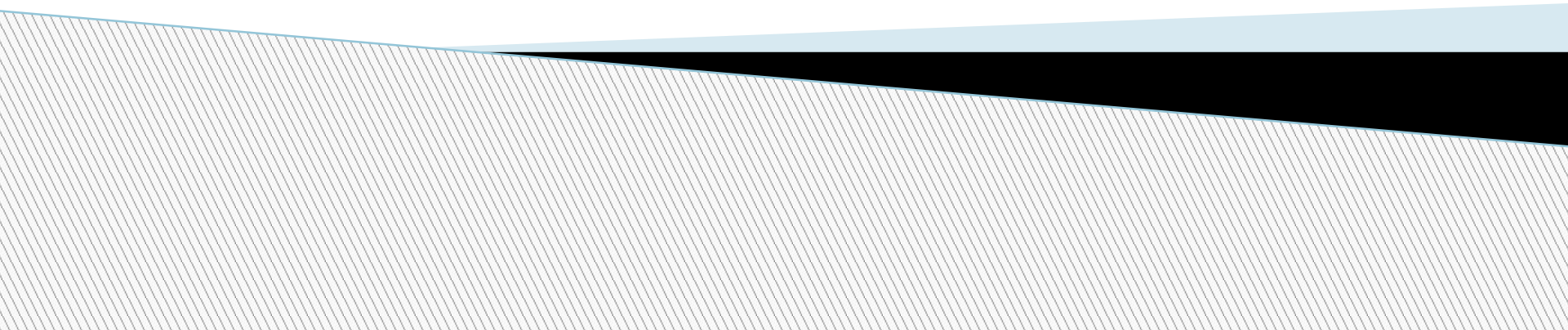


# ЛЕКЦІЯ 4. Ефективність грохочення

- 1. Фракційна і загальна ефективність грохочення.**
  - 2. Вивід рівнянь “фракційної ефективності” і ефективності за Олевським В.А.”**
  - 3.Примір використання рівнянь**
- 

**Эффектив-  
ность  
грохочения**

- служит для количественной оценки полноты отделения мелкого материала от крупного.

**Эффектив-  
ностью  
грохочения.**

- называют выраженное в процентах или долях единицы отношение массы подрешетного продукта к массе нижнего класса в исходном материале

**Эффектив-  
ность  
грохочения**

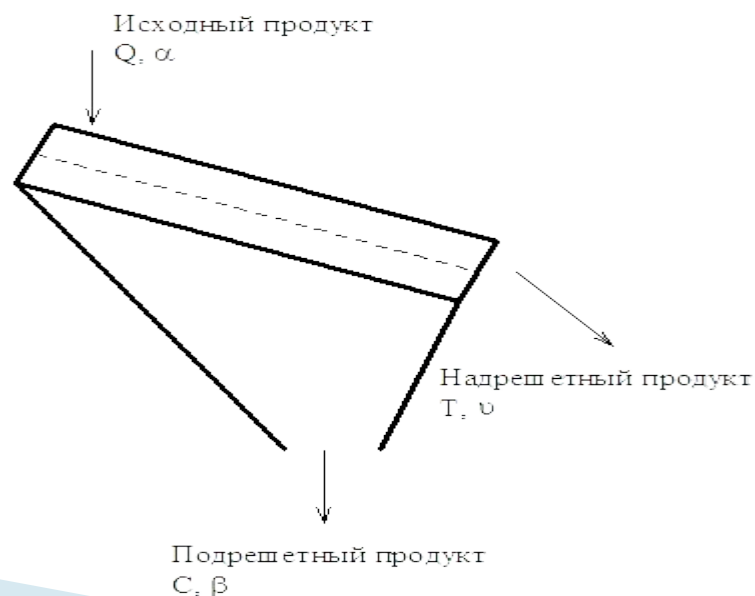
- Это извлечение нижнего класса в подрешетный продукт.

Под нижним классом следует понимать материал, крупность которого меньше размера отверстий сита грохота.

Для вывода расчетной формулы эффективности грохочения, воспользуемся уравнением материального баланса

$$Q = C + T$$

$$\frac{Q \times \alpha}{100} = \frac{C \times \beta}{100} + \frac{T \times \theta}{100}$$



$\alpha, \beta, \theta$  - содержание нижнего класса в исходном, подрешетном и надрешетном продуктах

$Q \times \alpha$

**100**      Масса нижнего класса в исходном материале,

**Q** -      Масса исходного материала

$C \times \beta$

**100**      Масса нижнего класса в подрешетном продукте

**C** -      Масса подрешетного продукта

$T \times \theta$       Масса нижнего класса в надрешетном продукте

**100**

**T** -      Масса надрешетного продукта

Согласно определению, выражаем эффективность грохочения следующей формулой:

$$Q = \frac{C}{Q\alpha/100} = \frac{C}{Q\alpha} 10^4.$$

Составляем балансовое уравнение по нижнему классу:

$$\frac{Q\alpha}{100} = C + \frac{T\vartheta}{100}.$$

$$Q\alpha = 100C + (Q - C)\vartheta,$$

$$\frac{C}{Q} = \frac{\alpha - \vartheta}{100 - \vartheta}.$$

Окончательно формула расчета эффективности грохочения имеет вид:

$$E = \frac{\alpha - \vartheta}{\alpha(100 - \vartheta)} 10^4. \text{ Общее уравнение}$$

Если учесть массовую долю готового класса крупности в подрешетном продукте  $\beta$  -, %.

Тогда эффективность грохочения равна

$$E = \frac{C\beta/100}{Q\alpha /100} 100 = \frac{C\beta}{Q\alpha} 100 .$$

Балансовое уравнение по заданному классу крупности имеет вид:

$$Q\alpha = C\beta + (Q - C)\vartheta ;$$

$$\frac{C}{Q} = \frac{\alpha - \vartheta}{\beta - \vartheta} ;$$

$$E = \frac{\alpha_1 - \vartheta_1}{\beta_1 - \vartheta_1} \frac{\beta_1}{\alpha_1} 100 \text{ Фракционной эффективности}$$

## Уравнение Олевского

Основан на том, что эффективность грохочения равна разности между извлечением мелочи в подрешетный продукт и извлечение в него крупного класса. Олевский вывел обобщающее уравнение.

$$E = \frac{(\beta - \alpha)(\alpha - \theta)}{\alpha(100 - \alpha)(\beta - \theta)} 10^4$$

## Уравнение Олевского

Основан на том, что эффективность грохочения равна разности между извлечением мелочи в подрешетный продукт и извлечение в него крупного класса. Олевский вывел обобщающее уравнение.

$$E = \frac{(\beta - \alpha)(\alpha - \theta)}{\alpha(100 - \alpha)(\beta - \theta)} 10^4$$

$$\blacksquare \quad \varepsilon_{\Pi} = \frac{\gamma \times \beta}{\alpha}$$

$$\blacktriangleright \quad \varepsilon_{\text{кр}} = \frac{\gamma \times (100 - \beta)}{(100 - \alpha)}$$

$$\blacktriangleright \quad E = \varepsilon_{\Pi} - \varepsilon_{\text{кр}} = \frac{\gamma \times \beta}{\alpha} - \frac{\gamma \times (100 - \beta)}{(100 - \alpha)} \times 100 =$$

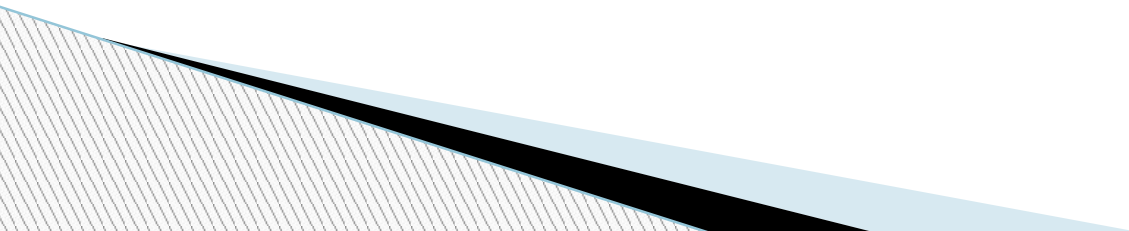
$$\blacktriangleright \quad = \frac{\gamma \times \beta \times (100 - \alpha) - \gamma \times \alpha \times (100 - \beta)}{\alpha \times (100 - \alpha)} \times 100 =$$

$$\blacktriangleright \quad = \frac{100 \times \gamma \times \beta - \gamma \beta \alpha - 100 \gamma \alpha + \gamma \beta \alpha}{\alpha \times (100 - \alpha)} = \frac{100 \gamma (\beta - \alpha)}{\alpha \times (100 - \alpha)} =$$

$$= \frac{100(\alpha - \theta)(\beta - \alpha)}{\alpha \times (100 - \alpha)} \times 100$$



# **ЛЕКЦІЯ 5. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРОХОЧЕННЯ**



Главные  
технологические  
показатели  
процесса  
грохочения  
материала

- производительность грохота,
- «замельченность» надрешетного продукта
- эффективность грохочения.

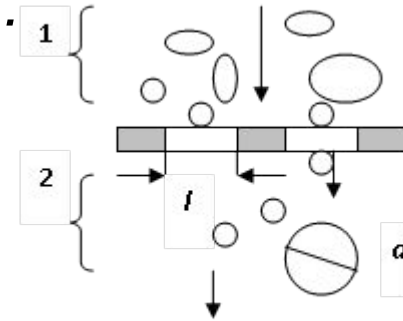
1 группа

- Факторы, зависящие от физико-механических свойств грохотимого материала (относительный размер зерен в исходном питании; форма зерна, влажность материала и т.д)

2 группа

- Конструктивно-механические факторы (размеры грохота и режим его эксплуатации).

□ *Влияние относительного размера зерна на эффективность грохочения.*



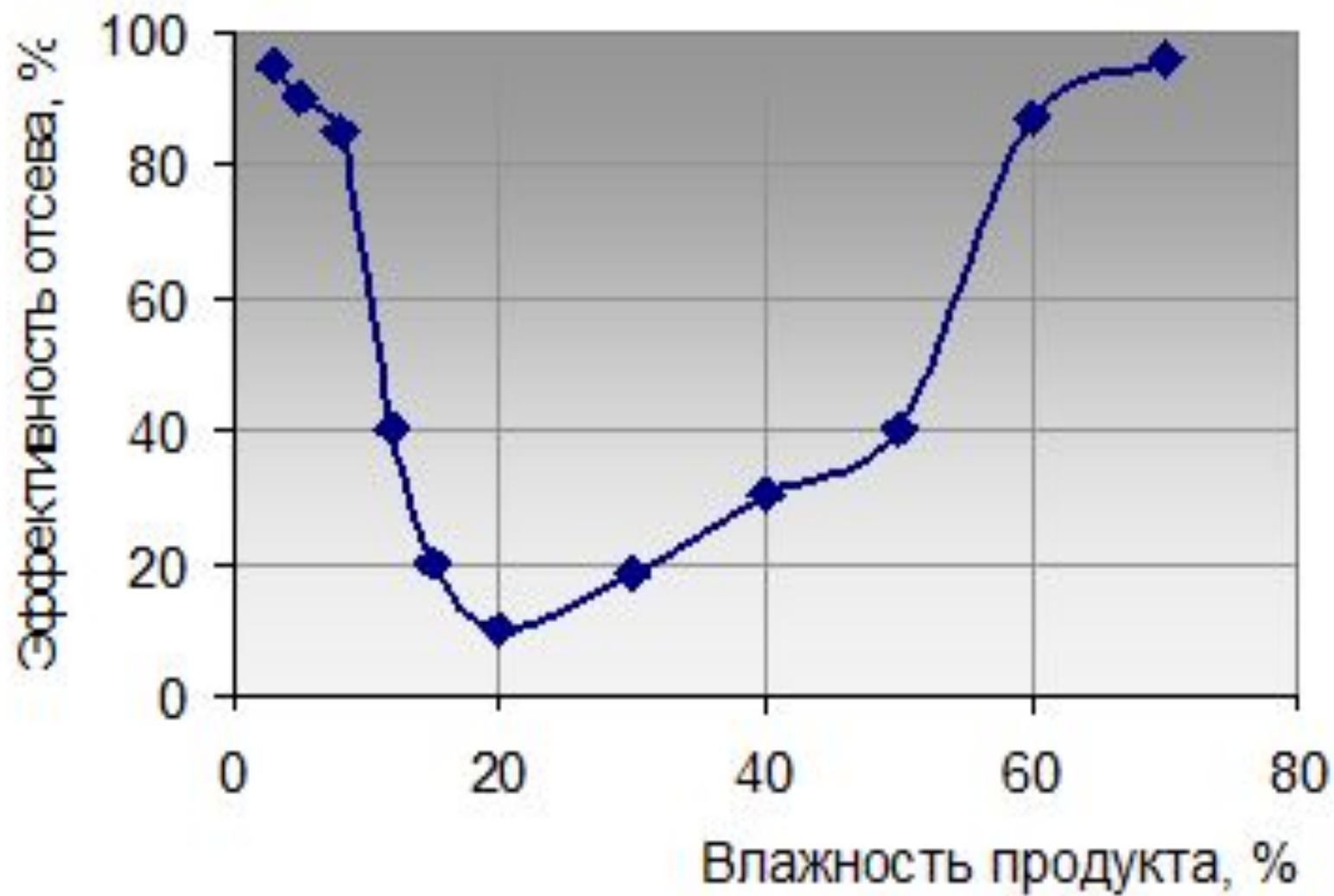
Процесс рессева сыпучих  
продуктов

- Просеивание зерен нижнего класса сыпучего материала сквозь сито можно рассматривать как процесс, состоящий из двух стадий:
- 1) зерна нижнего класса должны пройти сквозь слой зерен верхнего класса, чтобы достигнуть поверхности сита;
- 2) зерна нижнего класса должны пройти через отверстия сита.
- Осуществлению обеих стадий помогает соответствующий характер движения короба грохота, приводящий слой материала на сите в разрыхленное состояние и освобождающий сито от зерен, застрявших в его отверстиях

- Зерна, диаметр которых меньше чем  $0,75l$ , легко проходят через слой материала, достигают поверхности сита и проходят через его отверстия. Такие зерна принято называть «легкими». Количество этих зерен не влияет на эффективность отсева материала.
- Зерна, диаметр которых приближается к диаметру отверстия сетки ( $0,75l < d < l$ ) могут испытывать определенные трудности при прохождении через слой материала и отверстия сита. И эта трудность прохождения прогрессивно возрастает по мере приближения диаметра зерен к величине отверстий сита. Такие зерна называют «трудными».
- Зерна диаметром больше отверстия сита, но меньше его полуторного размера ( $l < d < 1,5l$ ) концентрируются, в основном, на поверхности сита и затрудняют проникновение в его поверхности нижнего класса. Кроме того, зерна, близкие по диаметру к величине отверстий сита, но больше их, легко застревают в отверстиях и «заслепляют» сито. Такие зерна называют «затрудняющими».
- Зерна, диаметр которых больше полуторной величины отверстий сита, не оказывает существенного влияния на перемещение зерен к поверхности сита. В то время как содержание в исходном материале «трудных» и «затрудняющих» зерен напрямую связано с показателем эффективности грохочения. Чем выше содержание этих зерен, тем ниже эффективность грохочения.

## ▣ **2. Влияние влажности материала на процесс грохочения.**

- ▣ Всю влагу в процессе грохочения принято делить на:
  - ▣ - **внешнюю** (гравитационную) влагу, покрывающую пленкой поверхность зерен материала;
  - ▣ - **внутреннюю** (капиллярную), находящуюся в порах и трещинах;
  - ▣ - **химически связанную**.
- ▣ Вода, находящаяся в порах и трещинах зерен, а также химически связанная, на процесс грохочения влияния не оказывает. Например, грохочение некоторых каменных углей практически невозможно при влажности их 6%, так как влага, в основном представлена поверхностными пленками, в то же время сильно пористые бурые угли просеиваются даже при влажности до 45%.
- ▣ Заметное влияние на эффективность грохочения оказывает внешняя влага, особенно при грохочении на ситах с мелкими отверстиями. Внешняя влага вызывает слипание мелких частиц зерен между собой, налипание их на крупные куски и замазывание отверстий сит вязким материалом. Кроме того, вода смачивает проволоки сита и может, под действием сил поверхностного натяжения, образовывать пленки, затягивающие отверстия. Все это препятствует расслоению материала по крупности на сетке и затрудняет прохождение мелких зерен через отверстия, в результате чего они остаются в надрешетном продукте.



- Начальный участок кривой, примерно до  $W \approx 8\%$ , представляет собой слабонаклонную прямую. Точка  $W_{кр} \approx 8\%$  является критической, так как после нее наблюдается резкое падение кривой из-за замазывания отверстий сит. В пределах от  $W \approx 12\%$  до  $W \approx 40\%$  грохочение практически полностью прекращается - почти весь материал остается на сите. Однако при дальнейшем повышении влажности (грохочение с добавкой воды) наступает переход к процессу мокрого грохочения, и эффективность снова повышается.
- **Иначе можно сказать, чем выше влажность исходного материала, тем ниже эффективность грохочения. Однако эффективность мокрого грохочения выше сухого.**
- При мокром грохочении применяются два варианта: грохочение с орошением из брызгал и грохочение в струе воды. При этом расход воды зависит от количества и свойств глинистых примесей, мелочи и пыли и колеблется от 1,5 до 3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> исходного материала. Мокрое грохочение предпочтительнее сухого еще и по условиям борьбы с запыленностью производственных помещений. В некоторых случаях, особенно при грохочении кремнистых руд, прибегают к специальному увлажнению руды (до 4-6%) с целью снижения пылевыведения и улучшения санитарного состояния помещений.

- **К факторам второй группы – конструктивно-механическим - относятся:**
- **1. Влияние формы отверстий сита.**
- В практике грохочения применяют просеивающие поверхности с круглыми, квадратными, прямоугольными (щелевидными) и треугольными отверстиями.
- **Круглые отверстия по сравнению с другими формами того же номинального размера дают более мелкий по крупности подрешетный продукт.**
- Практически считают, что максимальный размер зерен, проходящих через круглое отверстие, составляет в среднем около 80-85% от размера зерен, проходящих через квадратное отверстие того же размера.
- **Прямоугольные (щелевидные) отверстия допускают прохождение зерен более крупных по сравнению с круглыми и квадратными отверстиями такого же размера.** В практике принимают, что для получения материала такой же крупности, как и при круглых отверстиях, ширина прямоугольных отверстий должна составлять 65-70% диаметра круглого отверстия.
- Сита и решета с прямоугольными отверстиями по сравнению с рабочими поверхностями, имеющими квадратные и круглые отверстия, обладают существенным преимуществом – у них больше коэффициент живого сечения, их вес и стоимость меньше, они имеют большую производительность, менее подвержены забиванию при влажном исходном материале. Возможность применения сит с прямоугольными отверстиями ограничивается тем, что на них невозможно получить точные по размеру зерен классы (сорта) материала.
- **В целом можно отметить - эффективность грохочения тем выше, чем больше коэффициент живого сечения сетки (отношение площади отверстий сетки в свету к ее общей площади, выраженное в %).**



## ▣ **2. Размеры поверхности грохочения.**

- ▣ Производительность почти прямо пропорциональна ширине сита. Увеличение длины повышает вероятность прохождения зерен, увеличивая эффективность и лишь незначительно повышая производительность. На основании практических данных рекомендуется выбирать длину просеивающей поверхности в 2-3 раза больше ширины.

## ▣ **3. Размер отверстия сетки грохота.**

- ▣ При грохочении материала одного и того же гранулометрического состава **эффективность отсева тем выше, чем больше размер отверстия**, в силу того, что отверстия мелких сеток подвержены процессу забивания крупными зернами.

#### ***▣ 4. Амплитуда и частота вибраций.***

- ▣
- ▣ Частоту вибраций уменьшают, а амплитуду увеличивают по мере увеличения размера отверстий сита грохота.



#### ***▣ 5. Толщина слоя материала на сите.***



- ▣ Для наиболее эффективного протекания процесса грохочения толщина слоя не должна превосходить четырехкратного размера отверстия сита для материала с насыпной плотностью  $1600 \text{ кг/м}^3$  или 2,5-3 кратной величины для материала с насыпной плотностью  $800 \text{ кг/м}^3$ .

## 6. Угол наклона просеивающей поверхности.

Влияние наклона рабочей поверхности на условия прохождения зерен через отверстия можно показать на следующем упрощенном примере.

Пусть зерно шарообразной формы диаметром  $d$  падает отвесно на решето толщиной  $h$  с отверстиями величиной  $l$ , установленное наклонно под углом  $\alpha$  к горизонту.

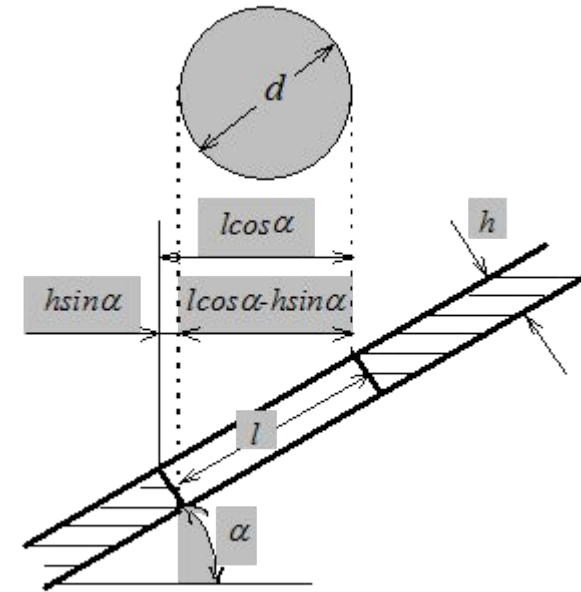
Диаметр свободно проходящего через отверстие зерна будет равен

$$d = l \cos \alpha - h \sin \alpha$$

Если  $\alpha = 45^\circ$  и  $h = 1/2$ , то  $d = 0,35 l$ .

Следовательно, при данных условиях диаметр максимальных зерен подрешетного продукта составит приблизительно только треть величины отверстий решета.

Практически считают, что на наклонном сите вибрационного грохота получится нижний продукт той же крупности, что на горизонтальных, если размер отверстий наклонного сита будет больше размера отверстий горизонтального в **1,15 раза** при наклоне в  $20^\circ$  и в **1,25 раза** при наклоне  $25^\circ$ .



## ▣ *Кинетика грохочения.*

- ▣ Во всех случаях грохочения сыпучих материалов наблюдается следующая закономерность: с течением времени прирост эффективности грохочения замедляется. Это явление связано с тем, что масса зерен проходящих сквозь сито, зависит от массы зерен, крупностью менее размера отверстий просеивающей поверхности, находящихся на ней в этот момент времени. Кроме того, вначале интенсивно просеиваются "легкие" зерна, а потом их становится все меньше. При этом на сите преобладают "трудные" зерна, требующие более длительного времени отсева.

Принимаем в первом приближении, что скорость просеивания в каждый бесконечно малый промежуток времени прямо пропорциональна массе зерен нижнего класса, находящихся на сите к началу этого промежутка. Тогда можно записать:

$$\frac{d\omega}{dt} = -k_1\omega,$$

где  $d\omega/dt$  - скорость просеивания зерен в данный момент времени;  $k_1$  - коэффициент пропорциональности;  $\omega$  - масса зерен нижнего класса, находящихся на сите к данному моменту времени.

Разделяя переменные и интегрируя, получим

$$\frac{\omega}{\omega_0} = e^{-k_1 t}.$$

Отношение  $\omega/\omega_0$  – представляет собой извлечение зерен нижнего класса в надрешетный продукт. Тогда, эффективность грохочения (извлечение зерен нижнего класса в подрешетный продукт)

$$E = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - e^{-k_1 t}.$$

Однако не все условия грохочения охватываются этим уравнением.

Более общая формула кинетики грохочения имеет вид

$$E = 1 - e^{-k_1 t^n}.$$

Параметры  $k_1$  и  $n$  данного уравнения находятся аналогично, как и в уравнении Розина–Раммлера, путем его двойного логарифмирования:

$$\lg \lg \frac{1}{1-E} = n \lg t + \lg(k \lg e).$$

# Вероятность прохождения зерен через отверстия сита

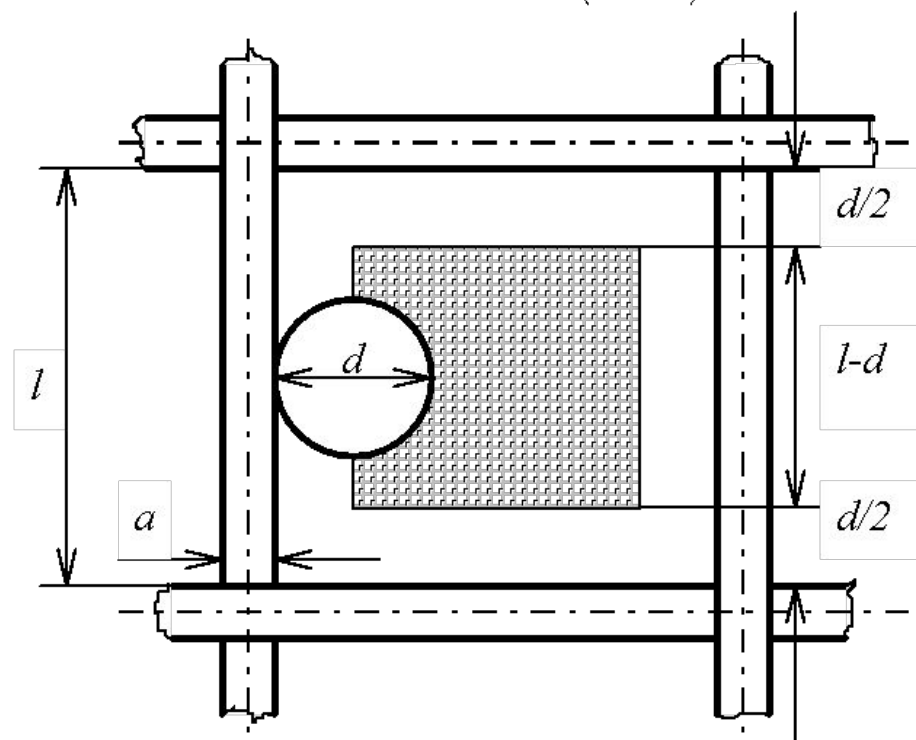
Из теории вероятностей известно, что вероятность наступления какого-либо события  $P$  равна отношению числа случаев  $m$ , благоприятствующих осуществлению данного события, к числу всех возможных случаев  $n$ , при которых данное событие может иметь место.

$$P = \frac{m}{n}.$$

Величина  $N$ , обратная вероятности  $P$ , определяет вероятное число случаев, при котором данное событие может иметь место:

$$N = 1/P.$$

Предположим, что мы имеем сито с квадратными отверстиями размером  $l$  и толщиной проволоки  $a$ . Допускаем также, что зерна диаметром  $d$  при грохочении падают перпендикулярно к плоскости сита и проходят отверстия беспрепятственно, если они не касаются проволоки, т.е. когда центр зерна спроектирован на заштрихованную площадь  $(l - d)^2$  (рис. 2.3).



**Рис. 2.3.** К определению вероятности прохождения зерен через отверстия сита.



Тогда вероятность прохождения зерна определится следующей формулой:

$$P = \frac{(l - d)^2}{(l + a)^2} = \frac{l^2}{(l + a)^2} \left(1 - \frac{d}{l}\right)^2 \text{ или}$$

$$P = L \left(1 - \frac{d}{l}\right)^2 .$$

Как видно, вероятность прохождения зерна через отверстия сита прямо пропорциональна его живому сечению.

$N$ , величина обратная  $P$  позволяет определить вероятное число отверстий, через которое необходимо встретить зерну, чтобы в одно из них провалиться.

- Зернистые материалы разделяются на просеивающей поверхности на основании вероятностного поведения отдельных зерен. Зерна крупнее размера ячеек сита отталкиваются от его поверхности до тех пор пока не поступят в надрешетный продукт. Самые мелкие зерна уходят в подрешетный продукт в месте подачи материала на сито, близкие к его размеру - на большем расстоянии.
- Чем больше скорость движения материала по грохоту, тем меньше его вероятность просеивания и тем больше производительность по исходному материалу.

Пусть зерно сферической формы диаметром  $d$  движется по ситы со скоростью  $v$  (рис.2.4). Под влиянием этой скорости и силы тяжести зерно пройдет через отверстие при условии, что траектория движения центра его тяжести пересечет верхнюю плоскость сита не дальше точки  $O_1$ . Координаты точки  $O_1$  следующие:

$$x_1 = vt;$$

$$y_1 = \frac{gt^2}{2}$$

**Рис. 2.4.** К определению скорости движения зерна на просеивающей поверхности.

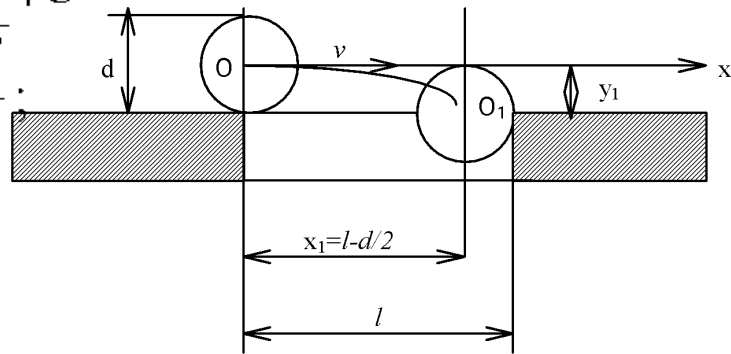
$$x_1 = l - d/2;$$

$$y_1 = d/2$$

$$t = \sqrt{\frac{2y_1}{g}} = \sqrt{\frac{2d}{2g}} = \sqrt{\frac{d}{g}}$$

$$l - d/2 = v \cdot \sqrt{\frac{d}{g}}$$

$$v = \frac{l - d/2}{\sqrt{\frac{d}{g}}}$$



## ▣ ЗАДАЧІ

6. Розрахувати середньозважений діаметр зерна при умовах, які надаються

Клас крупності, мм	Вихід, %
-200+100	30
-100+50	20
-50+25	20
-25+13	10
-13+0	20
Усього	100

8. Визначити вихід зерен, що грохочуться легко, важко та ускладнюють процес грохочення на поверхні сита з розміром отворів 50 мм при гранулометричній характеристиці матеріалу, яка надається.

Клас крупності, мм	Вихід, %
-200+100	5
-100+50	15
-50+25	25
-25+13	20
-13+6	20
-6+0	15
Усього	100

9. Побудувати кумулятивні криві ситового аналізу в нормальних, напівлогарифмічних та логарифмічних координатах. Визначити вихід класу  $-60+10$  та  $+25$  мм.

Клас крупності, мм	Вихід, %
-250+100	5
-100+50	15
-50+25	25
-25+13	20
-13+6	20
-6+0	15
Усього	100

12. Визначити ефективність грохочення прийняв вихід класу  $-18$  мм у вихідному матеріалі 3%, у надрешітному продукті грохота 10%. Розрахувати маси продуктів грохочення при продуктивності 300 т/год.

Розрахувати ефективність грохочення на грохоті з розміром отворів 10 мм. Гранулометрична характеристика вихідного матеріалу і продуктів його грохочення надана у табл.

Клас, мм	Вихід, %	
	вихідного	надрешітного
10–80	22,7	65,7
6–10	17,0	24,3
0–6	60,3	10,0
Усього	100,0	100,0

25. Визначити параметри  $A_{\max}$  рівняння  $\gamma = Ad^m$ , якщо відомо:  $d_1 = 1,0$  мм,  $\gamma_1 = 60$  %;  $d_2 = 2,0$  мм;  $\gamma_2 = 80$  %. При розрахунках використовувати логарифмування.

27. За умовами, які надаються нижче розрахувати часткові виходи класів крупності та побудувати часткові, сумарні виходи класів крупності і характеристику Андреева-Годена

Номінальний розмір отвору сита, мм	Класи крупності, мм	Частковий вихід класів, г
2,5	-5+2,5	118
1	-2,5+1	198
0,63	-1+0,63	74
0,4	-0,63+0,4	38
0,2	-0,4+0,2	26
0,1	-0,2+0,1	12
	-0,1	34
	Всього	500

28. За умовами, які надаються нижче розрахувати часткові виходи класів крупності та побудувати часткові, сумарні виходи класів крупності і характеристику Розіна-Рамлера

Номінальний розмір отвору сита, мм	Класи крупності, мм	Частковий вихід класів, г
2,5	-5+2,5	118
1	-2,5+1	198
0,63	-1+0,63	74
0,4	-0,63+0,4	38
0,2	-0,4+0,2	26
0,1	-0,2+0,1	12
	-0,1	34
	Всього	500

- ▣ Визначити масу подрешітного продукту з 500 т вихідного матеріалу, якщо вміст «нижнього» класу в цьому продукті 20 %, а ефективність грохочення 90 %
- ▣ Визначити коефіцієнт живого перерізу сит з квадратними отворами.

Вихідні дані: розмір отворів - 2,0 мм. діаметр проволоки - 0,5 мм.

- ▣ Визначити коефіцієнт живого перерізу сит з прямокутними отворами. Початкові дані: Розмір отворів, мм: 0,5×1 . Діаметр проволоки – 0,25мм.



- Визначити вихід класу +1 00 мм, якщо гранулометрична характеристика продукту описується рівнянням Розина-Раммлера в якому  $k = 0,01$ , а  $n = 1,04$ .
- Визначити ефективність грохочення матеріалу 300-0 мм на сітці з розміром отворів 60 мм, якщо вихід верхнього продукту 84 %. Характеристику крупності початкового матеріалу прийняти як пряму лінію