

Тема4. Измельчение твердых материалов

Сыпучий материал - это система, состоящая из твердых частиц произвольной формы, находящихся в контакте. Пространство между частицами заполнено газом или жидкостью. Процесс уменьшения размеров кусков твердых материалов механическим путём называется *измельчение*, а машины *измельчителями*.

4.1 Характеристика сыпучего материала

Технический сыпучий материал - это полидисперсная система, состоящая из частиц различной формы и размеров. Основным размером частицы неправильной формы принято считать *эквивалентный диаметр*

$d_{\text{экв}} = \frac{6}{S_y}$, где S_y - удельная поверхность частицы (отношение ее поверхности к объему).

Значение S_y обычно определяют с помощью специального прибора для порции сыпучего материала, поэтому значение $d_{\text{экв}}$ - это обычно средний диаметр частиц исследуемой порции материала.

Чаще всего в качестве среднего диаметра частиц порции сыпучего материала используют среднемассовый диаметр

$$d = \frac{\sum_{i=1}^k (d_{\text{э}i} \cdot G_i)}{\sum_{i=1}^k G_i}, \text{ где}$$

$k = 5-12$ - число фракций (классов), на которые рассеивается порция, d_i, G_i - эквивалентный диаметр и масса частиц i -й фракции. В зависимости от среднего диаметра частиц различают следующие состояния сыпучего материала:

пылевидное ($d < 0.05$ мм); порошкообразное (от 0.05 до 0.5 мм); мелкозернистое (от 0.5 до 2 мм); крупнозернистое (от 2-х до 10 мм); кусковое ($d > 10$ мм).

Плотность ρ сыпучего материала - это масса единицы объема вещества, из которого состоят частицы, а *насыпная плотность ρ_H* - это плотность свободно насыпанного слоя материала (масса материала, свободно насыпанного в сосуд известного объема).

Порозность ε слоя сыпучего материала (доля пузырей) - это отношение объема свободного пространства между частицами к объему слоя. Значения ρ , ρ_H , и ε связаны зависимостью

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_H}{\rho}.$$

Для того, чтобы их сравнить, используют так называемый *ситовый анализ*. Для этого материал просеивают через систему сит с разными размерами ячеек. Получают несколько фракций. В каждой фракции содержатся частицы неодинаковых размеров, но находящиеся в узком диапазоне размеров частиц. Поэтому, как правило, сравнивают диапазоны размеров частиц, содержащихся в разных фракциях, а не размеры отдельных частиц.

Основные принципы измельчения:

- Не измельчать ничего лишнего
- Измельчение вести только до той степени, которая требуется для дальнейшей переработки материала.
- До измельчения необходимо использовать классификаторы (грохоты)
- Частицы после измельчения необходимо сразу удалять
- При измельчении не должно быть побочных процессов

Если необходима большая степень измельчения, необходимо проводить дробление в несколько стадий.

Таблица 1. Классификация видов измельчения в зависимости от размера конечных частиц

Измельчение	d_n , мм	d_n , мм	n
Крупное (дробление)	1500-150	250-40	2-6
Среднее (дробление)	250-40	40-6	5-10
Мелкое (дробление)	25-3	6-1	10-50
Тонкое (размол)	10-1	$1-75 \cdot 10^{-3}$	> 50
Сверхтонкое (размол)	12-0,1	$75 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	> 100

Крупное и среднее дробление проводят так называемым «сухим» способом, мелкое дробление и размол – «сухим» или «мокрым» (с добавлением воды) **способами**. При «мокрым» способе уменьшается пылеобразование, получаются частицы более равномерных размеров.

По *характеру механического воздействия* различают следующие способы измельчения твердых материалов(рис.2.11.1.): раздавливание (а); удар (г); истирание (в); раскалывание (б)

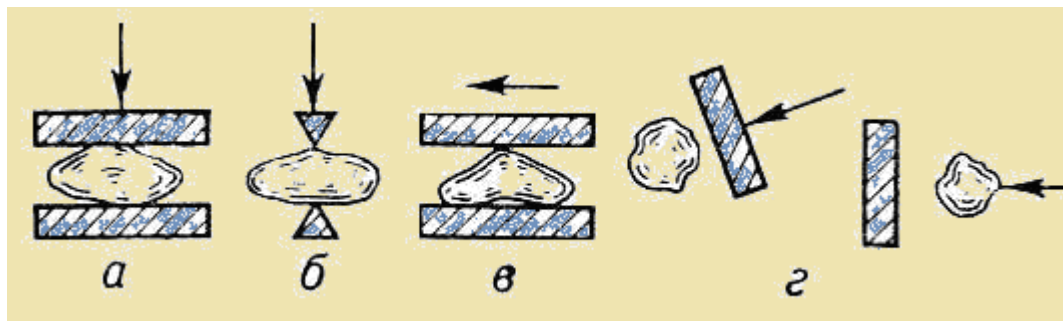


Рис.1. Способы измельчения твердых материалов

Выбор механического воздействия зависит от крупности и прочности измельчаемого материала. В зависимости от значения предела прочности при раздавливании измельчаемые материалы подразделяются на **твердые** (гранит), **средней твердости** (известняк, каменная соль), **мягкие** (глина, уголь). Раздавливание обычно применяют при крупном и среднем дроблении, а истирание – при тонком измельчении. В производственных условиях обычно перечисленные способы комбинируют. Например, для измельчения хрупких материалов средней твердости могут быть использованы методы: удар, раскалывание, истирание, так и сочетание этих методов.

В зависимости от того, сколько раз материал проходит через измельчающую машину, различают **открытую** или **замкнутую** схему проведения процесса измельчения.

При **открытой** схеме материал проходит через дробилку или мельницу один раз. При **замкнутой** системе измельчения материал с размерами частиц, превышающими требуемый, возвращают на повторное измельчение. Перед возвращением измельченный материал разделяют на фракции. Мелкие частицы выводят из цикла измельчения согласно принципу «не дробить ничего лишнего».

Машины для измельчения подразделяют на **дробилки**, которые служат для крупного, среднего и мелкого дробления, и **мельницы**, предназначенные для тонкого и сверхтонкого измельчения.

Таблица 2. Машины для измельчения материалов различной твердости

Способ измельчения	Размер и вид зерен продукта	Машины для твердых материалов	Машины для средней твердости и мягких материалов
Крупное дробление	>50 мм крупные куски	щековая дробилка конусная дробилка	молотковая дробилка
Мелкое дробление	5.....50 мм мелкий щебень	конусная дробилка валковая дробилка	валковая дробилка
Грубое измельчение	0,5....5 мм гравий, «семечко»	молотковая дробилка валковая дробилка	истирающая мельница стержневая мельница
Тонкое и сверхтонкое	0,05...0,5 мм 0,005....0,05 мм	истирающая мельница штифтовая мельница	мельница истирающая, ножевая,

измельчение	мука, пудра	конусная мельница	вибрационная
Коллоидное измельчение	< 0,005 мм коллоидная пудра	шаровая мельница струйная мельница	мельница шаровая, вибрационная (обе для мокрого размола)

Мельницы и дробилки классифицируют по конструктивному исполнению измельчающих элементов. В конструкциях может быть реализован как один способ измельчения, так и сочетание различных методов. Например, в щековой дробилке происходит раздавливание, а в молотковой дробилке наряду с «ударным» методом измельчения есть истирание.

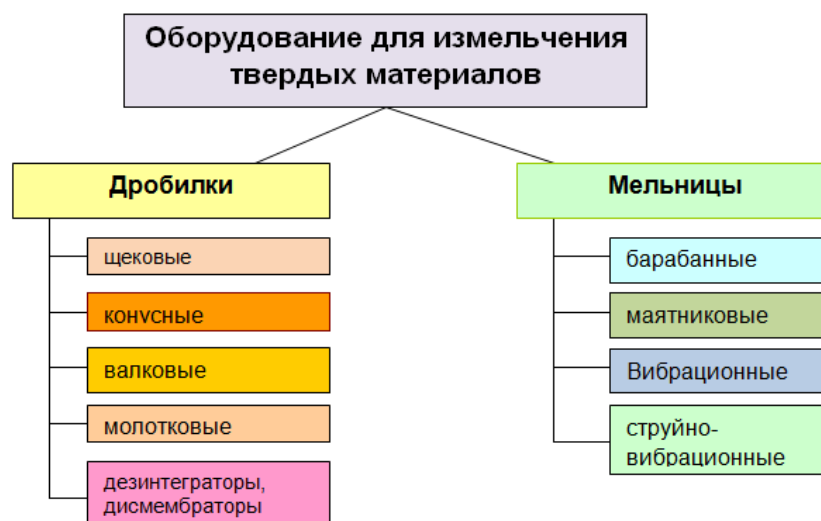


Рис. 2. Классификация мельниц и дробилок

Требования к измельчающим машинам:

- Равномерность кусков измельченного материала;
- Немедленное удаление измельченных кусков из рабочего пространства;
- Минимальное пылеобразование;
- Непрерывная и автоматическая разгрузка;
- Возможность регулирования степени измельчения;
- Возможность легкой смены изнашивающихся частей;
- Небольшой расход энергии на единицу продукции.

4.2. Виды дробилок

1. Щековые дробилки

Sergey Chekryzhov, EVM0152 “Kütuste keemia ja tehnoloogia II”. Loeng 4.

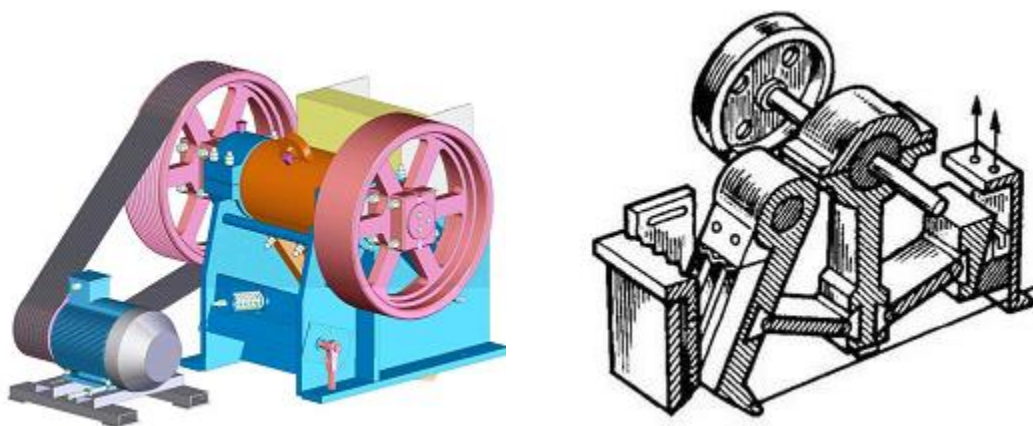


Рис. 2. Щековые дробилки

Щековые дробилки применяются для крупного и среднего дробления. Куски сырья дробятся между подвижной и неподвижной щеками, на которых крепятся рифленные в продольном направлении бронеовые плиты. Крупность кусков продукта определяется величиной зазора между плитами, которая регулируется перемещением распорных клиньев.

Для предотвращения разрушения дробилки при попадании недробимых предметов (кусков металла) одну из нажимных плит делают клепаной.

Различают дробилки с простым качанием подвижной щеки, в которых материал измельчается преимущественно раздавливанием, - и со сложным качанием, в которых кроме раздавливания происходит истирание материала.

Достоинства щековых дробилок:

простота конструкции, надежность, широкая область применения, компактность, удобство обслуживания.

Недостатки:

периодичность воздействия рабочего органа на материал, неполная уравновешенность движущихся масс.

Для уменьшения шума и ударов, связанных с неуравновешенностью, дробилки устанавливают на тяжелых фундаментах и снабжают массивными маховиками.

2. Конусные дробилки.

В такой машине куски материала раздавливаются в результате непрерывного нажатия вертикального усеченного конуса (дробящей головки), эксцентрично вращающегося в другом

полем конусе (корпусе). Оба конуса имеют гладкую или ребристую поверхность. Материал попадает в рабочее пространство дробилки, которое представляет собой воронку, и измельчается между внутренней поверхностью корпуса и внешней поверхностью внутреннего конуса (дробящей головки). Внутренний конус, вращающийся подобно коническому маятнику, измельчает мелкие куски материала посредством давления, а крупные – путем раздавливания и изгиба. Благодаря использованию изгиба снижается расход энергии на дробление.

Таким образом, в конусной дробилке между дробящей головкой и корпусом образуется зазор переменной ширины. При его уменьшении материал раздавливается, при увеличении – высыпается из рабочей зоны дробилки.

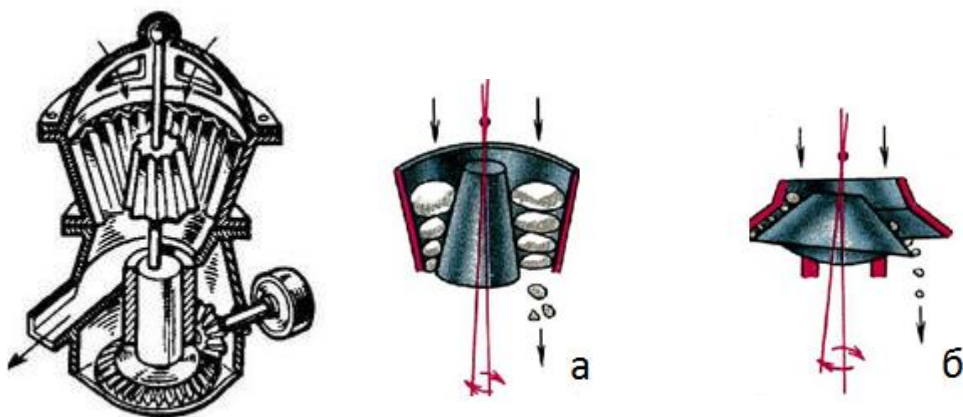
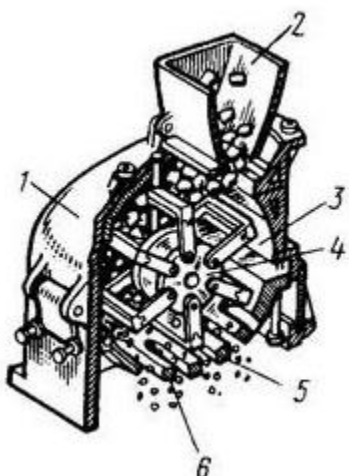


Рис.3. а – конусная дробилка крупного дробления; б - конусная дробилка среднего и мелкого дробления

Конусные дробилки имеют большую, чем щековые дробилки, производительность (от 280 т/ч). Они работают более равномерно, имеют удобную загрузку, небольшой расход энергии на измельчение.

Кроме того, многие из них имеют специальные предохранительные устройства для пропуска случайно попавших кусков металла. Конструктивно и в обслуживании они более сложные, чем щековые дробилки. Такие дробилки не пригодны для измельчения вязких материалов.

3. Дробилки ударного действия. Молотковые дробилки.



семейства - молотковые дробилки .

Дробилки ударного действия применяют для измельчения материалов малой и средней прочности. Куски материала в них измельчаются механическим ударом, в результате которого кинетическая энергия движущихся тел переходит в энергию деформации и разрушения. Их отличает простота конструкции, малая металлоемкость, удобство обслуживания, высокая степень измельчения (до 50), что позволяет уменьшить число стадий дробления. Наиболее распространенные машины этого

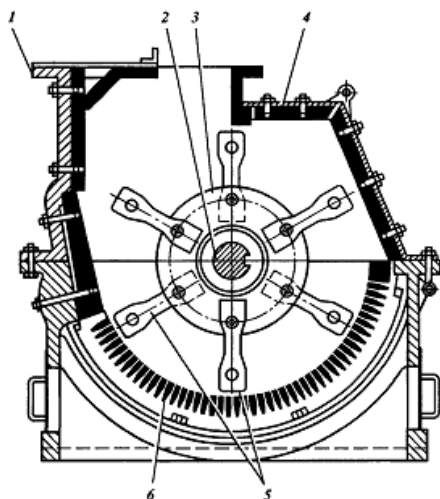
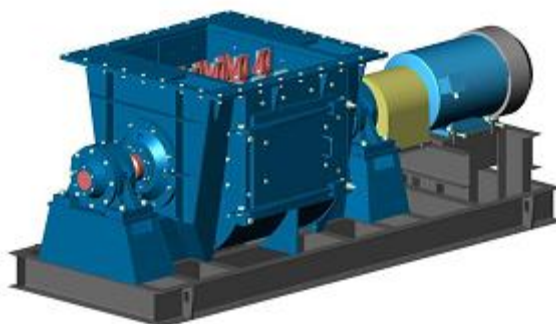
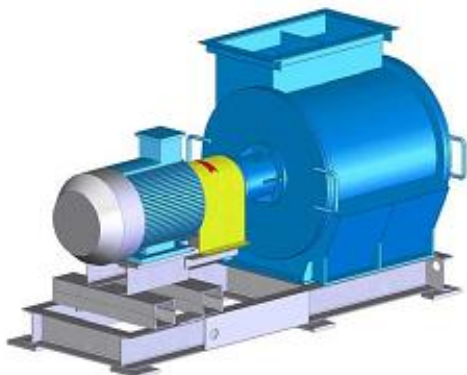


Рис 4. Молотковая дробилка

1- корпус, 2- вал, 3- диск, 4- бронеовые плиты, 5- молотки, 6- колосниковая решетка.

Куски сырья, подаваемые в молотковую дробилку , подвергаются ударам молотков, шарнирно подвешенных к вращающемуся ротору. В процессе дробления частицы материала отбрасываются на отражательные плиты, соударяются между собой, вновь отскакивают к молоткам. Удаление продукта через колосниковую решетку сопровождается его истиранием. Шарнирная подвеска молотков предотвращает поломку дробилки при попадании недробимых тел.



tlnh.
ru

Рис.5. Молотковая дробилка

4. Дезинтеграторы

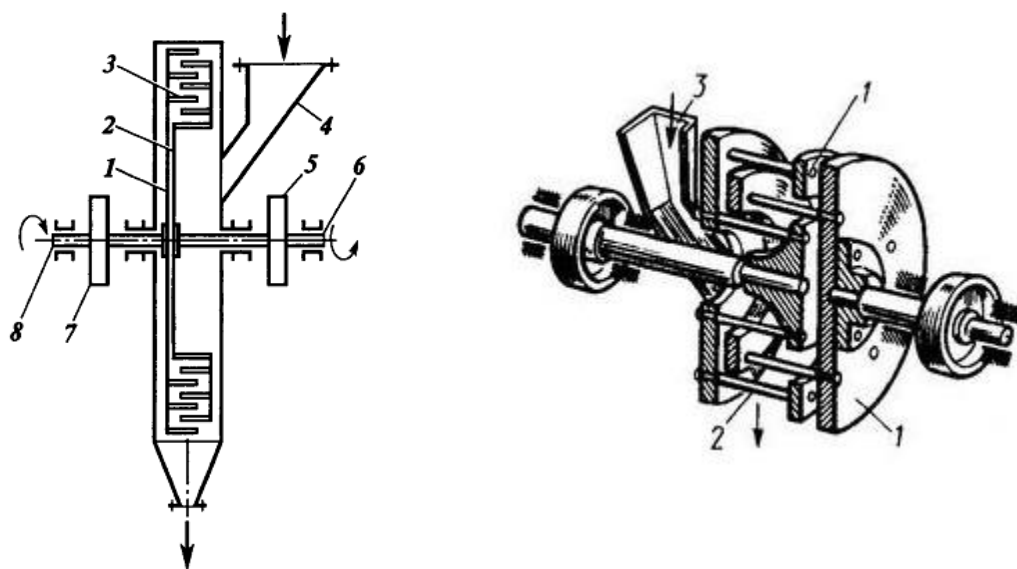


Рис. 6. Дезинтегратор

Дезинтеграторы предназначены для измельчения сухих пластичных материалов: глин, каолинов, талька. В корпусе дезинтегратора в противоположных направлениях вращаются диски 1, по окружности которых установлены концентрическими рядами пальцы 2, выполненные из износостойкой стали. Через приемную воронку 3 куски материала попадают в дезинтегратор и разбиваются пальцами, расположенными в первом ряду диска, отбрасываются ими к следующему ряду пальцев диска, вращающегося в противоположном направлении и т. д. Тонкость помола составляет 0,4-0,7 мм и менее.

5. Дробилки двухвалковые

В зависимости от физико-механических свойств дробимого материала и технологического применения измельченного продукта, используют валки с разной рабочей поверхностью.

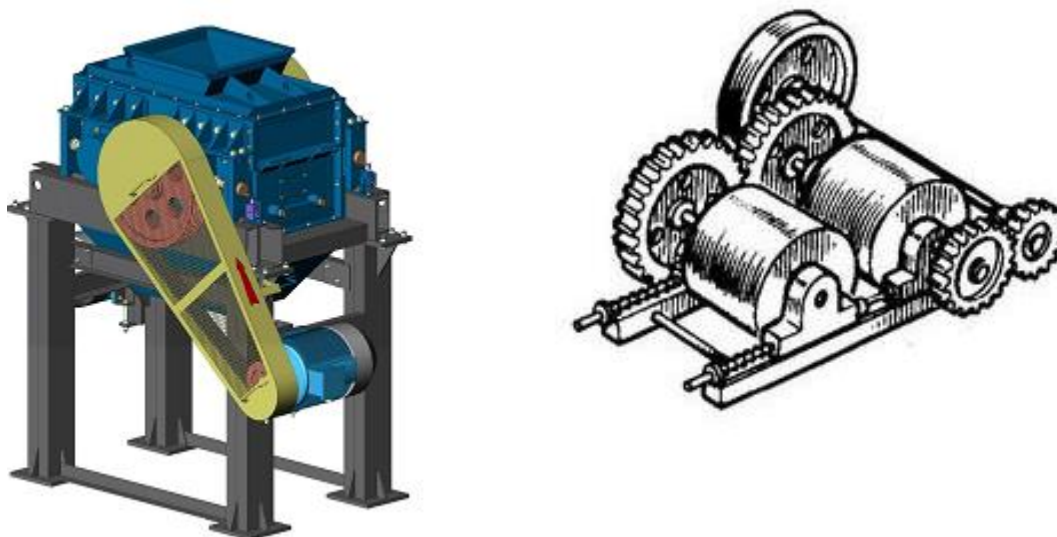


Рис. 7. Валковые дробилки

Дробилки с гладкими валками применяются преимущественно для тонкого измельчения материалов средней и низкой прочности (до 25 МПа). Дробилки с рифлеными и зубчатыми валками предназначены для среднего дробления материалов средней прочности (до 100-120 МПа). Их можно использовать для дробления мела, мергеля, угля, сланца, строительных отходов, солей и шлаков, а также для измельчения вязких и влажных материалов, например глин.

Принцип действия дробилок: материал затягивается вращающимися навстречу валками и измельчается за счет сжатия и частично истирания. Однократное сжатие в рабочем пространстве дробилки обуславливает малый выход измельченного материала.

Одной из положительных характеристик дробилок является невысокий удельный расход электроэнергии, а также надежность и простота эксплуатации.

Загрузку можно производить с помощью питателей различных модификаций в зависимости от места установки и общей компоновки оборудования на помольном участке.

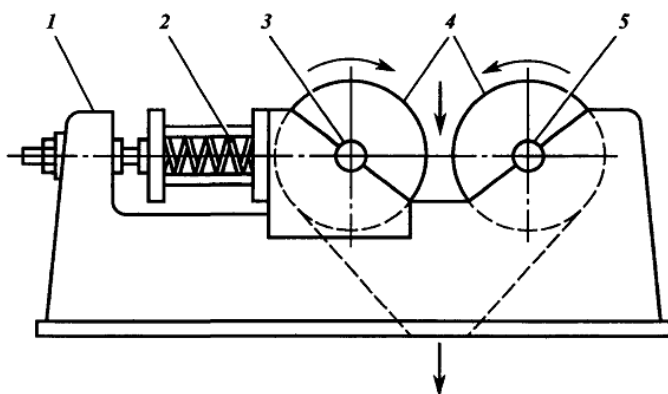


Рис. 8. Схема валковой дробилки

- 1-рама
- 2- пружина
- 3-подвижная ось
- 4- валки
- 5-неподвижная ось

6. Шахтные мельницы

Шахтные мельницы представляют собой видоизмененные молотковые дробилки.

Частицы, измельченные ударами бил, подхватываются потоком газов, поступающих в корпус мельницы по специальному каналу, и выносятся в шахту, в которой отсеиваются под действием сил тяжести. Крупные частицы падают в мельницу на доизмельчение, а мелкие выносятся в осадительные устройства. Тонкость помола в некоторых пределах можно регулировать изменением положения отбойных плит и объемом газопотоков.

Барабанные мельницы

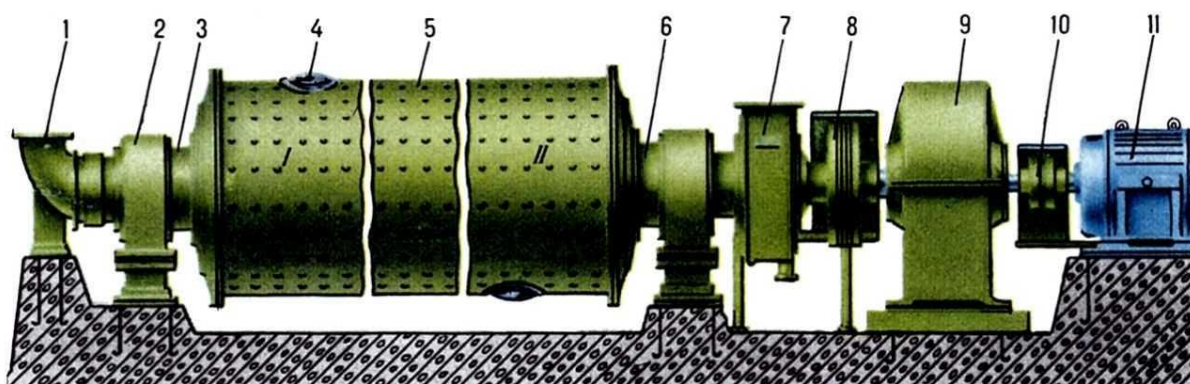


Рис.9. Трубная мельница: I-II - камеры помола; 1 - загрузочная воронка; 2 - роликовая опора; 3 - загрузочная часть; 4 - люк; 5 - барабан мельницы; 6 - разгрузочная часть; 7 - кожух разгрузки; 8 - эластичная муфта; 9 - редуктор; 10 - пальцевая муфта; 11 - электродвигатель.

Барабанные мельницы применяют для грубого и среднего помола. Основным элементом их конструкций - вращающийся в горизонтальной плоскости барабан, защищенный изнутри броневыми плитами, в который загружены мелющие тела (шары, стержни, морская галька). При вращении барабана мелющие тела прижимаются к его стенке центробежной силой, поднимаются до некоторой высоты и падают, измельчая материал ударом, раздавливанием и истиранием. Наиболее распространенная машина этой конструкции - шаровая диафрагмовая мельница, где мелющими телами являются стальные шары. Мельницы сухого помола обозначаются ШБМ, мокрого - МШР.

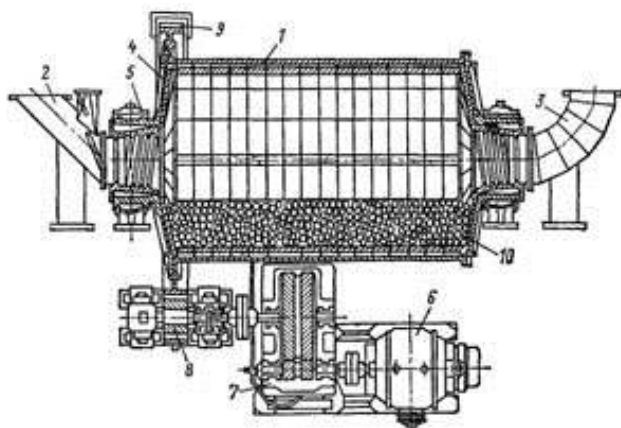


Рис. 10. Шаровая барабанная мельница ШБМ:

1 – стальной барабан; 2 – патрубок для горячего воздуха и топлива; 3 – пылевыводящий патрубок; 4 – торцевая стенка; 5 – подшипник; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор; 8 – ведущая шестерня; 9 – ведомая шестерня

(зубчатый венец); 10 – стальные шары

Загрузка сырья в мельницу и выгрузка продукта осуществляются через полые цапфы барабана, причем его разгрузочный конец перекрыт решеткой, задерживающей мелющие тела и частицы материала размером больше d_k . В зависимости от скорости вращения барабана режим движения шаров может быть каскадным, когда они поднимаются и скатываются параллельными слоями, и водопадным, когда шар в верхней точке подъема отрывается от "своего" слоя и возвращается в него по параболической траектории с ударом (см. рис.1.12). Более эффективен водопадный режим, однако соответствующие ему скорости вращения близки к критической, когда шары начинают вращаться вместе с барабаном, не измельчая материал. Для повышения эффективности помола внутренняя полость барабана может быть разделена вертикальными листовыми ситами на несколько камер, причем размеры шаров в камерах по ходу движения материала должны соответствовать размерам частиц поступающего материала.

Контрольные вопросы по теме «Дробилки и мельницы»

- Зачем проводят измельчение твердых материалов в технологических процессах?
- Как классифицируют измельчение по крупности частиц материала?
- Перечислите способы разрушения материала, которые лежат в основе конструкций измельчающих машин.
- Что такое измельчение по замкнутому циклу?
- Приведите примеры дробилок и мельниц. Опишите их устройство и принцип действия.

4.3. Классификация.

Классификаторами называются машины для разделения полидисперсной массы твердого сыпучего материала на фракции (классы) по крупности частиц. Классификация как самостоятельный процесс используется для выделения из твердого сыпучего материала частиц заданного размера, который определяется технологическими требованиями или условиями потребления. В химической промышленности используют два способа классификации:

механический (грохочение) и пневматический (сепарация).

Выбор способа классификации конкретного материала определяется размером его частиц: если размер превышает 3 мм, то выгоднее использовать грохочение, при меньших размерах - сепарацию.

Процесс грохочения протекает нормально, если материал перемещается по поверхности просеивающего элемента и при этом перемешивается. Поэтому просеивающие элементы грохотов чаще всего устанавливают наклонно, а их рамы делают подвижными

Одно из требований к конструкциям грохотов - максимальная световая поверхность, т.е. отношение площади отверстий к площади элемента. Наиболее популярны в промышленности листовые сита,

В зависимости от преобладающей формы частиц материала используются сита с круглыми, продолговатыми, прямоугольными или квадратными отверстиями. Для увеличения световой поверхности сит и улучшения условий разделения отверстия располагают в шахматном

порядке (при перемещении по поверхности такого сита частица обязательно встретит на своем пути отверстие). Промышленные сита чаще всего изготавливают из стали, для грохочения абразивных материалов используют сита из резины или полиуретана, которые на порядок долговечнее металлических. Наиболее популярный размер отверстий промышленных листовых сит 10-80 мм, толщина 4-10 мм. При больших размерах кусков нижнего класса для грохочения используют колосниковые решетки, при меньших - проволочные сита: плетеные, крученые, вязанные, сварные, стержневые. Основное требование к проволочным ситам: форма изгибов проволоки должна обеспечивать точность размеров отверстий и их неизменность при грохочении.

Расположение просеивающих элементов в грохоте определяет последовательность выделения классов частиц обрабатываемого материала.

Различают три основные схемы выделения классов: от мелкого к крупному, от крупного к мелкому и комбинированную

В первой схеме весь исходный материал поступает на самое мелкое сито, поэтому оно быстро изнашивается. Крупные куски затрудняют доступ к его отверстиям мелким частицам, в результате уменьшается его световая поверхность и снижается эффективность грохочения. Для схемы от крупного к мелкому характерна высокая эффективность грохочения, долговечность сит и высокая производительность, однако доступ к ситам для осмотра и ремонта при этой схеме затруднен. Комбинированная схема в определенной мере сохраняет достоинства и устраняет недостатки первой и второй схем.

4.3.1. Разделение просеиванием.

Рассеивание (аппараты – сита) применяется для разделения мелкозернистых, сыпучих материалов.

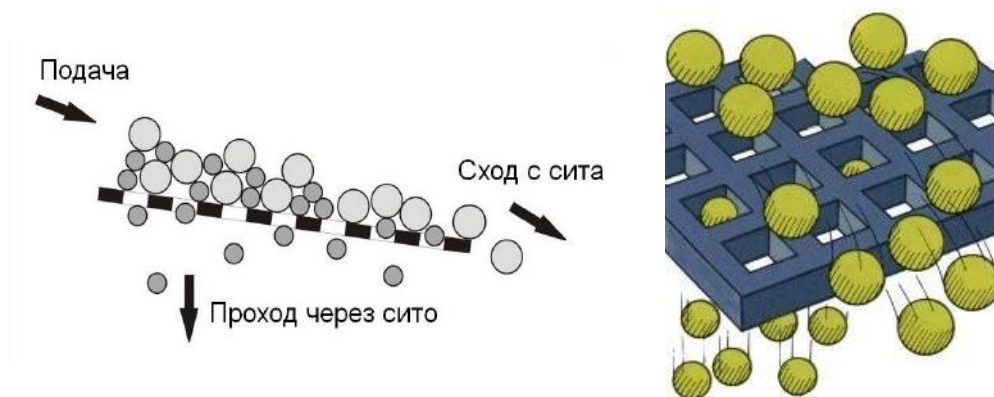


Рис.1. Принцип разделения просеиванием

Применяя группу сит с разными отверстиями, можно разделить зернистый материал практически на любое количество фракций (рис. 4.12). Промышленность выпускает сита с отверстиями, имеющими размер стороны от 40 мкм и выше. Площадь в свету по всей площади сита для всех сит остается постоянной, примерно равной 36 %.

Наряду с отечественной системой сит иногда применяются две дюймовые американские и метрическая немецкая.

Американские:

а) шкала Риттенгера – $\frac{aa}{bb} = 2$ и $\frac{a}{b} = \sqrt{2}$

б) шкала Ричардсона – $\frac{aa}{bb} = \sqrt{2}$ и $\frac{a}{b} = \sqrt[4]{2}$

Немецкая шкала. Номер сита соответствует числу отверстий на 1 см, а площадь отверстий в свету равна 36 %. Если m и l – номер сита и длина стороны отверстия, соответственно, то

$$l \cdot m = \sqrt{F_{cb}} = \sqrt{36} = 6, \quad \text{Тогда } l = \frac{6}{m}.$$

Российской системой сит сетки делятся на следующие 6 классов

Класс	Площадь отверстия , в мм ²
Наимельчайший	Менее 0,025
Мельчайший	0,025-0,25
Мелкий	0,25-1,0
Средний	1-25

Крупный	25-625
Очень крупный	Более 625

Во многотоннажных производствах для разделения сыпучих материалов применяют сита и решетки с отверстиями размером не менее 100 мкм в поперечнике. Сита с более мелкими ячейками применяются в малотоннажных производствах и для контрольных анализов.

Грохочение (аппараты – грохоты) применяется при разделении крупнозернистых, кусковых материалов.

Основной проблемой грохочения является так называемая приграничная фракция, это та фракция, которая практически равна по размеру ячейке сита ($\pm 10\%$).

- Частицы чуть меньше ячейки сита, хуже просеиваются и требуют больше времени для просева, за счёт чего падает производительность
- Частицы чуть больше ячейки сита, приводят к забиванию сита, и просев перестаёт работать

Плоские грохоты

К их числу относятся колосниковые, валковые и решетчатые (ситовые) грохоты.

Колосниковые грохоты Колосниковый грохот используют при предварительном грохочении, как правило, перед дроблением, для выделения из горной массы кусков крупностью до 200 мм, не требующих дробления.

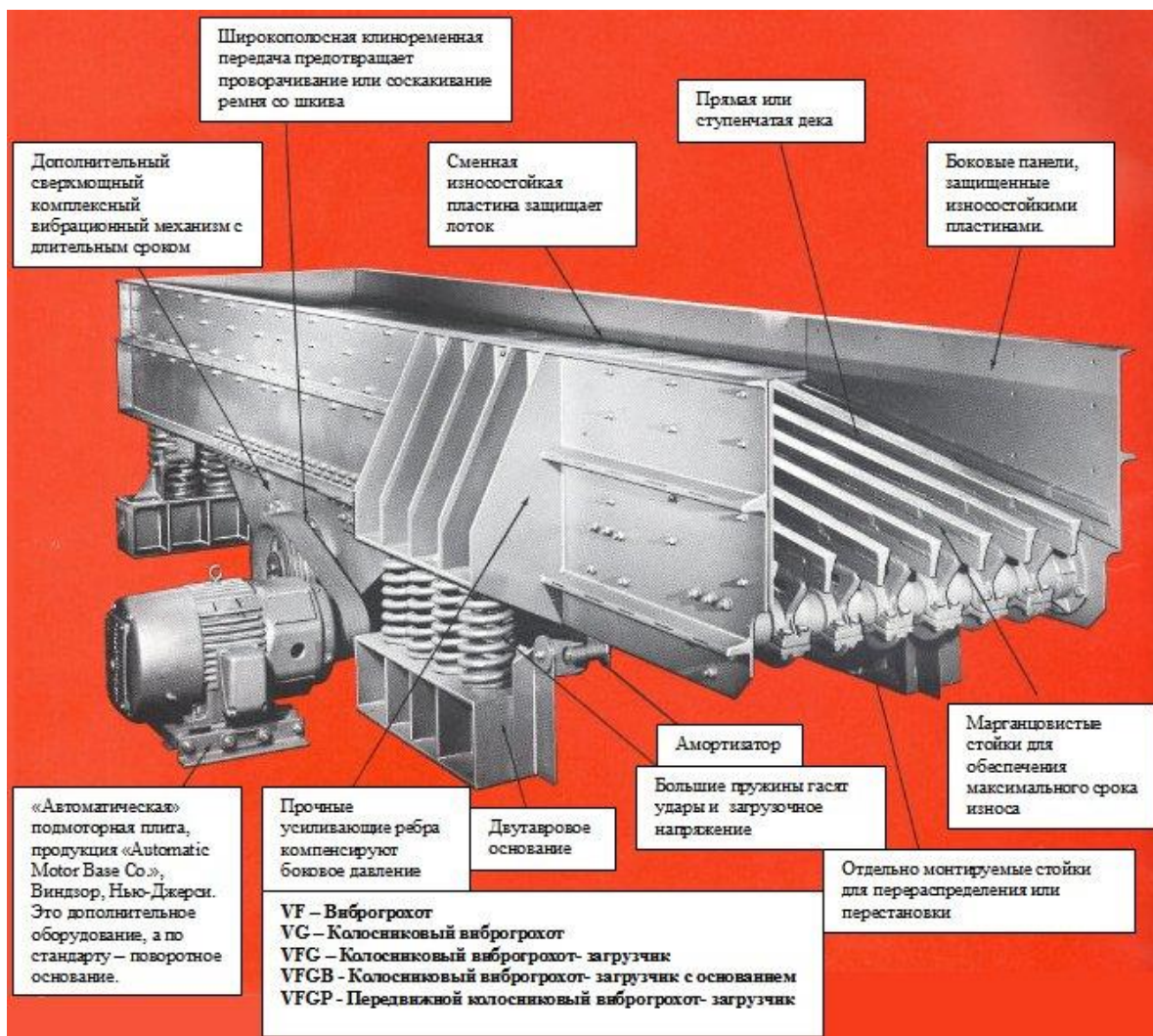


Рис.2. Различают колосниковые грохота неподвижные и подвижные.

Подвижные (консольные вибрирующие) колосниковые грохота (рис.2.11.1 2) собирают из отдельных колосников, один конец которых жёстко закрепляют на балках несущей конструкции. Куски крупного материала, падая на решётку, создают вибрации консольных концов колосников, поэтому колосники меньше забиваются липким материалом.

Валковые грохоты не только классифицируют материал, но и подвергают его транспортировке при одновременном ворошении.

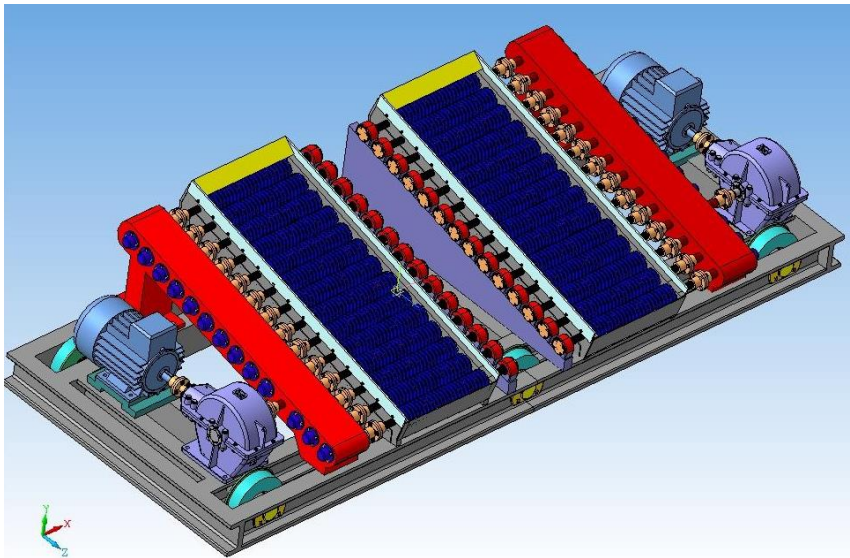


Рис.3 Валковые грохоты

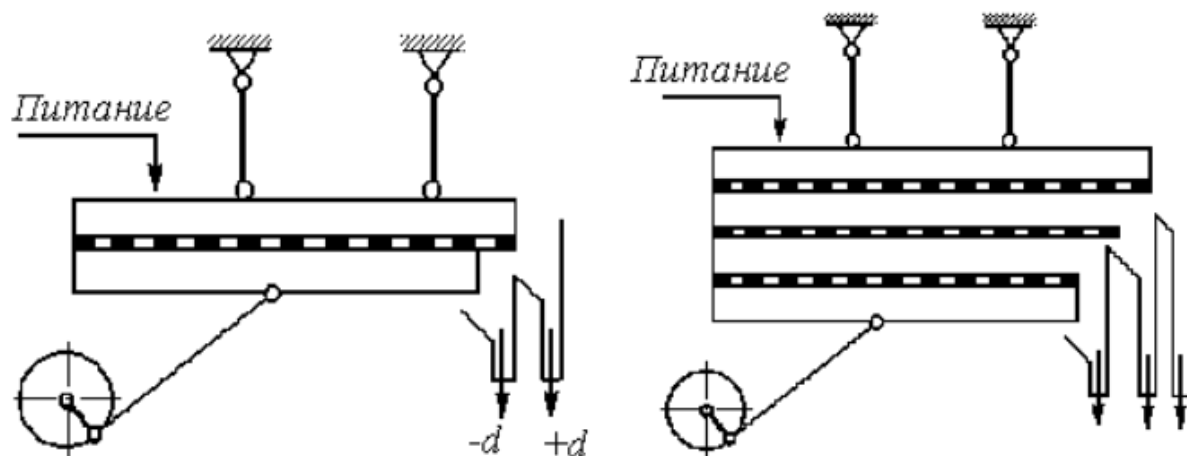


Материал подается на валковый грохот через течку, он проходит через вращающиеся валы, на которых закреплен набор дисков и распорок.

По мере движения материала над валами мелкий материал проходит сквозь диски в течку разгрузки продукта.

Крупные куски транспортируются под дисками и разгружаются в отвал или для дальнейшей переработки.

Наиболее распространены ситовые грохоты



Односитовый грохот Многоситовый грохот с вертикальной компоновкой сит
Рис 4. Ситовые грохоты

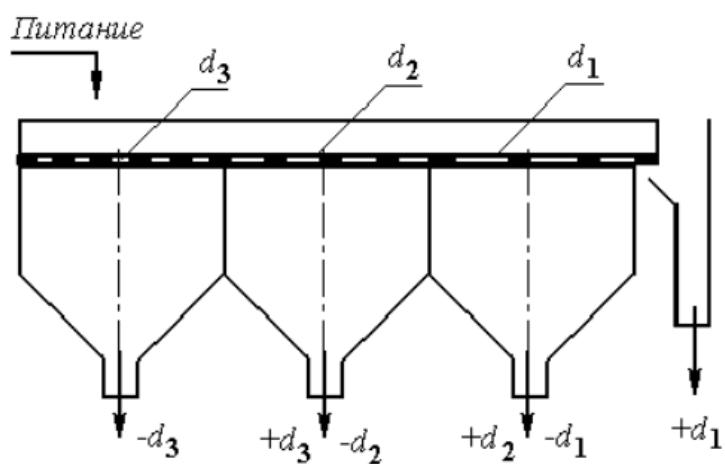


Рис 5. Многоситовый грохот с горизонтальной компоновкой сит

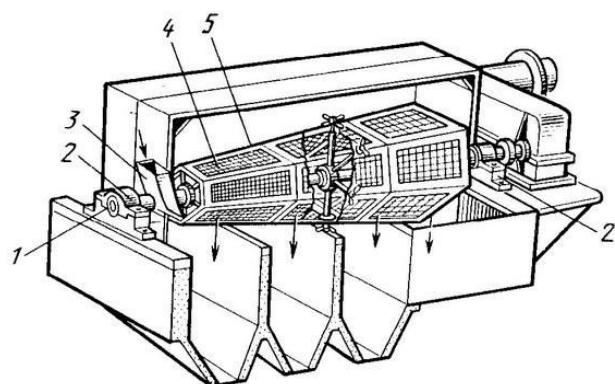


Рис. 6. Барабанный грохот:

- 1 — горизонтальный вал,
- 2 — подшипники,
- 3 — приемная воронка,
- 4 — сетки разных размеров,
- 5 — рамки с сетками



Контрольные вопросы.

- Что положено в основу классификации машин для измельчения?
- Приведите схему измельчения в один прием по открытому и замкнутому циклу.
- Приведите схему измельчения в два приема.
- Какие методы измельчения необходимо применять для измельчения материалов:
- прочных и хрупких (раздавливание, удар)?
- прочных и вязких (раздавливание)?
- хрупких, средней прочности (удар, раскалывание, истирание)?
- вязкий, средней прочности (истирание, удар, раскалывание).
- В чем различие поверхностной и объемной теорий измельчения?