

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет»
имени Т. Ф. Горбачева

Кафедра обогащения полезных ископаемых

**ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБОГАЩЕНИЯ
(ДРОБЛЕНИЕ, ГРОХОЧЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ):
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРУПНОСТИ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Методические указания к лабораторным работам
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело,
специализации Обогащение полезных ископаемых,
всех форм обучения

Составитель **Г. Л. Евменова**

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 33 от 29.04.2019
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
специальности 21.05.04
Горное дело
Протокол № 10 от 29.04.2019
Электронная копия хранится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО РАЗ- МЕРА КУСКОВ РУДЫ МЕТОДОМ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ.....	3
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТ- РИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДЫ МЕТОДОМ СИТОВОГО АНАЛИЗА.....	5
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	11

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие лабораторные работы по дисциплине «Подготовительные процессы обогащения (дробление, грохочение, измельчение): определение крупности полезных ископаемых» предусматриваются для получения практических навыков работы определения гранулометрических характеристик полезных ископаемых и приобретения студентами определенных навыков ведения исследовательской работы.

Общие требования

Прежде чем приступить к выполнению лабораторных работ, необходимо пройти инструктаж по технике безопасности, ознакомиться с порядком проведения конкретной лабораторной работы и рабочим местом, получить необходимые материалы и лабораторный инвентарь у учебного мастера или инженера. Лабораторная работа выполняется группой студентов, состоящей из 3–4 человек.

По окончании лабораторной работы необходимо убрать свое рабочее место и сдать лабораторный инвентарь и приступить к обработке и оформлению результатов работы. Отчет должен быть представлен преподавателю для проверки каждым студентом на листах формата А4.

Студент полностью завершил лабораторный практикум, если выполнил лабораторные работы, предусмотренные рабочей программой, представил все отчеты, объяснил полученные результаты и ответил на контрольные вопросы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРУПНОСТИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Обрабатываемое на обогатительной фабрике минеральное сырье (руда, горная масса) и получаемые из него продукты представляют собой сыпучие материалы с различными по размеру кусками (частицами или зернами). Размер кусков можно определить различными методами. Для эффективного обогащения полезного ископаемого и использования продуктов его переработки необходимо разделение материала по крупности. Под этим процессом понимают разделение твердой фракции на два или более продукта. Распределение зерен по классам крупности характеризует гранулометрический состав исходного сырья и продуктов обогащения. По гранулометрическому составу сыпучего материала оценивают количественное распределение составляющих его частиц по линейным размерам.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА КУСКОВ РУДЫ МЕТОДОМ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ

Цель работы: практическое знакомство с определением среднего размера кусков руды.

Теоретические положения

При дроблении, измельчении и грохочении приходится иметь дело с рыхлыми смесями зерен минералов различного размера – от максимальных кусков, измеряемых сотнями миллиметров, до мельчайших частиц величиной в несколько микрометров. Большинство частиц в смеси имеют неправильную форму, и их величина может быть охарактеризована несколькими размерами. Это создает определенные трудности и вносит условности при определении крупности руды. Для практических целей желательно характеризовать величину отдельного куска одним размером, который условно называют средним диаметром (d). Диаметр кусков сферической формы принимают диаметр шара. Для кусков кубической формы за диаметр принимают длину ребра куба. Для кусков неправильной формы диаметр зависит от величин, измеряемых по трем взаимно перпендикулярным направлениям: l – длины, b – ширины и h – высоты параллелепипеда, в который

вписывается измеряемый кусок. На практике для определения среднего диаметра куска используют либо три размера, либо некоторые из них [1]:

$$d = b - \text{ширину параллелепипеда}; \quad (1)$$

$$d = \frac{l+b}{2} - \text{среднее арифметическое из двух измерений}; \quad (2)$$

$$d = \frac{l+b+h}{3} - \text{среднее арифметическое из трех измерений}; \quad (3)$$

$$d = \sqrt{lb} - \text{среднее геометрическое из длины и ширины}; \quad (4)$$

$d = \sqrt[3]{lbh}$ – среднее геометрическое из длины, ширины и высоты, что соответствует ребру куба равновеликого параллелепипеда, в который вписывается данное зерно; (5)

$d = \sqrt[3]{\frac{lb+lh+bh}{3}}$ – ребро куба, равновеликого параллелепипеда по поверхности; (6)

$d = \sqrt[3]{\frac{3lbh}{lb+lh+bh}}$ – ребро куба, эквивалентного параллелепипеда по удельной поверхности (среднее гармоническое) (7)

Формулу для вычисления среднего диаметра выбирают в зависимости от способа измерений и целей, для которых подсчитывают диаметр куска. Так, с помощью сит получают один размер куска, т. е. применима формула (1). Формулы (2) и (4) используются при определении двух размеров, например, под микроскопом. Для крупных кусков определяют все три размера и применяют формулы (3), (5), (6) и (7). Перечисленные способы используют для определения диаметров отдельных кусков. При грохочении для массовых определений размера зерен руды за их диаметр принимают размер наименьшего квадратного отверстия сита, через которое это зерно может пройти.

Оборудование и материалы: куски руды, штангенциркуль, линейка, микрокалькулятор.

Порядок выполнения работы

Для определения среднего диаметра куска из массы руды отбирают 4 образца и измеряют их по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Затем по этим данным вычисляют средний диаметр каждого куска по формулам (3), (5)–(7). Результаты замеров и вычислений заносят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений и расчетов среднего диаметра зерен руды

Номер образца	Размеры, мм			Значение среднего диаметра (мм) по формулам			
	l	b	h	3	5	6	7
1–4							

Оформление работы

Пишется отчет, который включает: цель работы, результаты измерений, расчетные данные, анализ и выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислить методы определения гранулометрического состава сыпучих материалов.
2. Дать определение среднему диаметру зерна и перечислить способы его определения.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДЫ МЕТОДОМ СИТОВОГО АНАЛИЗА

Цель работы: освоить методику ситового анализа, научиться строить характеристики крупности и описывать их математически.

Теоретические положения

Гранулометрический состав – это количественная характеристика угля по линейным размерам кусков (т. е. по крупности) в сыпучей массе. Для определения гранулометрического состава применяют ситовый, седиментационный, микроскопический и метод непосредственного измерения. Контроль процессов дробления, грохочения и измельчения осуществляется путем определения гранулометрического состава руды с помощью ситового анализа. Для этого от руды по действующему стандарту отбирают часть ее, называемую пробой, и подвергают рассеву на ситах с постепенно уменьшающимися размерами отверстий. В результате получают несколько продуктов – классов крупности, в которых размер частиц ограничен размерами отверстий двух смежных сит.

Последовательный ряд значений величин отверстий сит (от больших к меньшим), применяемых при грохочении, называется шкалой грохочения или классификации.

Модулем шкалы классификации называется отношение размеров отверстий предыдущих сит к размеру отверстий последующих.

Оборудование и материалы: исходная руда, емкости для проб, весы технические с разновесами, набор сит, механический встряхиватель, делитель металлический, лопатки, лист для разделки проб, щетка.

Порядок выполнения работы

Для отбора пробы предварительно производится перемешивание руды по методу кольца и конуса на листе, установленном на лабораторном столе. Руда сначала рассыпается в виде кольца, затем формируют в конус, сыпая руду небольшими порциями в центр кольца. Затем конус разравнивают в диск равномерной толщины и разделяют с помощью делителя на четыре равных сектора. В пробу отбирают руду из двух противоположно лежащих сектора, взвешивают с точностью до 0,1 г. Записывают массу пробы.

Составляют набор сит с последовательно уменьшающимися отверстиями, начиная с самого крупного (наверху). Нижнее сито вставляют в поддон. Проба высыпается на верхнее сито. Крышка закрывается. Набор сит устанавливают в механический встряхиватель и рассеивают в течение 5 минут. Окончание отсева контролируют следующим путем: берут последнее сито из набора и просеивают материал на сите вручную. Если за 1 минуту контрольного отсева через сито проходит менее 1 % его остатка на сите, то сев считается законченным. По истечении времени отсева аппарат отключают, снимают набор сит, пересыпают каждый класс крупности на отдельный лист бумаги. Затем определяют массу каждого класса на технических весах с точностью до 0,1 г. Результаты взвешивания записывают в таблицу, столбец 2.

Определяют суммарную массу полученных классов. Если она отличается от массы исходной навески не более чем на 2 %, то результаты опыта обрабатываются. Сумма масс навесок всех

классов принимается за 100 %. Если расхождение больше 2 %, опыт переделывается.

Обработка и оформление результатов ситового анализа

По результатам взвешивания каждого класса определяют их выход с точностью до 0,1 % (столбец 3, таблица):

$$\gamma_i = Q_i / Q_{\text{исх}} \cdot 100, \quad (1)$$

где γ_i – выход класса, %; Q_i – масса класса, г; $Q_{\text{исх}}$ – масса исходной пробы, г.

Подсчитывают сумму выходов и корректируют до 100 % за счет классов с наибольшим выходом. Результаты заносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты ситового анализа руды

Крупность класса, мм	Масса класса Q_i , г	Выход класса γ_i , %	Суммарная характеристика			
			по «плюсу»		по «минусу»	
			Крупность, мм	Суммарный выход, % ↓	Крупность, мм	Суммарный выход, % ↑
1	2	3	4	5	6	7
Всего		100				

Значения, рассчитанные по формуле (1), представляют частный выход или выход отдельных классов, т. е. это масса одного класса, между двумя смежными ситами, выраженная в процентах от общей массы, анализируемой пробы. Для наглядности и удобства пользования гранулометрический состав руды изображают графически в виде кривых характеристик крупности. Строится частная характеристика крупности в прямоугольной системе координат. По оси абсцисс откладывают размер отверстий сит, применявшихся при ситовом анализе, а по оси ординат – выходы соответствующих классов в процентах. Ординаты, определяющие выходы отдельных классов, строят либо на меньшем, либо на большем из диаметров, ограничивающих данный класс. Можно использовать для построения абсциссу, соответствующую среднему арифметическому двух крайних диаметров. Точки соединяют прямыми линиями.

Далее по выходам отдельных классов необходимо построить график, который в статистике называют столбиковой диаграммой. Она состоит из прямоугольников, высота которых является выходом класса, а основание – интервалом крупности классов.

Таким образом, на одном рисунке получим три графика и одну диаграмму, представляющие собой частные характеристики крупности.

Затем определяют суммарный выход по «плюсу» (т.е. выход классов крупнее отверстий данного сита) и суммарный выход по минусу (т. е. выход классов мельче отверстий данного сита) и заносят в столбцы 5 и 7 (стрелками ↓ и ↑ показан порядок заполнения соответствующих столбцов).

Суммарные характеристики крупности строят в прямоугольных координатах: суммарный выход (по оси ординат) – диаметр отверстий сит (по оси абсцисс). По результатам, представленным в табл. 2.1, строят графики зависимости $y = f(d)$ по «плюсу» и по «минусу». Контролем правильности построения характеристики крупности являются их граничные точки и точка пересечения, при условии построения в одной системе координат. Характеристика крупности по «плюсу» должна пересекать ось ординат в точке, соответствующей 100 %, а ось абсцисс в точке, соответствующей крупности максимальных кусков. Характеристика крупности по «минусу» должна выходить из начала координат, а ордината, соответствующая максимальной крупности, равна 100 %. Кривые крупности по «плюсу» и по «минусу» должны пересекаться в точке, соответствующей суммарному выходу, равному 50 %.

При построении суммарных характеристик в широком диапазоне крупности зерен отрезки на оси абсцисс в области мелких классов получают весьма малого размера, что затрудняет построение и использование характеристик. В этом случае суммарные характеристики крупности строят в системе координат с полулогарифмической или логарифмической шкалами. Полулогарифмическую суммарную характеристику крупности строят в системе координат $(\lg x; y)$, где $x = d$ – размер отверстий сита; y – суммарный выход классов.

В полулогарифмической системе координат расстояние между соседними значениями величин отверстий сит на оси абсцисс в области мелких классов увеличивается, а в области крупных – уменьшается, что позволяет точнее отсчитать выходы мелких классов при обычном размере графика.

Логарифмическую суммарную характеристику крупности необходимо строить в системе координат $(\lg x; \lg y)$, где $x = d$ – размер отверстий сит; y – суммарный выход классов. Данная характеристика позволяет в некоторых случаях установить закономерности распределения в материале зерен по крупности.

Если логарифмическая суммарная характеристика по «минусу» прямолинейна, то для такого материала гранулометрический состав можно представить уравнением прямой линии в логарифмических координатах:

$$\lg y = k \lg x + \lg A, \quad (2)$$

где y – суммарный выход классов мельче отверстий сита (по «минусу»); k – коэффициент, равный тангенсу угла наклона прямой; x – размер отверстий сита; A – отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат.

Переходя к антилогарифмам, получаем уравнение Годе-на–Андреева [1, 2].

$$y = Ax^k, \quad (3)$$

Величина показателя k определяет степень изгиба кривой характеристики по «плюсу». Она будет при $k > 1$ – выпуклой, при $k < 1$ – вогнутой, при $k = 1$ – прямой. Следовательно, по величине показателя k можно судить о преобладании в материале крупных или мелких зерен.

Величина параметра A при данном показателе k зависит от диаметра максимального куска x_{\max} . Тогда из уравнения (3) при $x = x_{\max}$, $y = 100\%$

$$A = 100/x_{\max}^k. \quad (4)$$

Значение показателя k находят следующим образом. На логарифмической характеристике выбирают две точки, соответствующие двум наиболее удаленным диаметрам кусков, и определяют показатель k как тангенс угла наклона прямой:

$$k = (\lg y_2 - \lg y_1) / (\lg x_2 - \lg x_1). \quad (5)$$

Параметр A определяют подстановкой значения k в уравнение (4). Для определения средневзвешенного диаметра смеси ($D_{\text{ср}}$) с учетом гранулометрической характеристики (по частным выходам, γ_i), полученной в результате ситового анализа, можно использовать выражение [1]

$$D_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n \gamma_i d_i}{\sum_1^n \gamma_i}, \quad (6)$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2 + \dots + \gamma_n d_n}{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n}. \quad (7)$$

Оформление работы

Отчет включает: цель работы, результаты взвешиваний, расчетные данные, частные и суммарные характеристики крупности в простых и логарифмических координатах, обсуждение результатов эксперимента, уравнение характеристики крупности для исследуемого сыпучего материала, анализ полученного уравнения, расчетное значение средневзвешенного диаметра исследуемой смеси зерен и выводы.

По характеру кривой по «плюсу» (выпуклая, вогнутая, прямолинейная) дать заключение о распределении в материале крупных кусков и мелких зерен.

Пользуясь графиком, определить выходы любых других промежуточных классов, отсутствующих по результатам ситового анализа (значения классов крупности задает преподаватель).

Контрольные вопросы

1. Перечислить методы определения гранулометрического состава сыпучих материалов.

2. Дать характеристику основным понятиям: класс крупности, выход класса крупности, размер максимального куска, шкала грохочения или классификации, модуль шкалы классификации.

3. Дать определение непрерывному, разовому и мокрому рассевам.

4. Изложить методику проведения ситового анализа.

5. Дать определение частной и суммарной характеристикам крупности.

6. Назначение и область применения уравнений Годена–Андреева, Розина–Раммлера.

7. Физический смысл коэффициентов в уравнении Годена–Андреева.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, С. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебник для вузов / С. Е. Андреев, В. М. Зверевич, В. А. Перов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Недра, 1980. – 415 с.

2. Перов, В. А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / В. А. Перов, С. Е. Андреев, Л. Ф. Биленко. – 4-е изд. перераб. и доп. – Москва: Недра, 1990. – 301 с.

5. Серго, Е. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебник для вузов. – Москва: Недра, 1985. – 285 с.

Составитель
Галина Львовна Евменова

**ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБОГАЩЕНИЯ
(ДРОБЛЕНИЕ, ГРОХОЧЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ):
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРУПНОСТИ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Методические указания к лабораторным работам
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело,
специализации Обогащение полезных ископаемых,
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 27.05.2019. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 0,6.

Тираж 12 экз. Заказ

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.