

ЛЕКЦИЯ «Подготовка сировини до плавки. Процеси розсівання і класифікації»

После дробления и измельчения необходимо разделять по крупности сыпучие материалы, которые представлены частицами различного размера. Это требуется для получения сырья определенного диапазона крупности (варианты «от и до», «не крупнее, чем», «не мельче, чем»).

Классификация – это процесс разделения материалов на классы по крупности.

1. Процессы грохочения.

Если процесс разделения материалов на классы крупности осуществляют на просеивающих поверхностях, то он носит название **грохочение**. Сущность процесса грохочения заключается в том, что частицы исходного питания размерами меньше отверстий сита под действием силы тяжести и колебаний грохота проходят через эти отверстия. Частицы размерами больше отверстий сита остаются на нем и удаляются с грохота (рис. 1).

Материал, поступающий на грохочение, называется исходным, остающийся на сите — надрешетным (верхним) продуктом, проваливающийся через отверстия сита — подрешетным (нижним) продуктом.

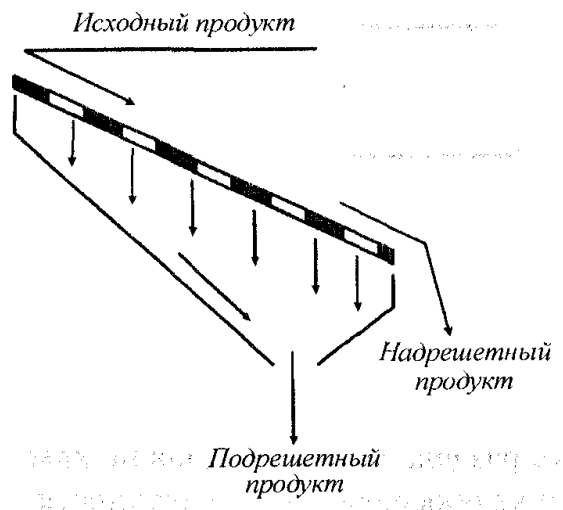


Рисунок 1 - Схема грохочения

Операции грохочения широко применяют в металлургии на обогатительных и брикетных фабриках и сортировках, в производстве строительных материалов, химической и др. отраслях промышленности. В технологической схеме обогащения или при подготовке природных материалов к переработке выделяют следующие виды операций грохочения: самостоятельное, подготовительное и вспомогательное.

Самостоятельное грохочение применяют на сортировках для выделения классов - готовых продуктов, направляемых непосредственно потребителям. Сортировке подвергают угли, железные руды, абразивы и т. д.

Подготовительное грохочение применяют на обогатительных фабриках с целью разделения перерабатываемого материала на классы, поступающие далее в операции обогащения.

Вспомогательное грохочение применяют в сочетании с операциями дробления, для выделения готового по крупности продукта перед дробилками и контроля крупности дробленого продукта. Первый вид грохочения часто называют *предварительным*, а второй – *контрольным* или *проверочным*.

Типичные схемы грохочения при дроблений изображены на рис. 2.

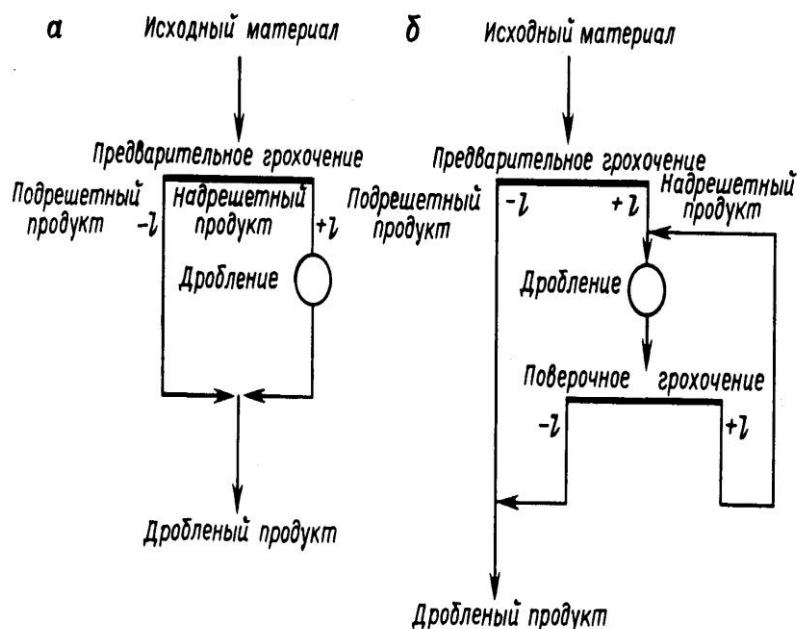


Рисунок 2 - Схема грохочения при дроблении:

а - предварительное грохочение; *б* - предварительное и поверочное грохочение

В ряде случаев при грохочении происходит выделение полезного продукта; такое грохочение называется избирательным. В результате получают продукты, отличающиеся не только по крупности, но и по содержанию в них того или иного компонента. При избирательном грохочении используют различия в физических свойствах отдельных компонентов, входящих в состав сырья, например, различие в твердости и крепости или в форме кусков выделяемого компонента и сопутствующего материала.

По способу выделения машинных классов различают следующие виды грохочения:

- сухое - без применения обрабатывающей среды или с применением в качестве нее специально подаваемого воздуха;
- мокрое или гидрогрохочение - с применением в качестве обрабатывающей среды специально подаваемой воды;
- комбинированное - последовательное сочетание сухого и мокрого грохочения.

Просеивающие поверхности изготавливаются из различных материалов и имеют сквозные отверстия различной формы и размеров.

Листовые сита (*решета*) - это стальные листы с проштампованными или просверленными отверстиями.

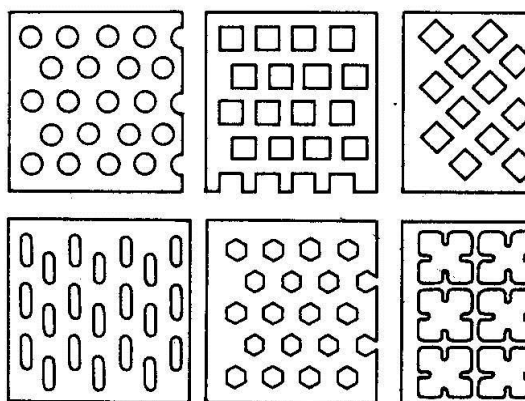


Рисунок 3 - Форма и расположение ячеек перфорированных сит

Форма отверстий листовых сит - круглая, прямоугольная (щелевидная), квадратная (рис. 3). Отверстия располагают линейно, параллельными рядами или в шахматном порядке.

Листовые сита (решета) с квадратными и круглыми отверстиями стандартизированы. Размеры квадратных отверстий нужно выбирать из ряда: 5; 6; 10; 13; 14; 16; 20; 25; 32; 35; 37; 40; 42; 50; 60; 65; 70; 75; 80; 100; 150 мм.

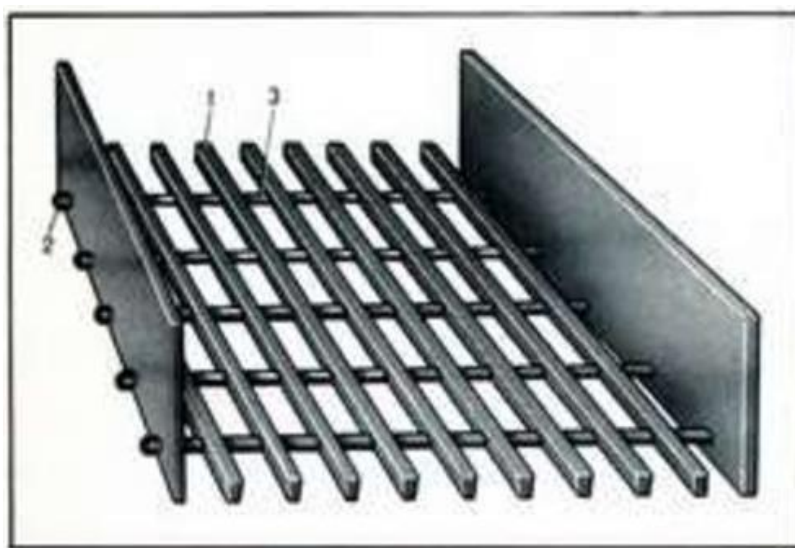
Диаметры круглых отверстий соответствуют ряду: 7; 12; 15; 18; 20; 24; 26; 30; 32; 40; 47; 50; 60; 75; 82; 90; 95 мм.

Толщина листа для сит с отверстиями менее 10 мм равна $4 \div 6$ мм; для отверстий $30 \div 60$ мм – $8 \div 10$ мм.

Сита изготовляют из сталей разных марок и сплавов; из стали, футерованной резиной; из специальных сортов полиуретана.

Шаг отверстий одинаковый для квадратных и круглых отверстий и составляет $1,2 \div 1,5$ размера отверстий.

Для грохочения применяют чаще всего листовые сита с отверстиями от 80 до 10 мм. При необходимости иметь большие размеры отверстий целесообразно использовать колосниковые решетки (рис. 4), а при меньших размерах - проволочные сетки.



1 – колосник; 2 – стяжной болт; 3 – распорная труба

Рисунок 4 – Составные части колосникового грохота

Процесс грохочения реализуют с применением специальных машин – **грохотов**. В горно-перерабатывающей промышленности самыми распространенными грохотами для классификации сухих материалов являются вибрационные машины на пружинных опорах с одной или несколькими

прямоугольными просеивающими поверхностями (ситами), установленными в открытом со стороны разгрузки коробе. Если сит несколько, т.е. грохот многоситный, сита располагаются одно под другим, от крупного к мелкому. Вибрация короба обеспечивается дебалансными вибровозбудителями, которые крепятся на коробе грохота и приводятся в движение асинхронными электродвигателями. Обычной скоростью вращения двигателя вибропривода является 1000 об/мин., реже 1500 об/мин. Несмотря на то, что известных конструкций вибрационных грохотов существует множество, в современной практике горной промышленности массово используют два основных типа вибрационных грохотов, отличающихся типом колебаний:

- **инерционные грохоты** - оснащены одним виброприводом, сообщаящим грохоту орбитальные колебания в вертикальной плоскости. Для транспортировки материала по ситам короб инерционного грохота устанавливается под углом 7-17 град. к горизонту;

- **самобалансные грохоты (рис. 5)** - оснащаются двумя виброприводами, работающими в противофазе и создающими прямолинейные колебания короба. Этот тип грохотов обеспечивает классификацию и одновременную транспортировку материала по ситам и поэтому может устанавливаться либо горизонтально, либо под небольшим углом к горизонту. Самобалансные грохоты обеспечивают несколько большую точность (эффективность) разделения по крупности и требуют меньшей конструктивной высоты для установки, чем инерционные грохоты, однако потребляют электроэнергии на 10-20% больше. Современные вибрационные грохоты способны перерабатывать сырье крупностью от 300 мм до 0,3 мм. Площадь сит промышленных грохотов варьируется от 0,5 до 20 м². Производительность грохотов в зависимости от их типоразмера и свойств перерабатываемого сырья составляет от 0,3 до 1200 т/час по исходному питанию.

Кроме указанных конструкций применяют также колосниковые (рис. 6), барабанные (рис. 7) и др. виды грохотов.

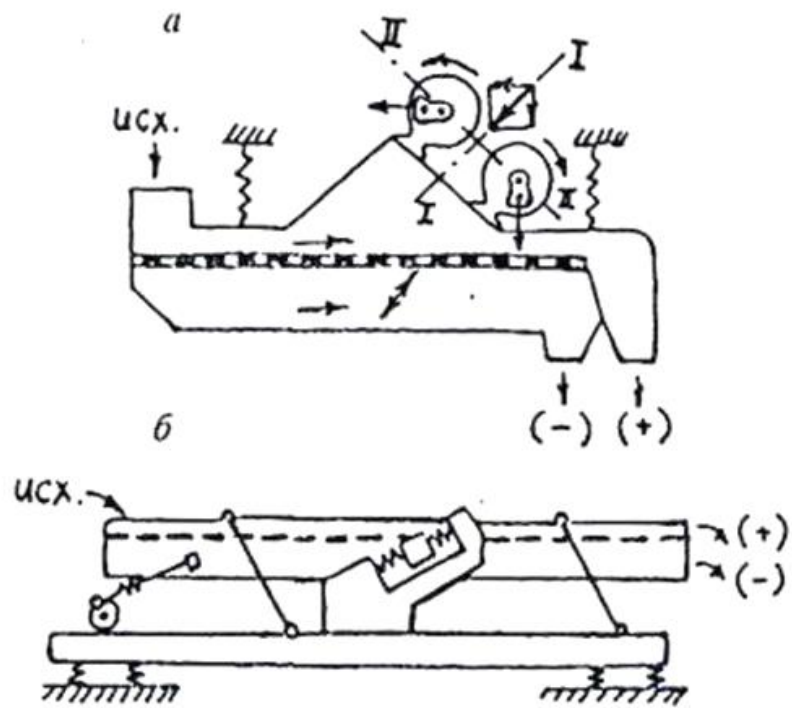


Рисунок 5 – Схемы грохотов: а – самобалансный; б - резонансный



Рисунок 6 – Колосниковый грохот



Рисунок 7 – Барабанный грохот

2. Процессы классификации

Для разделения по крупности мелких частиц (5-0,05 мм и менее) применяют методы **классификации**. Рассмотрим основные из них.

Гидравлической классификацией называют процесс разделения смеси мелких частиц разных размеров, формы и плотности на отдельные классы по скорости осаждения частиц в потоке воды.

Цель гидравлической классификации, как и грохочения - получение классов с определенным диапазоном крупности зерен.

Гидравлическая классификация осуществляется в горизонтальных, восходящих и вращающихся потоках воды, движущейся в классификаторе с такой скоростью, что зерна меньше определенного размера, не успевая осесть, уносятся с нею в слив, зерна же большего размера оседают в классификаторе.

Для классификации применяют, например, **механические классификаторы** - аппараты, снабженные механическим транспортным устройством для непрерывного удаления осевшего нижнего продукта (*песков*).

Наибольшее распространение получили спиральные, речные и чашевые классификаторы.

Спиральный классификатор (рис. 8) представляет собой наклонное (под углом 12-18°) корыто 1 полуцилиндрического сечения, внутри которого со

скоростью от 1,5 до 20 мин^{-1} вращаются одна или несколько спиралей 2, частично погруженных в жидкость и транспортирующих пески в верхнюю часть корыта для выгрузки. Слив удаляется из нижней части классификатора через высокий порог 3. Угол наклона корыта, число оборотов спиралей и концентрация твердого материала в пульпе являются основными факторами, влияющими на эффективность классификации и производительность аппарата.

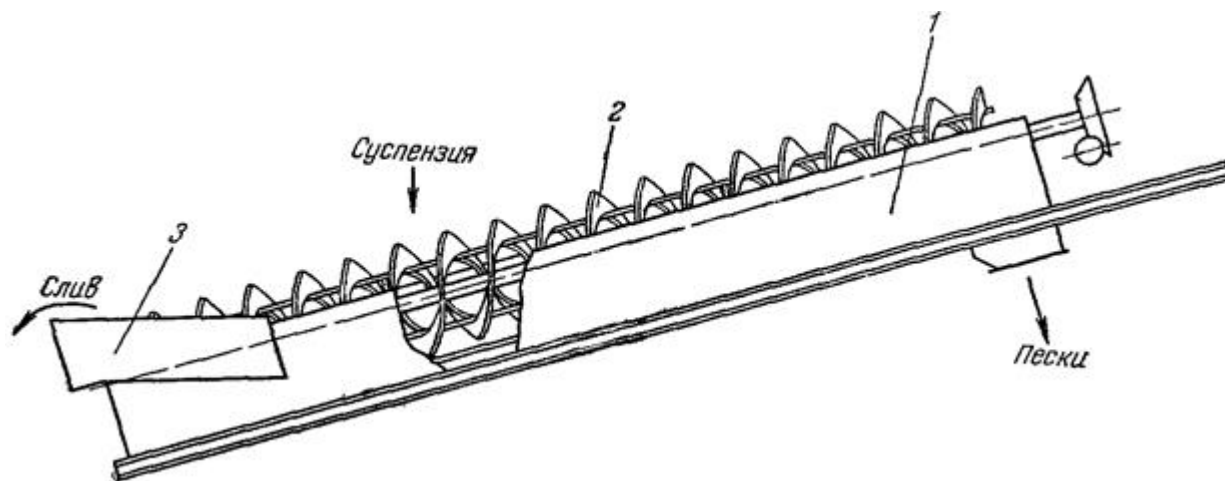


Рисунок 8 – Схема спирального классификатора

Общим недостатком механических классификаторов является низкий КПД, поскольку выдаваемые ими на доизмельчение в мельницах пески содержат большое количество тонкого материала (до 20% материала класса - 75 мкм).

Высокая производительность и эффективность классификации достигаются в центробежных классификаторах, в качестве которых используют гидроциклоны и отстойные центрифуги со шнековой выгрузкой.

Воздушная классификация отличается от гидравлической классификации тем, что скорость осаждения частиц в воздухе значительно выше, чем в воде, поэтому воздушная сепарация осуществляется обычно в восходящем воздушном потоке.

Воздушные сепараторы делятся на *воздушно-проходные* и *воздушно-циркуляционные*.

В *воздушно-проходном сепараторе* (рис. 9, а) поток воздуха с твердым материалом поступает по патрубку 1 со скоростью 15-20 м/с, омывает отбойный конус 2, проходит по кольцевому пространству между корпусом 3 и

внутренним конусом 4 и затем через тангенциально установленные лопатки завихрителя 5.

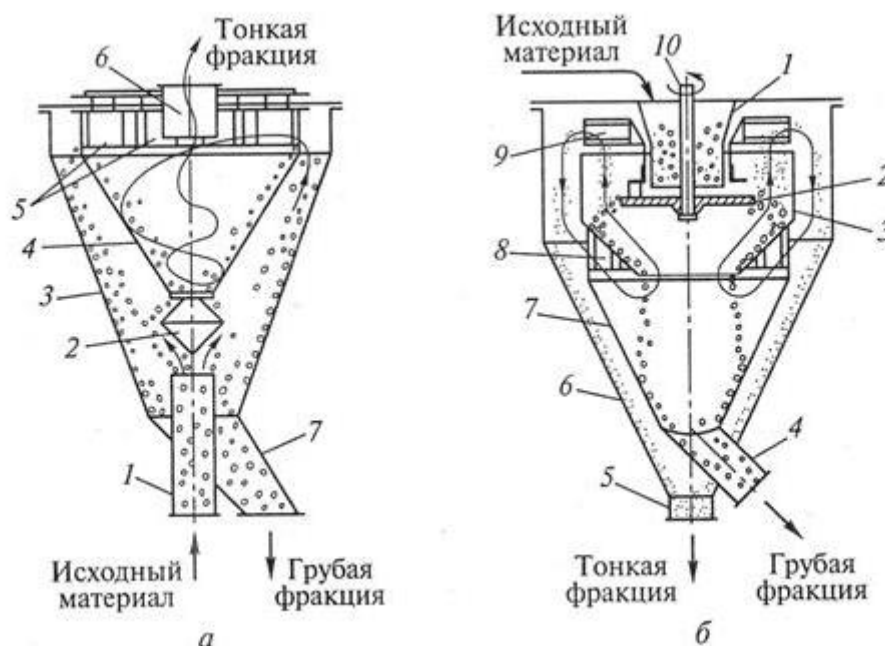
Выделение крупных твердых частиц из исходной смеси происходит сначала в кольцевом пространстве между корпусом 3 и конусом 4 под действием силы тяжести вследствие резкого снижения скорости воздушного потока в этом пространстве (до 4...6 м/с). Дальнейшая сепарация осуществляется под действием центробежных сил, возникающих при закручивании потока в лопатках завихрителя 5. При этом крупные частицы отбрасываются на внутреннюю стенку конуса 4, попадают на отбойный конус 2 и удаляются через патрубок 7, предварительно подвергаясь дополнительному разделению в воздушном потоке кольцевого пространства. Тонкая фракция вместе с воздухом отводится через патрубок 6.

Сепараторы этого типа позволяют разделять материал по граничному составу 150-200 мкм. Эффективность разделения можно регулировать изменением скорости воздуха и положения лопаток завихрителя.

Воздушно-циркуляционные сепараторы (рис. 9, б), позволяющие осуществлять более тонкое разделение (по границе 30-60 мкм), отличаются от воздушно-проходных тем, что воздушный поток циркулирует внутри аппарата и не выводится наружу. Сепараторы этого типа позволяют разделять материал по граничному составу 150-200 мкм. Эффективность разделения можно регулировать изменением скорости воздуха и положения лопаток завихрителя.

Разделяемый материал по патрубку 1 поступает на вращающийся диск 2. Крупные частицы отбрасываются центробежной силой к стенке конуса 3, опускаются по ней и удаляются через патрубок 4. На валу 10 тарелки укреплено вентиляторное колесо 9, создающее поток воздуха, циркуляция которого показана на рис. 9, б стрелками. Циркулирующий пылевоздушный поток, проходя между лопатками завихрителя 8, под действием центробежных сил дополнительно освобождается от крупных частиц, которые по внутренней поверхности конуса 7 отводятся к патрубку 4. В корпусе 6 аппарата улавливаются частицы мелкой фракции, которые удаляются через патрубок 5. Процесс выделения мелкой фракции в корпусе 6 аналогичен выделению пыли

в циклонах. Центробежное ускорение потоку в корпусе *б* сообщает вентиляторное колесо 9.



- а* – воздушно-проходной: 1, 6, 7 - патрубки; 2 - отбойный конус; 3 - корпус; 4 - внутренний конус; 5 - лопатки завихрителя;
- б* - воздушно-циркуляционный: 1, 4, 10 - патрубки; 2 - вращающийся диск; 3, 7 - конусы; 6 - корпус; 8 - лопатки завихрителя; 9 - вентиляторное колесо; 10 - вал

Рисунок 9 – Схема воздушного сепаратора

Выполняя одновременно функции классификатора, вентилятора и циклона, воздушно-циркуляционные сепараторы по сравнению с воздушно-проходными более компактны и требуют меньших затрат энергии.

3. Способы определения гранулометрического состава

Куски природных материалов различного размера обычно имеют неправильную форму и их крупность может быть охарактеризована лишь несколькими размерами. Для практических целей желательно характеризовать величину отдельного куса одним размером. Этот размер обычно называют диаметром куса. Диаметр кусков сферической формы будет диаметр шара. Для кусков кубической формы за диаметр принимают длину ребра куба; для кусков неправильной формы диаметр определяют по главным измерениям -

длине l , ширине b и толщине t параллелепипеда, в который вписывается измеряемый кусок. При этом за диаметр куска принимают ширину параллелепипеда $d=b$, либо среднее из двух или трех измерений.

Крупность всей массы сыпучего материала оценивают по содержанию в ней классов определенной крупности, т. е. по ее **гранулометрическому составу**. Гранулометрический состав материала в зависимости от крупности определяют одним из следующих способов.

Ориентировочный диапазон крупности (мкм) для некоторых методов анализа:

Ситовый анализ, в том числе на микроситах	100000-10
Отмучивание	40-5
Оптическая микроскопия	50-0,25
Гравитационная седиментация	40-1
Центробежная седиментация	5-0,05
Электронная микроскопия	1-0,005

Наиболее часто для контроля процессов грохочения, дробления и измельчения применяют **ситовый анализ**. Методы проведения ситовых анализов унифицированы. Для отсева используют набор проволочных сит с квадратными отверстиями, соответствующими стандартной шкале.

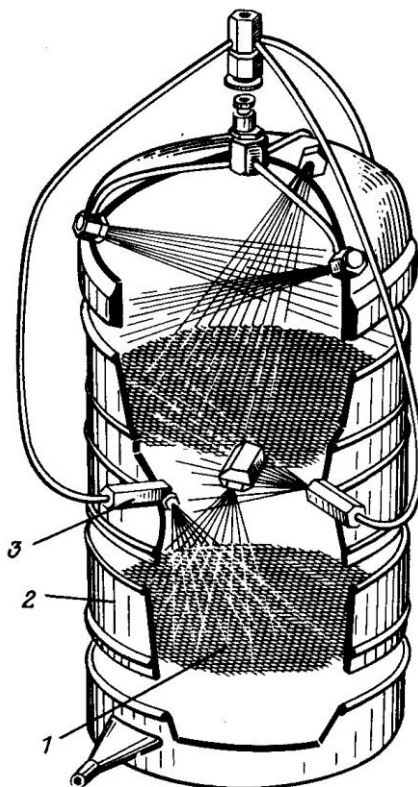
Материал крупнее 25 мм отсеивается на качающихся горизонтальных грохотах и ручных ситах, а мельче 25 мм - на лабораторных ситах. Сетка лабораторного сита натянута на цилиндрическую обечайку диаметром 200 мм и высотой 50 мм. Вставляя сита одно в другое, набирают комплекты сит, и одновременно ведут рассев материала на нескольких ситах. Верхнее сито закрывают крышкой, а нижнее вставляют в чашку-поддон, куда собирается подрешетный продукт последнего сита.

Массу пробы для ситового анализа принимают в зависимости от крупности наибольшего куска в пробе:

Размер наибольшего куска, мм	0,1	0,3	0,5	1	3	5	10
Минимальная масса пробы, кг	0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	2,25	18

Пробы рассеивают сухим или мокрым способом в зависимости от крупности материала и необходимой точности ситового анализа. Если не требуется особой точности и материал не слипается, то применяют *сухой способ отсева*. Сита устанавливают сверху вниз от крупных размеров отверстий к мелким. Пробу засыпают на верхнее сито и весь набор сит встряхивают на механическом встряхивателе в течение 10÷30 мин. Остаток на каждом сите взвешивают с точностью до 0,01 г на технических весах. Сумма масс всех полученных классов не должна расходиться более чем на 1% с массой исходной пробы. Если это условие выполняется, то сумму масс всех классов принимают за 100%. Выход классов получают делением массы каждого класса на общую их массу.

При наличии в пробе значительной доли мелкого материала и необходимости повышенной точности анализа пробу отсевают *мокрым способом*. Ее засыпают на сито с отверстиями наименьшего размера, например 0,074 мм, и отмывают мельчайшие частицы (шлам) слабой струей воды или погружая сито в бак с водой (рис. 10).



1 - сито; 2 - обечайка сита; 3 - форсунка с брызгалом

Рисунок 10 - Набор сит для мокрого ситового анализа с орошением

Промывку ведут до тех пор, пока промывочная вода не станет прозрачной. Остаток на сите высушивают, взвешивают и по разности масс определяют массу отмытого шлама. Высушенный остаток рассеивают сухим способом на ситах, включая и самое мелкое, на котором отмывался шлам. Подрешетный продукт этого последнего сита прибавляют к полученной ранее массе отмытого шлама.

Для точных анализов очень тонких пылей применяют **микросита**, рабочая поверхность которых представляет собой никелевую фольгу с квадратными отверстиями, расширяющимися вниз. Такие сетки изготавливаются электрогальваническим и электродуговым способами или травлением. Точность размера отверстий в микроситах значительно выше, чем в тканых сетках; отклонение от номинального размера ± 2 мкм. Изготавливают микросита с отверстиями размерами от 5 до 100 мкм с интервалами 5 или 10 мкм.

Просеивание ведется в жидкостном столбе, т. е. в крышку набора сит подводится вода, которая заполняет их и отводится от поддона. Это предохраняет сита от повреждений и исключает задержку прохождения воды через сетку вследствие действия сил поверхностного натяжения.

Навеска материала для анализа равна $1 \div 3$ г ($1 \div 2$ см³). Сита после анализа очищаются в ультразвуковой ванне.