 6÷9 % используют, в основном, барабанные сгустители (рис 8.2), которые обычно устанавливают перед размолотом или аккумулярованием ММ. Масса, которая подается на отбелку или хранение, сгущается до концентрации 12÷17 % на ленточных, дисковых вакуумных фильтрах или винтовых (шнековых) прессах. Для сгущения ММ до концентрации 25÷35 %, осуществляемого для ТДО и предварительной отбелки, используют аппараты, работающие по принципу давления и прессования массы: винтовые или ленточные прессы. В отдельных случаях сгущение массы производят в две ступени: предварительное (до концентрации около 8÷10 %) и окончательное (до концентрации 25÷35 %).

Для предварительного сгущения используют барабанные аппараты и экстракторы.

Таблица 8.3

Основные характеристики оборудования для сгущения ММ

Оборудование	Концентрация массы, %		Сгущение за счет			
	на входе	на выходе	сил тяжести	вакуума	давления	прессования
Барабанный сгуститель	≤ 2,0	5÷9	+			(+)
Сгуститель-экстрактор	≤ 2,0	4÷8	+			
Дисковый фильтр	≤ 2,0	5÷10, до 20	+	(+)		
Ленточный фильтр	≤ 2,0	5÷10	+	(+)		
Ленточный фильтр давления	1,0÷3,5	5÷10, до 20	+		+	
Двойной сеточный пресс	2,0÷4,0	20÷35	+		+	+

Оборудование	Концентрация массы, %		Сгущение за счет			
	на входе	на выходе	сил тяже- сти	вак у- ума	давл ени я	прес- сова- ния
Двухбарабанный сгуститель	1,5÷5,0	20÷35		(+)	+	+
Винтовой пресс	≥ 3,5	20÷35	+			+
Ленточный пресс	≤ 2,0	5÷10, до 30		(+)	+	(+)

Барабанный сгуститель представляет собой вращающийся полый цилиндр, покрытый фильтрующей сеткой, который погружен в ванну, заполненную волокнистой суспензией. Оседающая на сетке цилиндра волокнистая масса сгущается в результате разности гидростатического давления, создаваемого путем разности уровней суспензии в ванне и фильтрата внутри цилиндра. Фильтрат непрерывно удаляют из цилиндра через полый вал или открытый торец. Сгущенный слой ММ снимают с поверхности сетчатого цилиндра с помощью шабера, или гауч-вала, который одновременно служит прижимным валом и увеличивает сухость фильтруемого слоя.

Конструктивная схема шаберного сгустителя представлена на рис. 8.2. Он состоит из перфорированного металлического, обтянутого сеткой цилиндра 1, который вращается в ванне 2. Над цилиндром установлен прижимной вал 4 с шабером 5. Для предотвращения разбрызгивания массы ванна сверху закрыта колпаком 3. Фильтрат, попадающий внутрь цилиндра, сливается через его открытый торец. Регулировка уровня воды производится подвижным щитом в открытом торце цилиндра. Прижимной вал изготовлен из стальной трубы и покрыт мягкой резиной. Усилие прижима регулируется. К рычагам прижимного вала крепится корпус шабера с регулируемым зазором. Промывка сетки сгустителя осуществляется с помощью неподвижного spryska 6.

Масса на сгущение поступает в приемный отсек через два отверстия в нижней части корпуса сгустителя. При достижении верхнего уровня регулировочного щита масса переливается через него и заполняет ванну. Под действием статического давления вода с частью мелкого волокна проходит через сетку внутрь цилиндра и удаляется через его торец из сгустителя. На поверхности цилиндра образуется слой сгущенной массы, который в зазоре между цилиндром и прижимным валом дополнительно обезвоживается, переходит с сеточного цилиндра на прижимной вал, снимается с него шабером и по наклонному щиту через приемный бункер выводится из сгустителя в бассейн сгущенной массы.

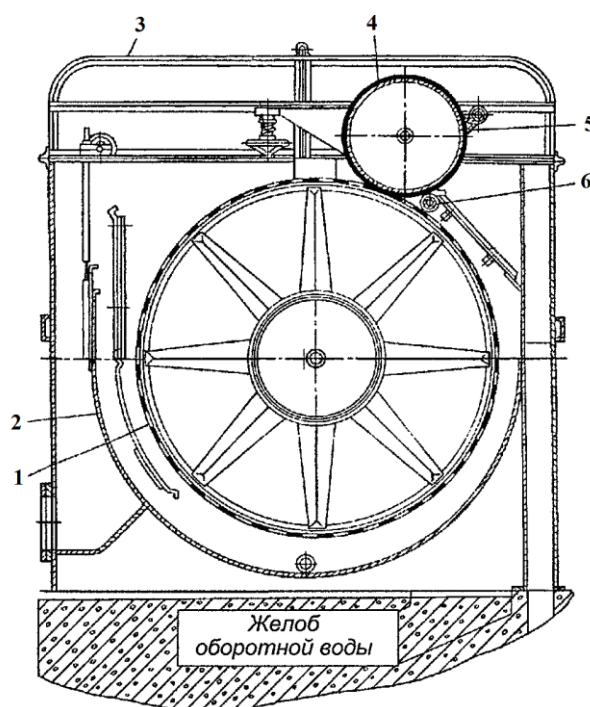


Рис. 8.2. Конструктивная схема шаберного сгустителя типа СШ:

1 – сеточный цилиндр; 2 – ванна; 3 – колпак;
4 – прижимной вал; 5 – шабер; 6 – спрыск

Производительность шаберных сгустителей в зависимости от типоразмера аппарата находится в пределах $8 \div 65$ т/сут в.с. волокна при установленной мощности привода от 2,2 до 15,0 кВт. Площадь фильтрующей поверхности цилиндра составляет от 6 до 32 м^2 . При прочих равных условиях производительность сгустителя возрастает с повышением концентрации и температуры входящей массы, снижением степени помола массы, увеличением перепада давления и частоты вращения цилиндра до $12 \div 18$ об/мин. Большое значение имеет чистота фильтрующей сетки цилиндра.

Сгуститель-экстрактор обычно состоит из наклонно установленного сеточного цилиндра с отверстиями или щелями и внутреннего винтового ротора. В отличие от винтового пресса, ротор экстрактора не конический и поэтому внутри аппарата отсутствует изменение давления на сгущаемую массу. Суспензия с помощью винтового ротора (шнека) продвигается в верхнюю часть аппарата по спирали. Фильтрат свободно проходит через отверстия сита, а сгущенная масса непрерывно удаляется. Концентрация массы после экстрактора составляет $4 \div 8$ %.

В качестве сгустителей ММ иногда используют наклонные сортировки (см. рис. 5.18), основным рабочим элементом которых является изогнутое металлическое сито с горизонтальными щелями шириной $0,15 \div 2,0$ мм. Сгущение осуществляется при течении массы над горизонтальными щелями без образования фильтрующего слоя. Производительность наклонных сортировок невелика, поэтому их используют преимущественно для сгущения отходов или улавливания волокна.

Для сгущения до высоких значений концентрации используют дисковые фильтры, двухбарабанные, сеточные и шнековые аппараты.

Дисковые фильтры представляют собой ванну, длиной до 12 м, в которой вращаются полые диски диаметром 3,0÷5,5 м. Диски монтируются на равном расстоянии друг от друга на полом вала. Диск состоит из отдельных секторов с обеих сторон покрытых синтетической фильтрующей сеткой. Фильтрующие диски частично погружены в суспензию и вращаются со скоростью 0,5÷2,0 об/мин. Обезвоживание происходит за счет разности уровня суспензии в ванне и уровня фильтрата, который выводится через полый вал. Если внутри полого вала специально создается вакуум, то величина абсолютного перепада давления в полости диска по мере погружения его в ванну постепенно увеличивается. В начальной стадии погружения секторов дисков в суспензию происходит формирование фильтрующего волокнистого слоя, часть которого сохраняется в течение всего процесса сгущения. Часть фильтрующего волокнистого слоя с поверхности периферии (верхней части) дисков постоянно удаляется с помощью sprays. Компактная конструкция дискового фильтра имеет значительно большую фильтрующую поверхность по сравнению с барабанными фильтрами или сгустителями тех же габаритов.

Концентрация сгущенной массы на выходе из аппарата может достигать 10÷12 %. Первичный фильтрат («мутный») содержит повышенное количество твердых веществ (250÷500 мг/л), составляет 50÷70 % от общего объема образующегося фильтрата. По мере уплотнения фильтрующего волокнистого слоя содержание твердых веществ в фильтрате уменьшается до 50÷100 мг/л. Вторичный фильтрат («чистый») составляет от 50 до 30 % от общего объема фильтрата и может использоваться в качестве технологической воды без дополнительной очистки.

Фирмой Celleco разработаны варианты конструкции дискового фильтра типов Centerdisc CDI (рис. 8.3) и Nedemora VDF. Широкий диапазон производительности этих фильтров в сочетании с их способностью обрабатывать массу с высокой степенью помола делает их применение экономически более выгодным по сравнению с барабанными фильтрами. Преимущества эксплуатации и обслуживания фильтров обусловлены особенностями конструкции ротора.

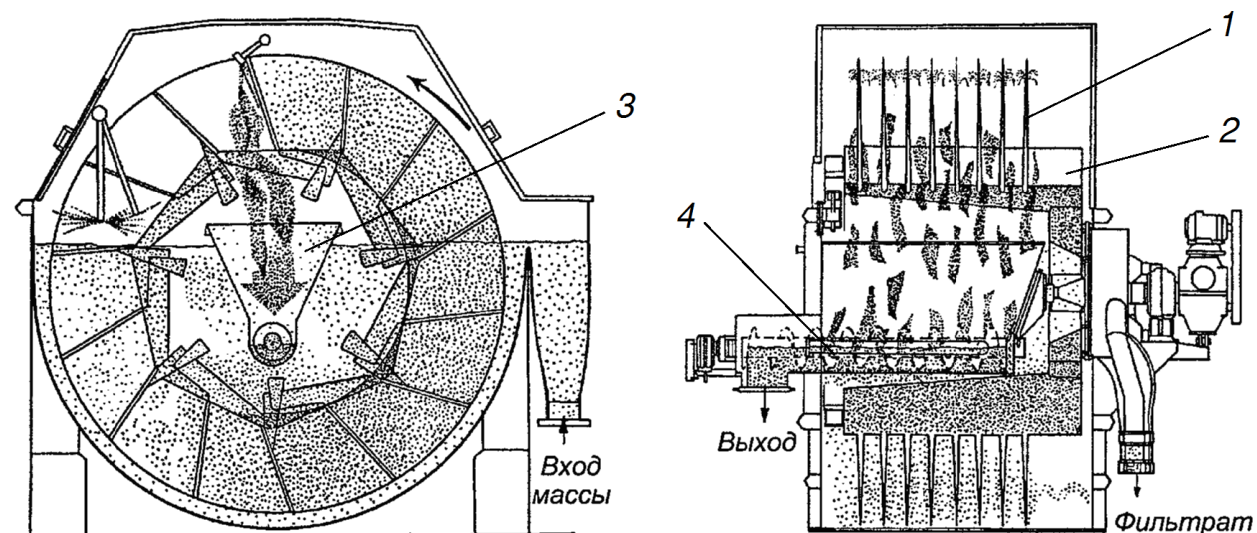


Рис. 8.3. Схема работы дискового фильтра типа Centerdisc CDI:

- 1 – фильтрующие элементы; 2 – ротор; 3 – ванна;
4 – разгрузочный шнек

У этих фильтров отсутствует центральный вал, используемый в других дисковых фильтрах. Фильтрующие элементы 1 насажены на ротор 2, выполненный в виде шестиугольной рамной конструкции, внутри которой размещается ванна 3 с разгрузочным шнеком 4 для сбора сгущенной массы. Такая конструкция ротора обеспечивает хорошее перемешивание массы в ванне, обеспечивающее равномерную концентрацию массы во всем объеме ванны, удаление слизи между дисками и возможность работы фильтра при концентрации подаваемой массы до 2 %. Производительность фильтра может достигать 150 м³/мин, фильтрующая поверхность – до 1000 м², концентрация массы на выходе – до 14 %.

Фильтрующие элементы дисковых фильтров обычно состоят из отдельных секторов, на которые натянуты сетчатые мешки. В последнее время появились новые конструкции бессеточных секторов (рис. 8.4). Такие сектора, называемые Bagless-сегментами, состоят из двух гофрированных пластин нержавеющей стали с отверстиями небольших размеров. Это позволяет увеличить производительность на единицу фильтрующей поверхности и продлить срок ее службы. Размер перфорации больше, чем размер ячейки сетчатого мешка, но так как перфорация дисков выполняет функцию фильтра лишь в первый момент процесса обезвоживания, это не существенно. Затем на них образуется волокнистая папка, которая становится основным фильтрующим материалом. При снижении скорости вращения дисков на поверхности сегментов образуется волокнистый слой повышенной сухости и толщины. Повышение эффективности сгущения массы позволяет сократить количество дисков в аппарате на 10 % по сравнению с аналогичными аппаратами без использования Bagless-сегментов.



Рис. 8.4. Фрагмент бессеточного сектора дискового фильтра

В сгустителях **двухбарабанного** типа (рис. 8.5) рабочими органами являются два перфорированных барабана 1, частично погруженных в герметичную ванну 9, где сгущаемая масса находится под избыточным давлением. В результате разности давлений на поверхности барабанов и внутри них происходит образование волокнистого слоя суспензии, который при вращении цилиндров навстречу друг другу за счет прессования дополнительно сгущается, попадая в зазор между ними. Обезвоженный слой ММ снимается с поверхности барабанов шаберами 3 и поступает в рыхлитель 5. Фильтрат проходит через сита внутрь барабанов и непрерывно удаляется из них через торцы барабанов, сливается в отсек для сбора фильтрата 10 и далее через патрубки 6 выводится из сгустителя. Данный аппарат позволяет повысить концентрацию массы от 1,5÷5,0 % до 20÷35 %. Производительность сгустителя типа С2Б-07 М составляет от 35 до 175 т/сут.

В ряде случаев для сгущения ММ используют **сеточные (ленточные) фильтры**, в которых обезвоживание массы производится через сетку под действием гравитационных сил и/или сил давления (рис. 8.6). Без использования давления концентрация сгущенной массы достигает 5 %, а при использовании – 10 %.

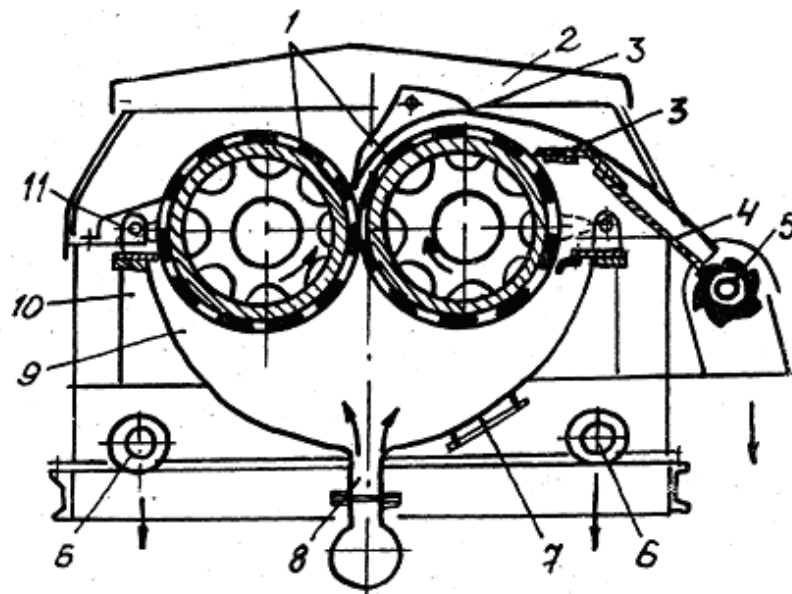


Рис. 8.5. Двухбарабанный сгуститель:
 1 – барабаны; 2 – колпак; 3 – шаберы; 4 – наклонный лоток;
 5 – рыхлитель; 6 – патрубки для выхода фильтрата;
 7 – патрубков для опорожнения ванны; 8 – патрубков для ввода массы;
 9 – ванна; 10 – отсек для сбора фильтрата; 11 – спрыски

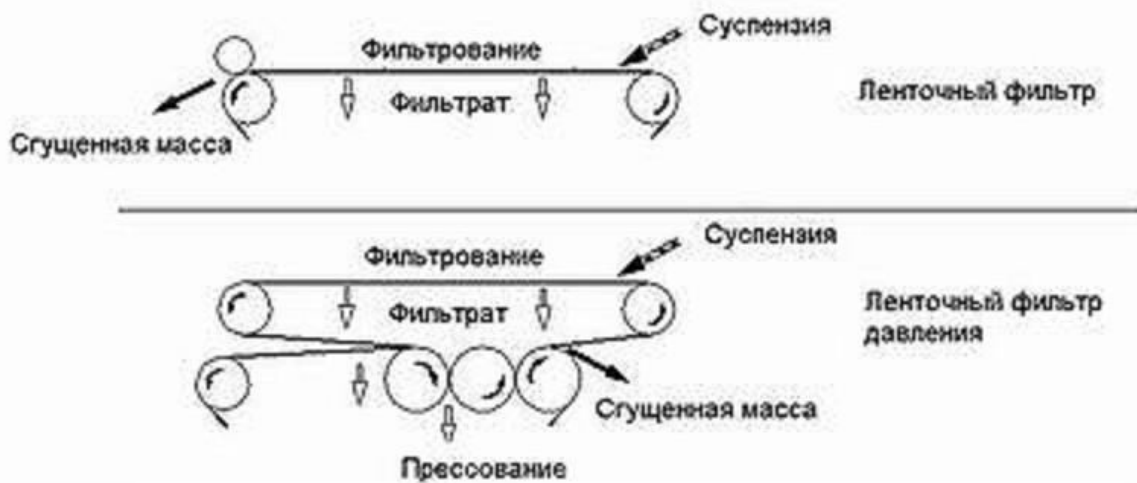


Рис. 8.6. Схемы сеточных фильтров для сгущения массы

Сеточные (ленточные) прессы, в отличие от предыдущих аппаратов, могут иметь две зоны сгущения: зону фильтрации и зону прессования. Частично обезвоженный слой ММ с сухостью до 10 % после зоны фильтрации подается в зону прессования. Прессование массы производится между двумя сетками, огибающими несколько валов.

В качестве примера на рис. 8.7 представлен двухсеточный пресс. Аппарат работает следующим образом. Исходная сгущаемая масса концентрацией 3÷5 % поступает из напорного ящика 1 в пространство между бесконечными сетками 3 и 7. С помощью системы натяжных роликов 4 и

прижимного валика 6 сетки охватывают барабан 2, где отфильтрованная вода проходит внутрь барабана через верхнюю сетку и, частично, через нижнюю сетку. Концентрация массы повышается до $6\div 8$ %. Затем масса в виде папки этими же сетками подается в двухвальный пресс 5, где обезвоживается до концентрации $25\div 30$ %. После пресса верхняя и нижняя сетки расходятся, и освобожденная папка в виде ленты сбрасывается в винтовой рыхлитель (на рис. 8.7 не показан). Отжимаемая в прессе вода используется в дальнейшем для разбавления массы. Производительность таких прессов составляет $25\div 70$ т/сут а.с. волокна при рабочей ширине барабана 1100 мм. Удельный расход энергии равен $4\div 5$ кВт·ч/т.

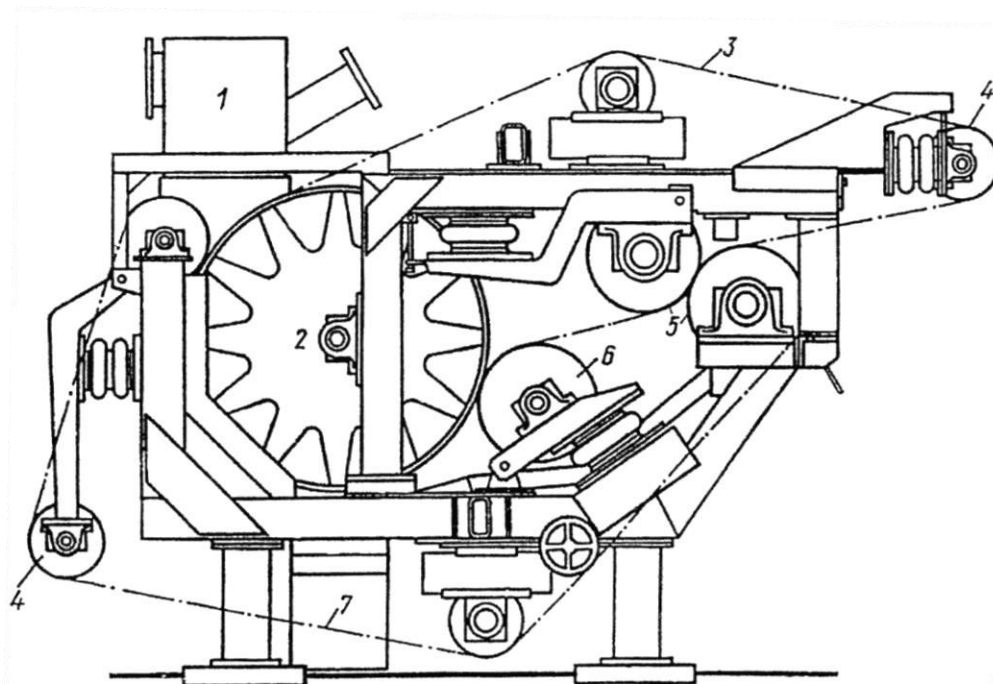


Рис. 8.7. Конструкция двухсеточного (ленточного) пресса:
 1 – напорный ящик; 2 – барабан;
 3, 7 – верхняя и нижняя бесконечные сетки; 4 – натяжные ролики;
 5 – двухвальный пресс; 6 – прижимной валик

Винтовой (шнековый) пресс имеет корпус, внутри которого расположены цилиндрическое сито с отверстиями или щелями и винтовой ротор. Угол наклона и шаг витков шнека могут быть переменными по длине ротора. Диаметр винтового ротора может уменьшаться (для экстракторов) или увеличиваться (для прессов) по длине. В последнем случае, при движении массы к выходу из аппарата свободный объем уменьшается, что повышает давление обезвоживания. Винтовой ротор при вращении непрерывно очищает поверхность сита и, одновременно, обеспечивает перемешивание сгущаемой массы. Непрерывная очистка фильтрующей поверхности сита обеспечивает высокую эффективность сгущения ММ. Винтовые прессы более компактны, чем ленточные, но характеризуются

повышенным УРЭ и значительными потерями волокна и других твердых веществ с фильтратом.

Винтовой пресс типа RR (рис. 8.8), входящий в состав термодисперсионной установки Krima (см. разд. 8.2), может сгущать массу до концентрации 35 %. Предварительно сгущенная до концентрации 8÷12 % масса поступает в зону отжима. В результате постепенного увеличения диаметра вала винта и сокращения, вследствие этого, свободного пространства между ним и ситом давление на массу возрастает, а ее объем уменьшается. Выход массы из зоны отжима осуществляется через дискообразную щель между последним витком шнека и конической поверхностью неподвижного диска. Степень отжима массы регулируется путем установки оптимальной ширины выходной щели перемещением конического диска с помощью пневматического цилиндра.

Винтовой пресс типа HiCar фирмы Voith имеет улучшенные геометрические характеристики. Особенность его заключается в возможности создания повышенных сил трения, необходимых для образования плотной пробки волокнистой суспензии на выходе из пресса. Интенсивное трение неизбежно вызывает износ статических и, в большей степени, вращающихся деталей пресса, особенно при сгущении ММ. В связи с этим фирмой специально разработаны Wearless-сегменты, которые крепятся к винтовой поверхности ротора, предохраняя ее от износа. Сегменты выполняются из керамических материалов с твердосплавным агломерированным покрытием.

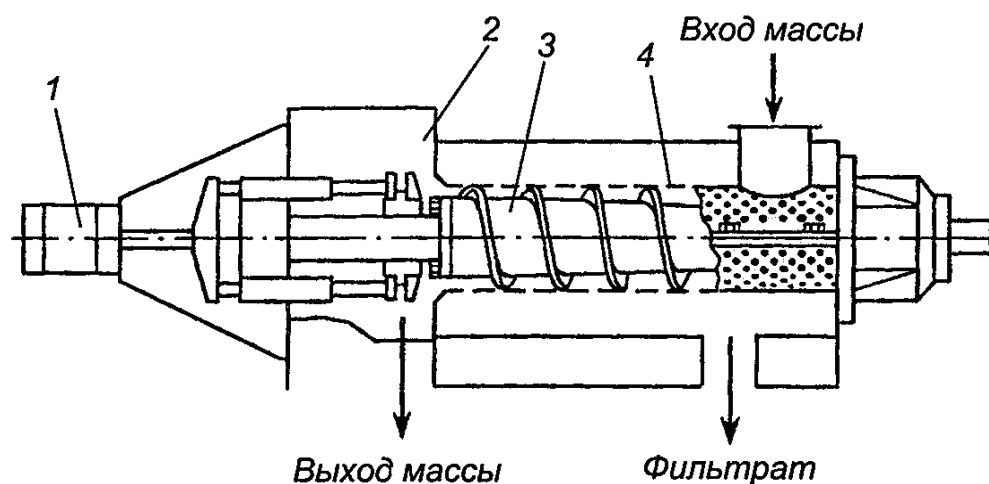


Рис. 8.8. Схема винтового пресса типа RR:

- 1 – пневматический цилиндр; 2 – встречный конус;
- 3 – винтовой конвейер с коническим валом; 4 – сито

8.3.2 Оборудование для нагрева сгущенной ММ

Основная функция зоны подогрева массы – размягчить или расплавить различные пластифицируемые включения, содержащиеся в ММ. Нагрев

сгущенной ММ производят обычно в трубчатом горизонтальном аппарате, внутри которого установлен транспортирующий массу шнек (рис. 8.9).

Пар для нагрева подают через патрубки, равномерно распределенные вдоль аппарата. Подача пара несколько снижает концентрацию массы за счет конденсации пара. Обычно расход насыщенного пара составляет $300 \div 400$ кг на тонну массы.

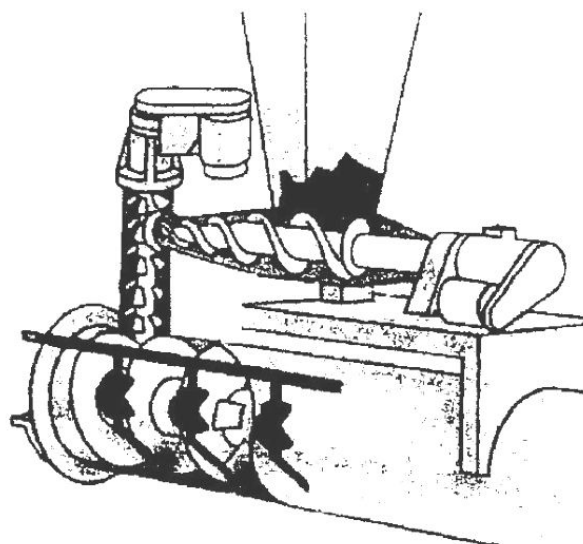


Рис. 8.9. Схема зоны нагрева

При «холодной» и «горячей» ТДО ММ нагревается насыщенным паром до температуры $90 \div 100$ °С при атмосферном давлении и $130 \div 150$ °С при давлении $0,3 \div 0,5$ МПа, соответственно, в пропарочном питателе винтового типа. Теплообмен между конденсирующимся паром и ММ происходит при интенсивном перемешивании. Часть винтовых лопастей конвейера подогревателя имеют прорезы, образуя элементы для рыхления массы в процессе транспортирования.

Как правило, зона нагрева массы изолируется от внешней среды с помощью уплотняющей пробки из массы, создаваемой коническим шнековым питателем. Это делает зону нагрева закрытой и снижает возможные потери пара. Для равномерного прогрева массы ее предварительно обрабатывают в рыхлителе, превращая уплотненный материал в «крошку». Продолжительность нахождения массы в нагревателе составляет $2 \div 4$ мин, что вполне достаточно для пластификации загрязнений, а также сокращения содержания живых бактерий и спор в массе.

Пропарочная камера одновременно может использоваться и для отбелики ММ. В этом случае отбеливающие реагенты (пероксид водорода, FAS и др.) подаются через патрубок, установленный до винтового питателя пропарочного аппарата. Продолжительность обработки ММ в нем при температуре $90 \div 120$ °С составляет около 2 мин. Сочетание воздействия высокой температуры и соответствующих химических реагентов, при

интенсивном перемешивании ММ, позволяет производить предварительную отбелку без использования дополнительного оборудования.

8.3.3. Оборудование для диспергирования ММ

В процессе диспергирования сгущенная и разогретая ММ подвергается механическому воздействию между рабочими элементами диспергатора и в результате трения между самими волокнами. При этом происходит диспергирование плавких частиц и частиц краски. Одновременно могут измельчаться и частицы покрытий, отделенных от поверхности волокон. Наблюдается пластификация, скручивание и изгибание самих волокон. Если обработка ведется при температуре свыше 100 °С, используют специальные камеры, образующие пробку из массы, которая обеспечивает поддержание давления в аппарате.

Существует два варианта диспергирования:

- высокоскоростное диспергирование ММ в дисковых диспергаторах, создающих движение массы от центра в радиальном направлении при значительных усилиях сдвига в тонком слое суспензии, действующих в течение довольно короткого промежутка времени;
- низкоскоростная обработка ММ в растирающих (перемешивающих) диспергаторах, создающих осевое движение массы при умеренных усилиях сдвига, действующих в течение достаточно продолжительного времени.

В табл. 8.4 представлены примерные характеристики дисковых и растирающих диспергаторов. Оптимальный выбор типа диспергатора определяется условиями его эксплуатации и задачами диспергирования ММ.

Таблица 8.4

Характеристики диспергаторов различных типов

Показатели	Дисковый диспергатор	Растирающий диспергатор
Окружная скорость ротора, м/с	50÷100	7÷13 (1-вальный) 0,5÷1,5 (2-вальный)
УРЭ, кВт·ч/т	30÷80 (120)	30÷80 (120)
Концентрация массы, %	22÷35	22÷35
Температура, °С	60÷130	40÷95

Дисковые диспергаторы, например, диспергатор типа КД (рис. 8.10), работают по принципу дискового рафинера, имеющего гарнитуру на роторе и статоре в виде пирамидальных зубьев (см. рис.7.12, VIII) или ножей. Под действием центробежной силы, создаваемой ротором, суспензия поступает в зазор между гарнитурами ротора и статора в радиальном направлении. Эффект диспергирования ММ обеспечивается в результате трения между

размалывающими элементами гарнитуры и трения между волокнами. Он также зависит от величины УРЭ и концентрации массы.

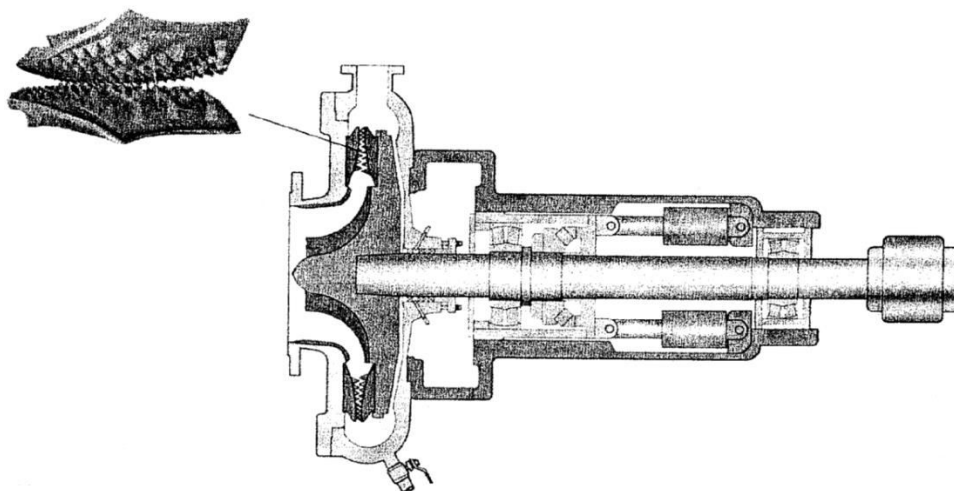


Рис. 8.10. Конструктивная схема диспергатора KD

Зубья гарнитуры выполнены в виде половинок пирамиды, разделенной плоскостью от вершины до квадратного основания. Они располагаются на дисках таким образом, чтобы их плоская сторона была направлена в сторону вращения. Зубчатые размалывающие элементы располагаются на поверхности дисков ротора и статора в виде концентрических колец. Расстояние между вершинами зубьев ротора и статора находится в пределах $0,2 \div 2,0$ мм. Поскольку элементы гарнитуры диспергатора не пересекаются в процессе работы, то волокна не укорачиваются. Средний УРЭ на диспергирование составляет около $30 \div 80$ кВт·ч/т.

Снижение УРЭ возможно получить в результате увеличения зазора между размалывающими элементами диспергатора при сохранении концентрации массы и производительности аппарата.

Дисковый диспергатор типа CompaDisc фирмы Andritz предназначен для эксплуатации в условиях высокой скорости и пониженном УРЭ. Аппарат может использоваться при подготовке качественной ММ, применяемой в композиции писче-печатных видов бумаги. ТДУ, имеющая в своем составе данный аппарат, может, в случае необходимости, эксплуатироваться при повышенном давлении. Производительность аппарата составляет от 50 до 1200 т/сут, УРЭ – $40 \div 120$ кВт·ч/т, температура диспергирования – $70 \div 80$ °С, концентрация массы на выходе из аппарата может составлять от 5 до 30 %. Обработка ММ в таком аппарате позволяет в дальнейшем удалить из нее битум, липкие частицы и другие загрязнения с помощью напорных сортировок, снабженных щелевыми ситами с шириной щелей 0,15 мм.

Растирающий (перемешивающий) диспергатор имеет, как правило, горизонтальный цилиндрический корпус, внутри которого вращается один или два ротора, оснащенных специальными растирающими элементами. На внутренней поверхности корпуса аппарата (статоре) установлены

дополнительные элементы, создающие сопротивление продольному движению потока массы. Усилия сдвига в растирающих диспергаторах возникают в результате интенсивного трения между волокнами за счет сопротивления движению массы в гарнитуре статора. Используются одновальные и двухвальные (двухшнековые) диспергаторы. Устройство одновального диспергатора со снятой крышкой показано на рис. 8.11.

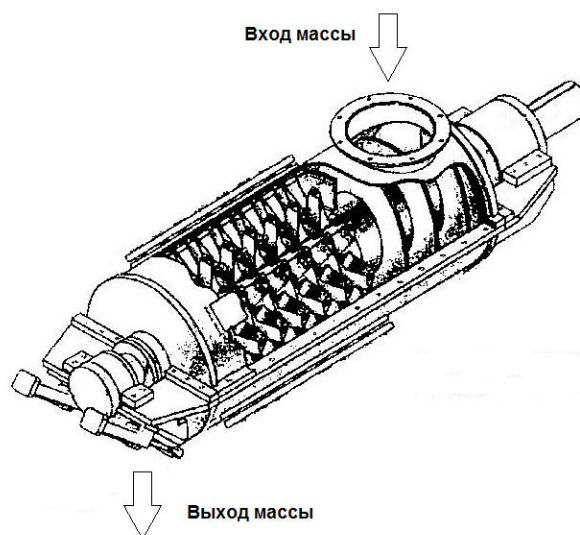


Рис. 8.11. Схема диспергатора перемешивающего типа

Другим распространенным видом диспергирующего устройства является двухшнековая машина типа Frotapulper (рис. 8.12). Разработкой его различных модификаций занимались различные фирмы многих стран. АО «Петрозаводскмаш» выпускал аналогичные аппараты типа АТ-197 и АТ-302.

Frotapulper состоит из корпуса 1, двух параллельных валов с закрепленными на них подающими и рабочими лопастными витками 6 и 5, верхней крышки 7 с загрузочной воронкой, лобовой крышки 4, лопастных витков 3, механизма регулирования размера разгрузочного отверстия 2. Витки на параллельных валах перекрывают друг друга.

Обрабатываемый волокнистый материал подхватывается подающими витками и поступает в зону диспергирования. Здесь, в зазоре между противоположащими рабочими витками, происходит интенсивная обработка волокон под действием сил сжатия и сдвига. Возникают значительные силы трения волокон друг о друга и о металлические поверхности внутри аппарата. Действие сил сжатия и сдвига приводит к роспуску пучков волокон без размалывающего эффекта. Между корпусом и винтовыми поверхностями шнеков существует стабильный обратный поток массы, который способствует расчесыванию волокон и выравниванию качества массы. В результате такой механической обработки фибриллы начинают выступать над поверхностью волокон в виде густого покрова, создавая условия для устойчивых межволоконных связей.

Для повышения эффективности механического воздействия в массу подается слегка подщелаченная вода. Волокна скручиваются и изгибаются, что затрудняет связи между ними, но сами волокна не укорачиваются и не раздавливаются. Микроскопические исследования показывают, что обработанные таким образом волокна лишаются наружных стенок, скручиваются и расщепляются. При этом степень помола массы практически не меняется. Воск и битум хорошо диспергируются. Пластиковые пленки скатываются в жгуты и затем легко удаляются при сортировании. Такой метод обработки является достаточно «мягким», что подтверждается низким содержанием мелочи, а также тем, что пластмассовые включения не разрушаются на мелкие фрагменты.

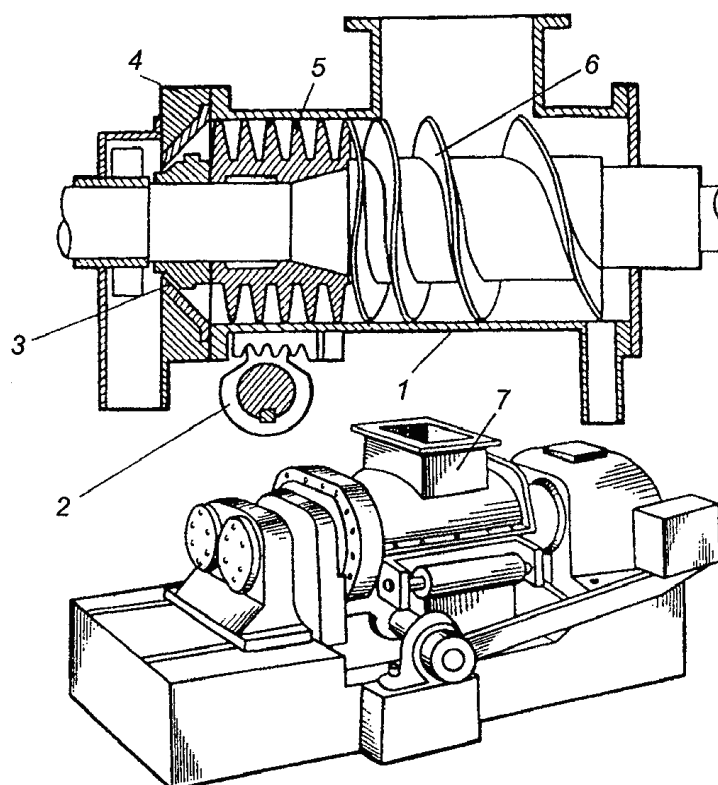


Рис. 8.12. Двухшнековый диспергатор типа Frotapulper:
 1 – корпус; 2 – механизм регулирования системы разгрузки;
 3 – лопастные витки; 4 – лобовая крышка;
 5,6 – рабочие и подающие лопастные витки;
 7 – верхняя крышка с загрузочным отверстием

Обработанное волокно выгружается через кольцевые зазоры, образованные внутренними коническими поверхностями лобовой крышки и лопастными витками. Для автоматического регулирования выгрузки обработанной массы служит рычажно-грузовой механизм. По мере заполнения аппарата массой увеличивается давление на лобовую крышку, которая препятствует свободному выходу массы. При значении давления, превышающем противодействие рычажно-грузового механизма, корпус

крышки перемещается, кольцевой зазор открывается, и происходит выдавливание обработанной массы из аппарата. С уменьшением подачи массы и, соответственно, снижением давления на лобовую крышку, ее корпус, под действием рычажно-грузового механизма, перемещается обратно, уменьшая кольцевой зазор. Таким образом поддерживается постоянство мощности, потребляемой аппаратом. Производительность аппаратов, в зависимости от типоразмера, составляет от 10 до 100 т/сут по в.с. волокну, а удельный расход мощности $80 \div 120$ кВт·ч/т.

Растирающий диспергатор типа TwinKneader фирмы Andritz имеет сдвоенный ротор для перемешивания ММ высокой концентрации. В нем также производится отделение от волокна частиц печатной краски и других загрязнений, которые затем удаляются из ММ на последующих ступенях технологической схемы. Производительность аппарата составляет от 100 до 400 т/сут, УРЭ – до 120 кВт·ч/т, температура диспергирования – $40 \div 95$ °С, концентрация массы на выходе из аппарата – $25 \div 30$ %.

Сравнение рассмотренных видов аппаратов для диспергирования показало, что использование дискового диспергатора обеспечивает более эффективное, чем в растирающих, уменьшение размеров липких включений до коллоидного состояния. При этом частицы теряют склонность к агломерации. При диспергировании в растирающем диспергаторе сохраняются отделившиеся крупные частицы липких загрязнений, которые потом могут быть удалены при последующем сортировании ММ, например, при тонком сортировании на сортировках с шириной щелей сита $0,15 \div 0,25$ мм.

8.3.4. Примеры технологических схем термодисперсионных установок

В качестве наиболее современных и типичных термодисперсионных установок (ТДУ) рассмотрим системы, предлагаемые фирмами АО «Петрозаводскмаш», Cellwood Machinery, Voith и Escher-Wiss.

АО «Петрозаводскмаш» предлагал ТДУ типа УМ для обработки макулатуры, содержащей до 10 % легкоплавких неволокнистых включений (рис. 8.13). Установка состоит из сгустителя 1, рыхлителя 2, пропарочной камеры 3 и диспергатора 4. Сгуститель – двухбарабанный, типа С2Б. Обезвоженная до концентрации $30 \div 35$ % масса разрыхляется и поступает в пропарочную камеру, где прогревается паром до температуры 95 °С («холодное» диспергирование). Пропарочная камера – трубчатого типа с центральным валом, на котором установлены перемешивающие и транспортирующие лопасти.

Диспергатор представляет собой дисковую мельницу со шнековым питателем и гарнитурой из пирамидальных зубьев. Такая форма зубьев позволяет вести процесс диспергирования без существенного укорочения длины волокна с минимальными затратами энергии. На периферию диска диспергатора подается оборотная вода для разбавления массы после

диспергирования. Выход разбавленной массы из диспергатора – свободный. Установка позволяет использовать макулатуру низкого качества и получать из нее оптически однородную продукцию. Кроме того, ее применение уменьшает проблемы «забивания» сеток и сукон на БДМ. Выпускали два типоразмера установок: УМ-05-1 и УМ-06-2 производительностью 40÷90 т/сут и 150÷230 т/сут при установленной суммарной мощности электродвигателей 247 кВт и 786 кВт, соответственно.

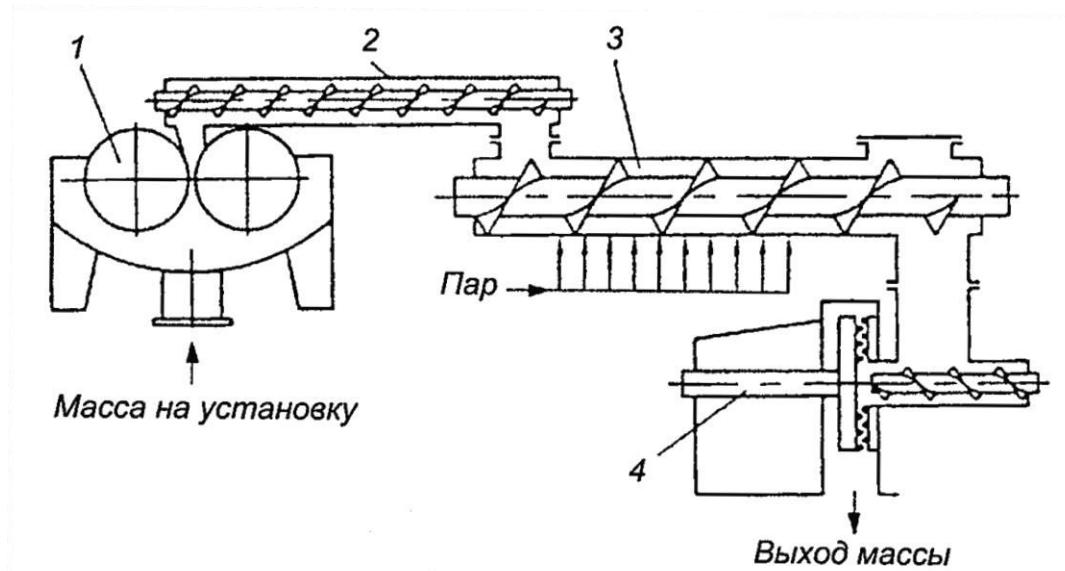


Рис. 8.13. Схема термодисперсионной установки типа УМ для подготовки макулатурной массы:

- 1 – двухбарабанный сгуститель; 2 – рыхлитель;
3 – пропарочная камера; 4 – диспергатор

Фирма Cellwood Machinery предлагает ТДУ типа Krima (рис. 8.14), предназначенную для обработки макулатурной массы как при атмосферном («холодная» ТДО), так и при повышенном давлении («горячая» ТДО). Установка включает оборудование для сгущения массы, в состав которого входит аппарат для предварительного обезвоживания (экстрактор) и винтовой пресс, подогреватель массы с пробкообразователем и вертикальным рыхлителем, и диспергатор. В аппарате для предварительного обезвоживания типа SDC масса сгущается от 3 % на входе до 8÷12 % на выходе. Попутно происходит частичное удаление из массы мелких посторонних включений. Винтовой пресс типа RR (см. рис. 8.8) сгущает массу до 35 %. При сгущении содержание зольных элементов в массе уменьшается на 30÷40 %.

Для исключения потерь пара в атмосферу масса подается в зону прогрева при помощи конического винтового пробкообразователя. Образующаяся пробка перед подачей в камеру прогрева разрыхляется в вертикальном рыхлителе.

Пропарочная камера представляют собой цилиндр, в полости которого вращается винт. Основная функция зоны подогрева массы – размягчить или расплавить термопластичные включения, содержащиеся в ММ. Пар в камеру подается через специальные патрубки. Продолжительность термообработки ММ в пропарочной камере составляет 2÷3 мин при температуре 90÷120 °С.

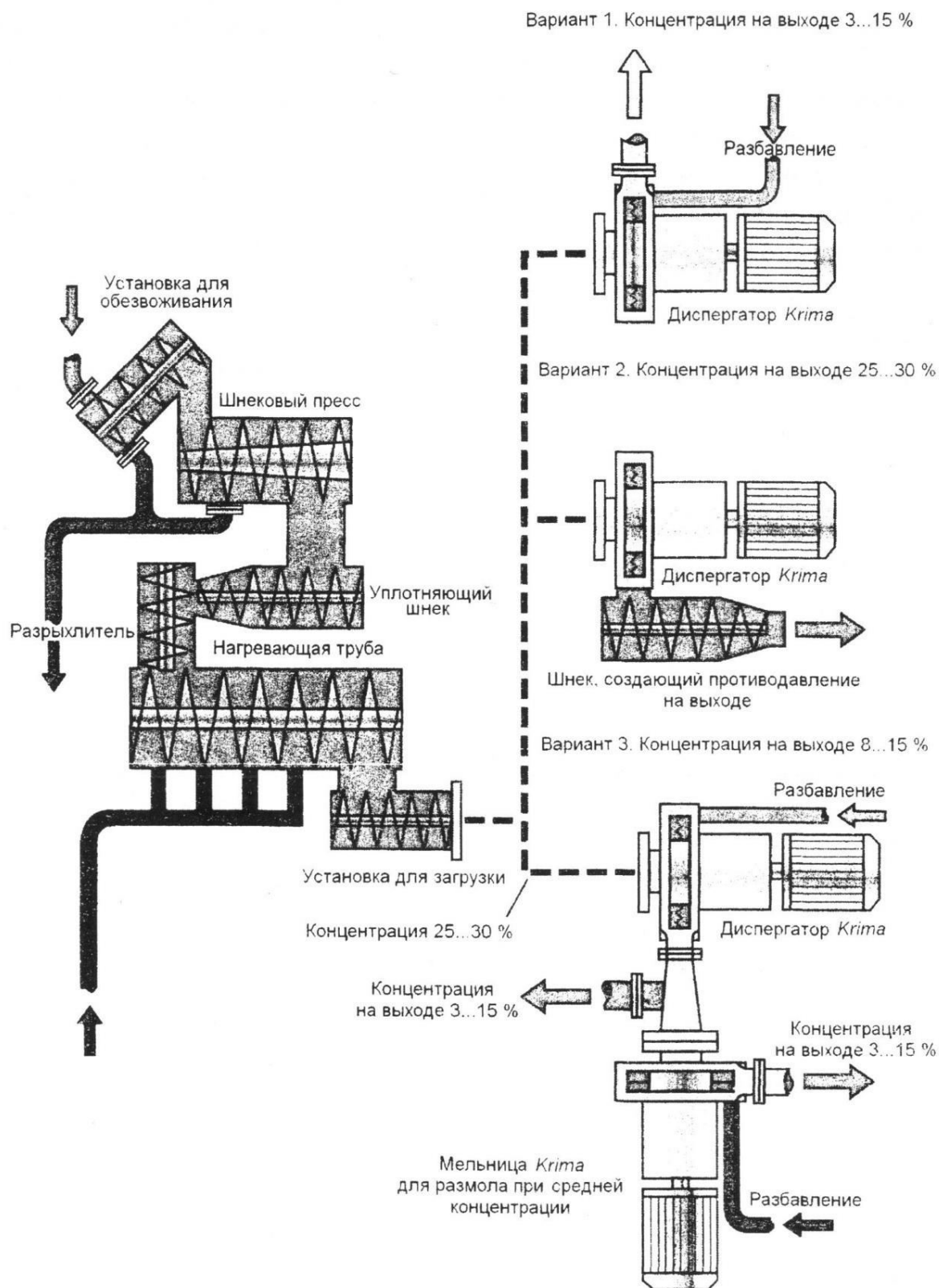


Рис. 8.14. Схема термодисперсионной установки типа Krima

В зону диспергирования масса поступает через загрузочный винтовой питатель. Дисковый диспергатор оснащен гарнитурой из наборных сегментов с зубьями (см. рис. 8.10). Зазор между гарнитурами статора и ротора может составлять $0,05 \div 0,50$ мм. В процессе работы его регулируют с помощью устройства присадки с точностью до $0,01$ мм. При диспергировании степень помола ММ повышается незначительно – на $2 \div 3$ °ШР. Концентрация массы на выходе может составлять от 3 до 30 % в соответствии с требованиями дальнейшей переработки или накопления запаса. Для разбавления массы до концентрации $3 \div 12$ % в полость диспергатора можно подавать воду, что позволяет сократить количество насосов и бассейнов. Расход энергии непосредственно на диспергирование массы составляет примерно 35 кВт·ч/т.

Улучшение бумагообразующих свойств волокон после ТДО при достаточно низком энергопотреблении можно получить, включив последовательно с диспергатором мельницу для размол массы средней концентрации (рис. 8.14, вариант 3). Производительность ТДУ Krima составляет от 15 до 800 т/сут при УРЭ $60 \div 65$ кВт·ч/т. Использование данной ТДУ позволяет перерабатывать влагопрочные виды макулатурного сырья и, в отдельных случаях, исключить из технологической схемы размол ММ.

Фирмой Voith разработано два типа ТДУ для «холодной» и «горячей» обработки макулатурной массы. Схема установки для ТДО массы в режиме «горячей» обработки представлена на рис. 8.15.

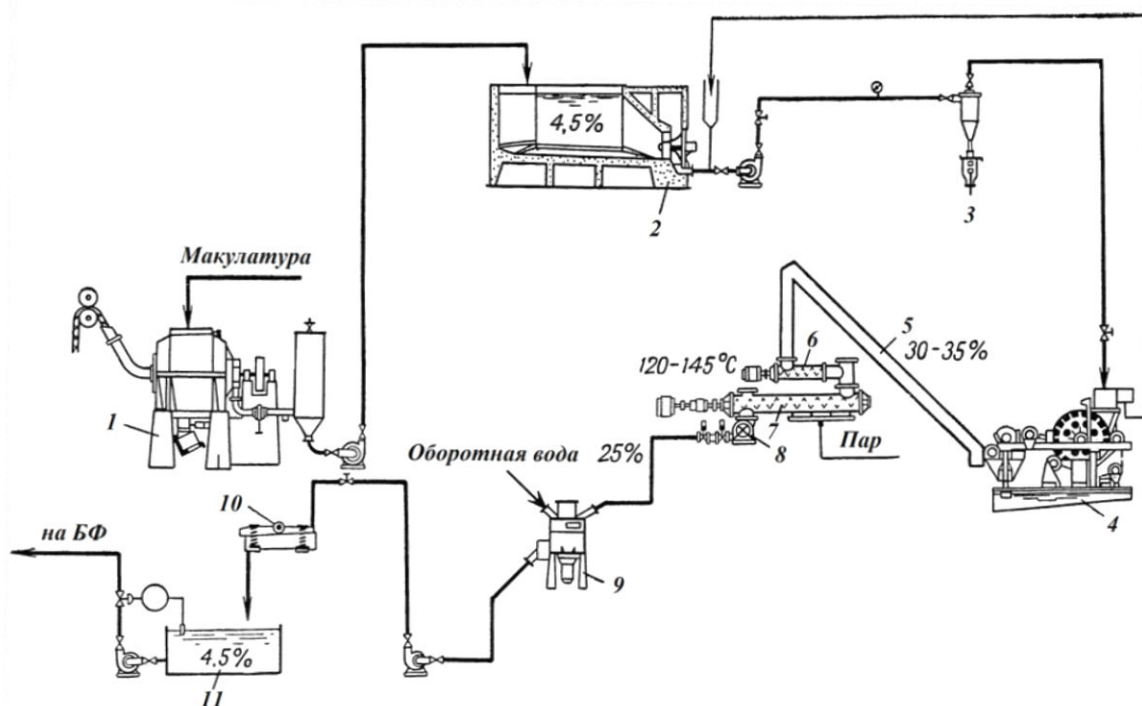


Рис. 8.15. Схема термодисперсионной установки фирмы Voith:

- 1 – гидроразбиватель; 2, 11 – бассейны; 3 – очиститель;
- 4 – ленточный друк-фильтр; 5 – система шнековых транспортеров;

- 6 – винтовой питатель; 7 – подогреватель;
- 8 – одновальный диспергатор; 9 – циклон;
- 10 – вибрационная сортировка

Распушенная и очищенная макулатурная масса поступает на ленточный друк-фильтр 4, где сгущается до концентрации 30÷35 %. Далее масса при помощи системы шнековых транспортеров 5 подается в устройство для подогрева 7, состоящее из винтового питателя 6 и подогревателя. Винтовой питатель подает массу в подогреватель и одновременно создает пробку из нее, препятствующую выходу пара из подогревателя. В подогревателе, снабженном винтовым конвейером, масса перемещается, нагревается насыщенным паром до температуры 120÷145 °С при давлении 0,3÷0,5 МПа и перемешивается. После термообработки масса поступает на одновальный диспергатор 8.

Ввиду того, что в данной схеме диспергатор работает при высоком давлении, масса из него выдувается через специальное разгрузочное устройство в циклон 9. Для разбавления массы в циклоне используется холодная оборотная вода, подача которой способствует быстрому сбросу давления (декомпрессии) и разделению массы на отдельные волокна. Разбавленная масса насосом подается на вибрационную сортировку 10. При сильно загрязненной массе фирма рекомендует вместо вибрационной сортировки устанавливать турбосепаратор. Отжатая на ленточном фильтре вода направляется на разбавление массы в циклоне.

Фирма Escher-Wiss предлагает схему ТДУ (рис. 8.16) для «холодной» ТДО ММ, включающей двухсеточный пресс 1 для сгущения массы до концентрации 25÷30 %, винтовой транспортер-рыхлитель 2, наклонный винтовой конвейер 3, транспортирующий массу к подогревателю 4, шнек-питатель 5 и дисковый диспергатор 6. Отжатая прессом из массы вода накапливается в бассейне 8, откуда подается в оборот. Обработанная масса после диспергирования поступает в бассейн 7, где разбавляется до концентрации 4÷5 %.

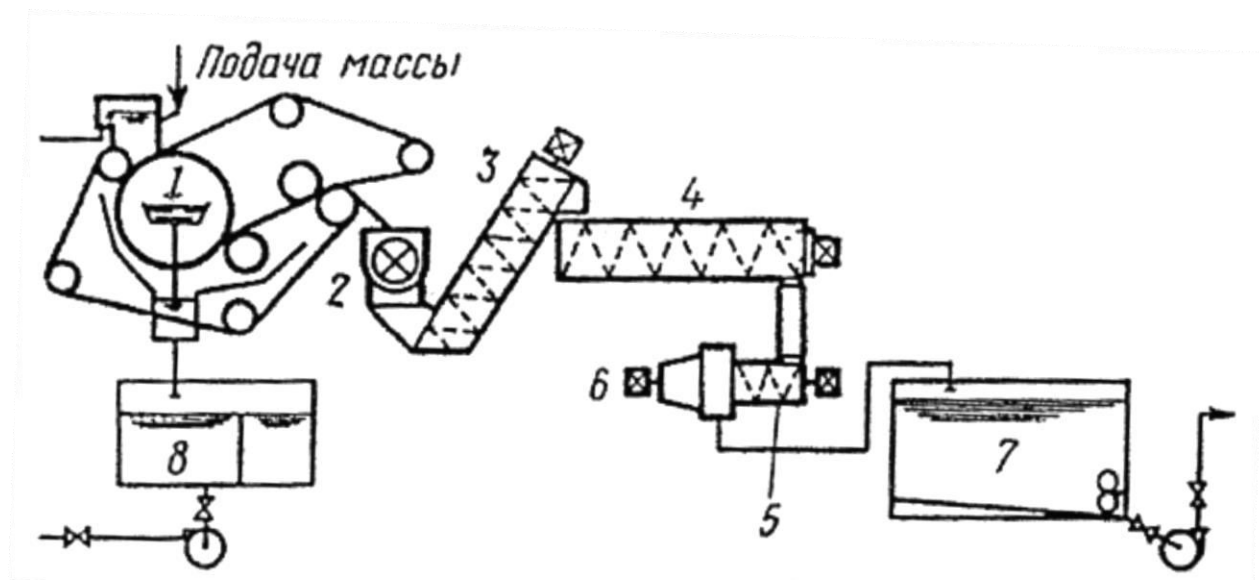


Рис. 8.16. Схема термодисперсионной установки фирмы Escher-Wiss:

1 – двухсеточный пресс; 2 – транспортер-рыхлитель;

3 – наклонный винтовой конвейер; 4 – подогреватель;

5 – шнек-питатель; 6 – дисковый диспергатор;

7 – бассейн обработанной массы; 8 – бассейн отжатой прессом воды

В данной схеме для сгущения массы используют сеточный пресс, типа изображенного на рис. 8.7. Разрыхленная масса при помощи наклонного конвейера поступает в подогреватель. Он оборудован системой патрубков для подачи пара. Масса нагревается до температуры $90\div 95$ °С. После прогрева массу с помощью питающего шнека подают в дисковый диспергатор. Расстояние между размалывающими элементами статора и ротора устанавливают от 1 до 5 мм. Ввиду большого зазора между размалывающими элементами и незначительного периода теплового воздействия при атмосферном давлении волокна не укорачиваются, и механические показатели массы заметно не ухудшаются. Диспергаторы типа НД имеют производительность от 15 до 120 т/сут а.с. волокна. Удельный расход энергии составляет $70\div 150$ кВт·ч/т а.с. волокна

В ТДУ фирмы Andritz подогрев и подача ММ в диспергатор объединены в одном компактном аппарате. По сравнению с традиционными системами ТДУ этой фирмы занимает значительно меньшую площадь, а уменьшение количества оборудования позволяет снизить затраты на его эксплуатацию и техническое обслуживание. В зависимости от требований, предъявляемых к ММ, фирмой в состав ТДУ включаются дисковый диспергатор типа CompaDis или растирающий диспергатор типа TwinKneader, выполняющие основную задачу по отделению частиц печатной краски и липких загрязнений от волокна. Эти диспергаторы могут выполнять и дополнительные функции в процессе переработки макулатуры: смешивать отбеливающие реагенты с ММ перед отбелкой; повышать показатели механической прочности волокна; обеспечивать обеззараживание массы от микроорганизмов.

Система диспергирования ММ типа OptiFiner Dispersion фирмы Valmet оснащена коническим диспергатором типа OptiFiner Disperger. Данная ТДУ может эксплуатироваться как в режиме «холодного», так и в режиме «горячего» диспергирования. Диспергирование ММ с низким содержанием частиц печатной краски и липких загрязнений осуществляется при атмосферном давлении и температуре $80\div 90$ °С, при этом суспензия концентрацией до 30 % поступает в диспергатор после кратковременной обработки в течение $3\div 5$ с в винтовом нагревателе типа СТ-heater. При «горячем» диспергировании суспензия концентрацией около 30 % тщательно перемешивается в аппарате DPL-Plugscrew, который служит для предотвращения потерь пара и давления в винтовом нагревателе HI-heater. Обработка ММ с высоким содержанием липких загрязнений в данном нагревателе производится в течение $20\div 30$ с. Диспергирование ММ производится при температуре $90\div 120$ °С и давлении до 100 кПа.

8.4. РОЛЬ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Как уже отмечалось, важной функцией процесса ТДО является процесс отделения различных частиц загрязнений и, особенно, частиц печатной краски от волокна. Это обстоятельство особенно актуально при наличии последующих операций облагораживания ММ.

Процесс отделения печатной краски от волокон включает: набухание волокон при увлажнении макулатуры, ослабление химических связей между волокном и краской и механическое воздействие на волокна. Набухание волокон приводит к образованию трещин в пленке печатной краски, к ее разрушению и ослаблению химических связей с волокном. Механическая обработка сгущенной ММ обеспечивает отделение частиц печатной краски от волокон за счет трения между волокнами и воздействия на них гарнитуры диспергатора.

В дисковых диспергаторах отделение частиц типографской краски и других загрязнений в макулатурной массе происходит в результате ударного воздействия гарнитуры быстро вращающегося диска ($1200\div 1800$ об/мин). Действие же диспергаторов растирающего типа основано на трении массы высокой концентрации о размалывающие элементы, закрепленные на медленно вращающемся валу ($100\div 200$ об/мин). Практика показала, что дисковые диспергаторы рационально использовать при переработке ММ, содержащей частицы краски для офсетной или глубокой печати, а растирающие – более эффективны при обработке ММ, содержащей частицы краски лазерных принтеров.

Быстроходные дисковые диспергаторы особенно эффективны в тех случаях, когда требуется измельчение крупных посторонних включений, а также отделение частиц типографской краски от крупных волокон. В то же время дисковые диспергаторы в меньшей степени способны отделять

частицы типографской краски от поверхности мелких волокон и наполнителей. Оптимальной для работы дисковых диспергаторов является температура ниже точки окончательного размягчения типографской краски, поскольку при этом она сохраняет некоторую твердость и хрупкость, что способствует отделению и измельчению ударным действием элементов гарнитуры диспергатора.

Аппараты растирающего типа, напротив, лучше приспособлены для удаления частиц типографской краски с поверхности мелких волокон и наполнителей. Они лучше работают при повышенных температурах (выше точки размягчения типографской краски) и предназначены для диспергирования в массе небольших остаточных частиц краски. При этом необходимо предпринимать соответствующие меры против повторного осаждения этих частиц на волокнах. Рекомендуется проводить обработку массы в диспергаторе в щелочной среде (например, в процессе перекисной отбелики).

Таким образом, высокоскоростные дисковые диспергаторы и тихоходные аппараты не конкурируют, а дополняют друг друга в схемах, включающих процессы облагораживания ММ. При этом дисковые диспергаторы целесообразно устанавливать на более ранних стадиях технологического процесса (до первой флотации), т. е. ближе к гидроразбивателю и грубому сортированию, а тихоходные диспергаторы лучше устанавливать перед второй ступенью флотации.

В настоящее время серьезной технологической проблемой является большое содержание липких частиц в макулатуре (подробнее об этом см. в разд. 9.6, ч. III). В этом плане важно, чтобы перед диспергированием ММ была по возможности очищена от липких веществ. Диспергирование массы с повышенным содержанием липких частиц может привести к последующей обратной агломерации этих частиц. Агломераты образуются в ММ из-за изменения температуры, величины рН и других факторов, характерных для процесса диспергирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Дьякова Е.В., Дулькин Д.А., Комаров В.И. Переработка макулатуры: учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 172 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 1118 с.

Пузырев С.С., Виролайнен Э.В. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.

Комаров В.И., Галкина Л.А., Лаптев Л.Н. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.2. Производство бумаги и картона. Ч.1. Технология производства и обработки бумаги и картона. - СПб.: Политехника, 2012. - 420 с.

Пузырев С.С., Тюрин Е.Т. и др. Переработка вторичного волокнистого сырья. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 467 с.

Смоляницкий Б.З. Переработка макулатуры. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 176 с.

Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н. Макулатура в технологии картона. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – 252 с.

Пузырев С.С., Ковалева О.П., Цветкова Г.Н. Переработка макулатуры: учеб. пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 2003. – 44 с.

Ванчаков М.В., Кишко А.В. Теория и конструкция оборудования для подготовки макулатурной массы: учеб. пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2003. – 104 с.

Ванчаков М.В., Дубовый В.К. и др. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учеб. пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2010. Ч. I и II. – 185 с.

Миловидова Л.А., Севастьянова Ю.В., Комарова Г.В. Сортирование и очистка целлюлозы. - Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 76 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А. и др. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги. – Архангельск: САФУ, 2011.–176 с.

Дубовый В.К., Гурьев А.В и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие/ под ред. проф. В.И. Комарова. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.- 230 с.

Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины: учеб. пособие / под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. –588 с.

Фляте Д.М. Свойства бумаги. – Изд.4-е, испр. и доп. – СПб.: НПО «Мир и семья-95», ООО «Интерлайн», 1999– 384 с.

Иванов С.Н. Технология бумаги. Изд. 3–е. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.

Хованский В.В., Дубовый В.К., Кейзер П.М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учеб. пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2013. – 154 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А. и др. Использование природной воды в производстве тарного картона из макулатуры. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. – 242 с.

Южанинова Л.А., Дулькин Д.А. и др. Особенности технологии бумаги-основы для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 102 с.

Гаузе А.А., Гончаров В.Н., Кугушев И.Д. Оборудование для подготовки бумажной массы: учебник для вузов. – М.: Экология, 1992. – 352 с.

Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.1.Ч. 2. Сырье и производство полуфабрикатов: справочные материалы. – СПб.: Политехника, 2003. – 633 с.

Дубовый В.К., Смолин А.С. и др. Технология гофрокартона: учеб. пособие. В 3 частях/СПбГТУРП. – СПб., 2014. – 146 с.

ГОСТ 10700–1997. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия / Межгосударственный стандарт. - Минск, 2002. – 12 с.

Papermaking Science and Technology. TAPPI PRESS. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. 2000. Vol. 8. – 693 p.

Papermaking Science and Technology. TAPPI PRESS. Papermaking Part 2, Drying. 2000. Vol. 9. – 583 p.

Papermaking Science and Technology. Fapet Oy, Helsinki, Finland.. Papermaking Part 3, Finishing. 2000. Vol. 10. – 361 p.

Recycled Fiber and Leinking. Paper-marking Science and Technology // Book 7, Helsinki, Finland, 2000. – 635 p.

ОГЛАВЛЕНИЕ

5. Сортирование и фракционирование макулатурной массы.....	3
5.1. Основные параметры и показатели эффективности процессов сортирования.....	6
5.2. Технологические и конструктивные факторы процесса сортирования макулатурной массы	9
5.2.1. Предварительное сортирование ММ	16
5.2.2. Грубое сортирование ММ	21
5.2.3. Тонкое сортирование ММ.....	25
5.3. Схемы систем сортирования макулатурной массы.....	29
5.4. Фракционирование макулатурной массы	32
5.4.1. Оборудование для фракционирования ММ	35
5.4.2. Технологические схемы фракционирования ММ	37
5.5. Пути повышения эффективности процесса сортирования макулатурной массы	40
6. Очистка макулатурной массы.....	42
6.1. Сущность и основные закономерности процессов очистки макулатурной массы	43
6.1.1. Теоретические основы процессов в гидроциклонах для очистки массы.....	44
6.2. Аппаратурное оформление и схемы процесса очистки макулатурной массы	47
6.2.1. Грубая очистка ММ	48
6.2.2. Тонкая очистка ММ	52
6.2.3. Технологические схемы очистки ММ	59
6.3. Пути повышения эффективности процесса очистки	61
7. Размол макулатурной массы	63
7.1. Общие сведения о процессах размола.....	64
7.2. Технологические особенности размола макулатурной массы.....	71
7.2.1. Специфические особенности размола массы из различных марок макулатуры	72
7.3. Оборудование для размола макулатурной массы	75
7.3.1. Размол ММ в гидродинамических мельницах.....	75
7.3.2. Размол ММ в ножевых мельницах	77
7.3.3. Гарнитуры ножевых размалывающих мельниц для размола ММ	80
7.4. Факторы, влияющие на эффективность процесса размола	

макулатурной массы	83
8. Термодисперсионная обработка макулатурной массы	88
8.1. Технологические принципы термодисперсионной обработки макулатурной массы	89
8.2. Особенности технологии термодисперсионной обработки массы и ее влияние на свойства волокон	92
8.2.1. Особенности технологии диспергирования битумных, парафиновых и других включений в ММ.....	92
8.2.2. Влияние ТДО на свойства волокон ММ.....	93
8.3. Оборудование и схемы установок для термодисперсионной обработки макулатурной массы.....	94
8.3.1. Оборудование для сгущения ММ.....	94
8.3.2. Оборудование для нагрева сгущенной ММ	102
8.3.3. Оборудование для диспергирования ММ.....	104
8.3.4. Примеры технологических схем термодисперсионных установок.....	108
8.4. Роль диспергирования в технологиях облагораживания макулатурной массы	113
Библиографический список	116

Учебное издание

Михаил Вадимович Ванчаков
Александр Васильевич Кулешов
Александр Васильевич Александров
Александр Александрович Гаузе

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ

Часть II

Учебное пособие

Редактор и корректор Н.П. Новикова
Техн. редактор Л.Я. Титова
Компьютерная верстка Д.В. Тибиловой

Темплан 2019 г., поз.52

Подп. к печати 23.09.2019. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.
Печать офсетная. Печ. л. 7,5. Уч.-изд.л. 7,5.
Тираж 100 экз. Изд. № 52. Цена «С». Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.