

**ДРОБЛЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ
И ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ К ОБОГАЩЕНИЮ**

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра обогащения полезных ископаемых

ДРОБЛЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ
И ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ К ОБОГАЩЕНИЮ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 622.7(073)

ДРОБЛЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ К ОБОГАЩЕНИЮ: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *В.В. Львов* СПб, 2020. 113 с.

Представлены лабораторные работы для изучения принципа действия аппаратов процессов рудоподготовки обогатительных фабрик - дробилок, мельниц и грохотов, методик определения физико – механических свойств руд.

Методические указания предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Обогащение полезных ископаемых» при изучении дисциплин «Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению».

Научный редактор проф. *Т.Н. Александрова*

Рецензент д-р техн. наук *В.Ф. Баранов* (АО «Механобр инжиниринг»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2020 г.

ДРОБЛЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ К ОБОГАЩЕНИЮ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

Сост. *В.В. Львов*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
обогащения полезных ископаемых

Ответственный за выпуск *В.В. Львов*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 30.06.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 6,6. Усл.кр.-отт. 6,6. Уч.-изд.л. 6,4. Тираж 50 экз. Заказ 461.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

ВВЕДЕНИЕ

На лабораторных занятиях студенты выполняют работы по основным темам курса дисциплины «Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению». Все работы выполняются по следующему плану: 1) Экспериментальная часть; 2) Обработка результатов; 3) Закрепление материала занятия; 4) Контроль (самоконтроль) усвоенного материала.

Отчет по работе должен содержать цель работы; основные понятия, краткие сведения по теории процесса, описание методики исследования; эскизы оборудования; результаты расчетов, предшествующих проведению работы; экспериментальные данные в виде таблиц и графиков; выводы по работе.

Перед составлением отчёта следует проработать соответствующие разделы учебника Е.Е. Андреева, О.Н. Тихонова «Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению» [1].

Практические приёмы выполнения экспериментов, конкретные условия опытов сообщаются преподавателем на лабораторных занятиях. Для лучшего усвоения материала занятия приведены примеры и упражнения, дан список типовых вопросов.

РАБОТА 1. СИТОВОЙ АНАЛИЗ РУДЫ

Цель работы - научиться проводить ситовой анализ материалов, обрабатывать опытные данные и давать их графическую интерпретацию.

Основные понятия:

Гранулометрический состав – состав по крупности.

Представительная проба – проба, выделенная по определённым правилам, с составом по крупности аналогичным всей массе материала.

Класс – часть представительной пробы, полученная после отсева на ситах, включающая зёрна с ограниченными размерами.

Крупность класса – размеры отверстий сит, между которыми заключен класс.

Размер d_0 – размер отверстий в следующем по порядку сите, не используемом в шкале сит для отсева.

Шкала сит – набор сит, начиная с принятого за основание, в котором модуль шкалы – отношение размеров отверстий двух смежных сит (большого к меньшему) – величина постоянная. В лабораторной практике часто используют шкалу сит Тайлера. Полная шкала Тайлера при модуле $\sqrt[4]{2}$ имеет основание 0,074 мм (200 меш, в США распространён способ выражения размера отверстий сетки *числом меш*, т.е. числом квадратных отверстий, приходящихся на один линейный дюйм (25,4 мм)). Чаще применяется неполная шкала Тайлера с модулем $\sqrt{2}$, составленная из полной шкалы путем выборки через одно сито.

Характеристика крупности – графическое изображение результатов ситового анализа в координатах: крупность зерен – выход класса.

Необходимое оборудование и материалы: делитель желобчатый, набор лабораторных сит, ситовой анализатор фирмы *Laarmann* модель *LMSM-200* (Германия), лабораторные весы, рудный материал.

В упрощенном виде последовательность действий по получению гранулометрической характеристики материала по плюсу представлена на рисунке 1.1. Выбор размера отверстий сеток и числа сит в каждом конкретном случае определяется целью анализа.

Выпускаются сетки проволочные тканые с квадратными ячейками нормальной точности (ГОСТ 6613-73, предназначение - фильтрация жидкостей, газов и других целей), высокой точности и контрольные (ГОСТ 3584-73, высокой точности, предназначение - разделение по размеру зерен дробленых материалов; контрольные, предназначение - контроль различных материалов по размеру частиц при дроблении, измельчении и обогащении). Сита в наборе для отсева располагают в нисходящем порядке размеров отверстий сеток, начиная с самого крупного. Пробы отсеиваются сухим или мокрым способом (ГОСТ 24236-80, ГОСТ 24598-81). Продолжительность отсева зависит от крупности руды и считается достаточной, если контрольный дополнительный сев в течение 3 мин не изменит значение результатов, превышающих 0,5%. При ручном сухом просеве на круглых ситах сито с поддоном и крышкой берут одной рукой, наклонив полотно к горизонтальной плоскости на 10-20°, и ударяют другой рукой примерно 120 раз в минуту. Около 4 раз в минуту сито располагают горизонтально и сильно ударяют по обечайке. При тонких ситах и трудно просеиваемом материале рекомендуется через каждые 5 минут нижнюю поверхность сита очищать мягкой кисточкой и опадающие частицы присоединять к проходу. Механический сев осуществляют при помощи приборов, создающих вращательное и колебательное движение сит в горизонтальной плоскости, качание плоскости сит, вибрацию и постукивание сит. Механический сев может осуществляться как при сухом, так и мокрым методе ситового анализа. Механический сев требует значительно меньше времени, чем ручной, меньше материала и исключает индивидуальные ошибки. Выбор мокрого отсева обусловлен наличием значительного количества мелкого материала и необходимости повышенной точности анализа. Методика мокрого ситового анализа отличается от методики сухого ситового анализа и заключается в следующем: пробу взвешивают, засыпают на сито с отверстиями наименьшего размера, например, 0,074 мм, и отмывают мельчайшие частицы (шлам) слабой струей или погружая сито в бак с водой. Промывку ведут до тех пор, пока промывочная вода не станет прозрачной. Остаток на сите высушивают до постоянной массы при температуре 105±5 °С, взвешивают и по разности масс определяют массу отмы-

того 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. Минимальная масса представительной пробы для материалов различной крупности имеет значения, представленные в соответствии таблицы 1.1.

Таблица 1.1

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

Порядок выполнения работы

Первоочередно для определения гранулометрического состава необходимо взвесить навеску исходного материала и определить число сокращений пробы на струйчатом делителе для её доведения до массы представительной пробы (см. методику выделения представительной пробы в Приложении И).

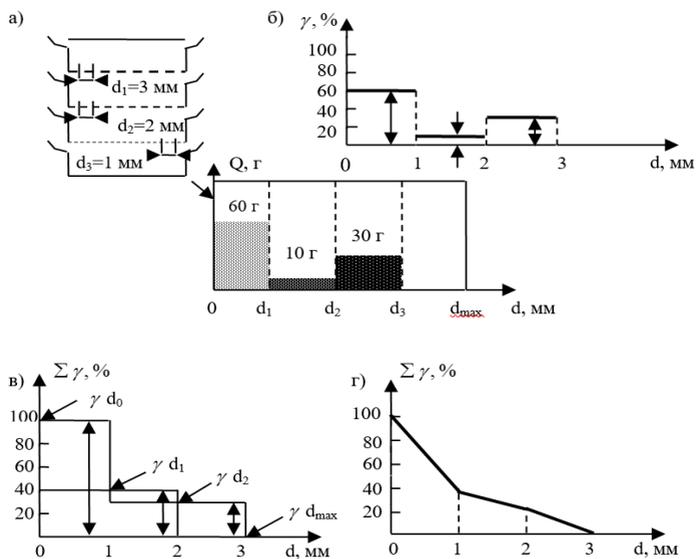


Рис.1.1 Последовательность операций при построении суммарной характеристики материала по плюсу.

а – взвешивание; б – вычисление частных выходов; в – вычисление суммарного выхода; г – вид графика суммарной характеристики по плюсу

1. Пробу сократить необходимое число раз до требуемой массы представительной пробы 100-150 г и взвесить с точностью до 0,1 г на технических весах.

2. Составить набор сит с последовательно уменьшающимися отверстиями, начиная с самого крупного (наверху). Нижнее сито вставить в поддон.

3. Выделенную пробу высыпать на верхнее сито, закрыть крышкой, набор закрепить в вибрационном встряхивателе и в течение 10 мин. провести операцию отсева.

4. Через 10 мин. набор сит снять, полученные на ситах классы взвесить с точностью до 0,1 г.

5. Определить суммарную массу полученных классов. Если она отличается от массы исходной навески не более чем на 1%, то произвести обработку результатов опыта. Если расхождение превышает 1%, опыт необходимо начать заново.

6. По результатам взвешивания каждого класса определить по формуле 1.1, их выходы с точностью до 0,1%, результаты записать в таблице 1.1.

$$\gamma_i = \frac{Q_i}{Q_{исх}} 100 \quad (1.1)$$

7. Подсчитать сумму выходов, и скорректировать до 100 % за счет выходов классов с наибольшим значением.

8. Определить 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.

9. Построить следующие характеристики крупности: гистограмму по частным выходам (рис.1.2) по графам 1 и 3 табл. 1.2; суммарную по плюсу и по минусу (рис.1.3) по графам 1,5 и 7 табл. 1.2; суммарную логарифмическую по минусу (рис.1.3, б); распределение по Розину-Раммлеру (рис.1.4). Пример расчета исходных данных для построения характеристики распределения по Розину-Раммлеру представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.2

Результаты ситового анализа

Крупность класса, мм	Масса класса Q_i , г	Выход класса γ_i , %	Суммарная характеристика			
			по плюсу		по минусу	
			Крупность, мм	Сумм. выход, % ($R(+)$)	Крупность, мм	Сумм. выход, % ($R(-)$)
1	2	3	4	5	6	7
-0,80+0,50	Q_1	$\gamma_i = \frac{Q_i}{Q_{исх}} 100$ и т.д.	+0,50	γ_1	-0,80	100
-0,50+0,40	Q_2		+0,40	$\gamma_1 + \gamma_2$	-0,50	↑
-0,40+0,315	Q_3		+0,315	и т. д.	-0,40	
-0,315+0,25	Q_4		+0,25	↓	-0,315	
-0,25+0,20	Q_5		+0,20		-0,25	и т.д.
-0,20+0,14	Q_6		+0,14		-0,20	
-0,14+0,10	Q_7		+0,10		-0,10	$\gamma_8 + \gamma_7$
-0,10+0,0	Q_8			+0,0	100	-0,074
Итого:	$Q_{исх}$	100				

*Стрелкой здесь и далее показан порядок заполнения графы.

Таблица 1.3

Пример результатов типичного ситового анализа

Класс крупности, мкм	Частный выход		Суммарный выход, %	
	γ , г	$\bar{\gamma}$, %	по минусу γ^-	по плюсу γ^+
– 355 + 250	0,02	0,1	100	0,1
– 250 + 180	1,32	2,9	99,9	3,0
– 180 + 125	4,23	9,5	97,0	12,5
– 125 + 90	9,44	21,2	87,5	33,7
– 90 + 63	13,10	29,4	66,3	63,1
– 63 + 45	11,56	26,0	36,9	89,1
– 45 + 0	4,87	10,9	10,9	100

Окончание таблицы 1.3

$\lg \gamma^-$	$\lg d$	$\lg \frac{100}{\gamma^+}$	$\lg \lg \frac{100}{\gamma^+}$
2	2,5502	3,0000	0,4771
1,9996	2,3979	1,5229	0,1827
1,9868	2,2553	0,9031	– 0,0443
1,9420	2,0969	0,4724	– 0,3257
1,8215	1,9542	0,2000	– 0,6990
1,5670	1,7993	0,0501	– 1,3002
1,0374	1,6352	–	–

Контролем правильности построения характеристик крупности являются их граничные точки и точка пересечения (50%) при условии построения графиков в одной системе координат (см. рис.1.3). Характеристика крупности по плюсу должна пересекать ось ординат в точке, соответствующей выходу 100 %, а ось абсцисс - в точке, соответствующей крупности максимальных кусков (0,83 мм). Характеристика крупности по минусу должна выходить из начала координат, а её ордината, соответствующая максимальной крупности, равна 100 %.

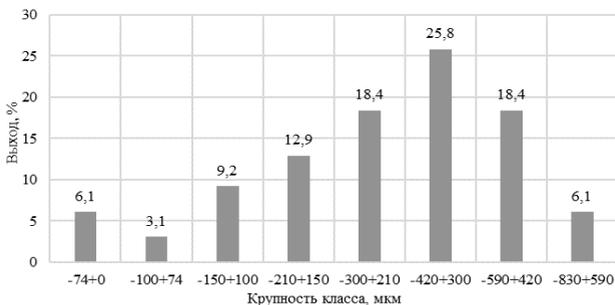


Рис. 1.2 Гистограмма частных выходов

Гранулометрическая характеристика в полулогарифмических осях удобна для анализа классов с низкой крупностью, т.к. в этом случае область с низкими значениями растягивается относительно области высоких значений, см. рис. 1.3 б.

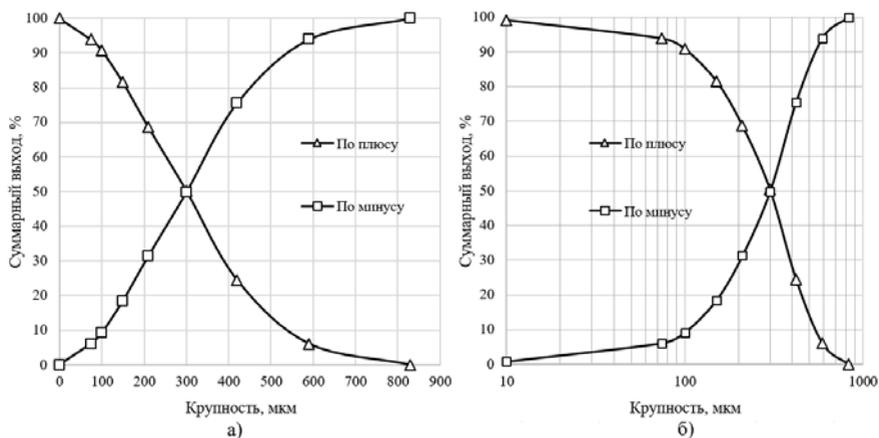


Рис. 1.3 Суммарные гранулометрические характеристики а) в обычных осях; б) в полулогарифмических осях

Обработка большого числа гранулометрических анализов продуктов дробления и измельчения показала, что во многих случаях лучшее соответствие опытным данным по сравнению с уравнением Годэна – Андреева дает уравнение Розина – Рамллера:

$$R = 100e^{-bx^n}, \quad (1.2)$$

где R – суммарный выход класса крупнее x по плюсу, %; x – размер отверстий сита; b и n – параметры, зависящие от свойств материала и размерности x .

Соответствие опытных данных уравнению (1.2) можно проверить графически путем нанесения опытных точек на функциональную координатную систему. При двойном последовательном логарифмировании уравнение (1.2) приобретает вид

$$\lg \frac{100}{R} = bx^n \lg e; \quad \lg \lg \frac{100}{R} = n \lg x + \lg(b \lg e).$$

В координатах $\lg \lg 100/R$, $\lg d$ уравнение Розина – Рамплера изображается прямой линией с угловым коэффициентом n . Пример построения такого графика по данным табл.1.2 показан на рис.1.4. На осях приведены выходы классов и диаметры зерен материала.

Решая систему уравнений

$$R_1 = 100 e^{-bx_1^n}; \quad R_2 = 100 e^{-bx_2^n},$$

параметры b и n уравнения (1.2) находят по двум известным точкам:

$$n = \lg \lg \frac{100}{R_1} - \lg \lg \frac{100}{R_2} / (\lg x_1 - \lg x_2).$$

Далее

$$R_1 = \frac{100}{e^{bx_1^n}}; \quad bx_1^n \lg e = \lg \frac{100}{R_1}.$$

Тогда

$$b = \lg \frac{100}{R_1} / (x_1^n \lg e).$$

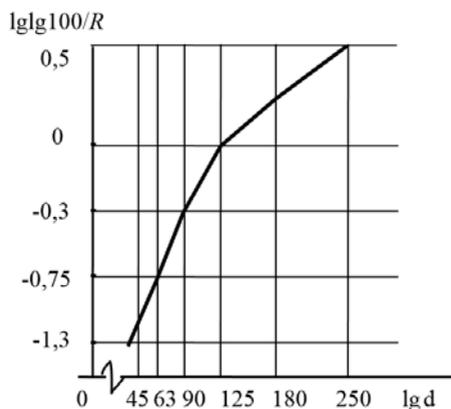


Рис. 1.4 График распределение по Розину-Раммлеру

Уравнение Розина – Раммлера охватывает опытные точки в широком диапазоне крупностей, но оно не удовлетворяет одному конечному условию – нулевой выход классов достигается только при бесконечно большой крупности материала:

$$R = 100e^{-bx^n} = 100/e^{bx^n} \text{ и } R = 0 \text{ при } x = \infty.$$

При использовании уравнения Розина – Раммлера приходится считаться с этим обстоятельством и принимать конечную крупность материала, соответствующую какому-то определенному значению выхода класса. Сливы классификаторов шаровых мельниц, работающих в замкнутом цикле, большей частью удовлетворяют уравнению Розина – Раммлера при $n = 1$ [12].

Обработка результатов.

По виду кривой характеристики крупности в обычных осях можно судить о преобладании в материале тонких, либо крупных зерен (рис.1.5).

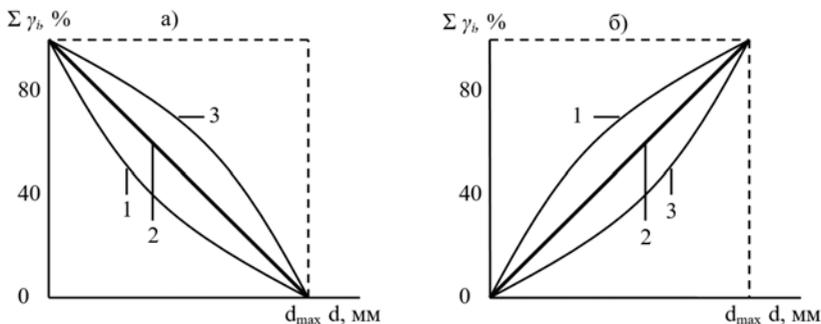


Рис.1.5. Характеристики крупности: а) по плюсу; б) по минусу;
 1 – с преобладанием тонких классов; 2 – с равномерным распределением классов по крупности; 3 – с преобладанием крупных классов

Так же по гранулометрической характеристике можно определять выход (содержание) класса любой крупности (рис.1.6). При ситовом анализе выход класса определённой крупности в процентах совпадает с содержанием этого класса в исходном материале. Поэтому понятия "содержание класса- d_1+d_2 " и "выход класса $-d_1+d_2$ " тождественны.

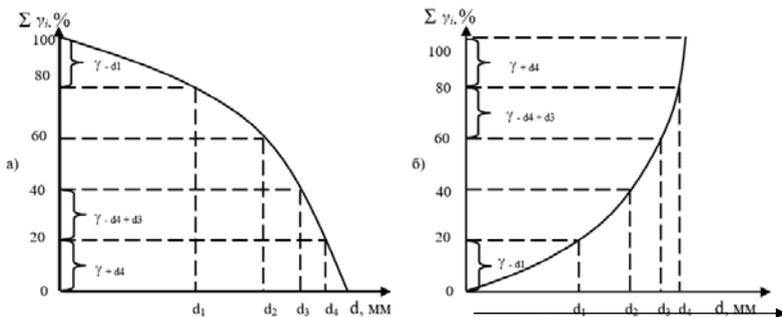


Рис.1.3. Определение выходов классов на характеристиках:
 а) по плюсу; б) по минусу

Вопросы для самоконтроля

1. Постройте суммарную характеристику крупности материала по минусу, в которой отсутствует средний класс, а мелочи и крупного поровну, и их распределение по крупности равномерно.

2. Постройте суммарную характеристику крупности материала по плюсу, в которой отсутствует средний класс, а мелочи в два раза больше, чем крупного.

3. Каков нижний предел крупности при ситовом анализе?
4. С какой целью строят графики в логарифмических осях.

РАБОТА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРОХОЧЕНИЯ МНОГОЧАСТОТНОГО ГРОХОТА

Цель работы - ознакомление с принципом действия много-частотного грохота и изучение влияния частоты вибрации грохота на эффективность грохочения.

Основные понятия.

Грохочение — процесс разделения сыпучих материалов по крупности на просеивающих поверхностях с калиброванными отверстиями.

Эффективность грохочения - величина, характеризующая полноту удаления тонких зерен из продукта, подвергаемого грохочению, т.е. извлечение тонких классов в подрешётный продукт или отношение массы подрешетного продукта к массе нижнего класса в исходном материале.

Эффективность грохочения в процентах по зерну с размером d рассчитывается по формуле

$$E = \frac{(\beta_{\text{исх}}^{-d} - \beta_{+}^{-d})}{(100 - \beta_{+}^{-d})\beta_{\text{исх}}^{-d}} \cdot 10^4, \% \quad (2.1)$$

где d - размер отверстий сита грохота, мм; $\beta_{\text{исх}}^{-d}$ и β_{+}^{-d} - содержание расчётного класса (класса меньшего размера отверстий сита грохота) соответственно в исходном и надрешетном продукте, %.

«Лёгкие», «трудные» и «затрудняющие» зерна.

- зёрна, диаметр которых меньше чем три четверти отверстия сита, легко проходят в промежутках между крупными зёрнами материала на сите и по достижении ими поверхности сита немедленно проваливаются через отверстия. Такие зёрна в отношении их проходимости называют «лёгкими».

- зёрна крупнее трёх четвертей отверстия сита с трудом проходят в промежутках между крупными зёрнами и через отверстия сита. Эта трудность прохождения прогрессивно возрастает по мере приближения диаметра зёрен к размеру отверстий сита. Такие зёрна называют «трудными».

- зёрна, размер которых больше отверстий сита, но меньше полуторной величины их, называют «затрудняющими». Эти зерна существенно не влияют на перемещение к поверхности сита «лёгких» и «трудных» зерен.

Факторы, влияющие на процесс грохочения.

- зависящие от исходного материала: насыпная плотность; форма кривой гранулометрической характеристики; форма частиц; поверхностная влажность;

- зависящие от оборудования: поверхность грохочения (площадь, доля живого сечения, размер, форма и толщина отверстий; характеристика вибраций (амплитуда, частота, направление); угол наклона грохота; способ подачи материала.

Необходимое оборудование и материалы: лабораторный многочастотный грохот *Kroosh ULS-1506.12* (рис. 2.1); делитель желобчатый; лабораторные весы; секундомер; лабораторные сита; ситовой анализатор фирмы *Laarmann* модель *LMSM-200* (Германия); ёмкости для продуктов; дроблёный продукт крупностью менее 5 - 2 мм. Масса навески для одного опыта 10 - 15 кг.

Порядок выполнения работы

Схема опыта приведена на рис.2.2.

1. Из исходной навески руды массой 40 - 60 кг выделяют на делителе желобчатом четыре представительные пробы.

2. Полученные представительные пробы взвешивают на лабораторных весах для определения массы исходного материала M_i , поступающей на грохот в отдельных опытах. Пробы маркируют: Проба 1, Проба 2, Проба 3 и Проба 4. Пробы 1-3 принимают как исходный материал для проведения опытов.

3. Из Пробы 4 путём последовательного сокращения на делителе желобчатом выделяют представительную пробу массой 200 – 300 г для определения параметра $\beta_{исх}^{-d}$ (т.е. содержание расчётного класса в исходном продукте, %).

4. Пробы 1-3 подвергают последовательному раздельному грохочению при различной частоте вибрации (задается преподавателем) с фиксацией времени грохочения.

5. Из надрешётных продуктов грохочения каждого опыта путем последовательного сокращения, на делителе желобчатом вы-

деляют представительную пробу массой 200 – 300 г для определения параметра β_+^{-d} (т.е. содержание расчётного класса в надрешетном продукте, %).

6. Ситовым анализом определяют содержание класса $-d$ (где d размер квадратной ячейки сита грохота и контрольного лабораторного сита) в исходном материале и надрешётных продуктах каждого опыта,

7. Произвести расчет эффективности грохочения по формуле 2.1. Расчёт показателей $\beta_{исх}^{-d}$ и β_+^{-d} по данным ситового анализа произвести по формуле 2.2.

$$\beta_i = \frac{P_i}{Q_i} 100 \quad (2.2)$$

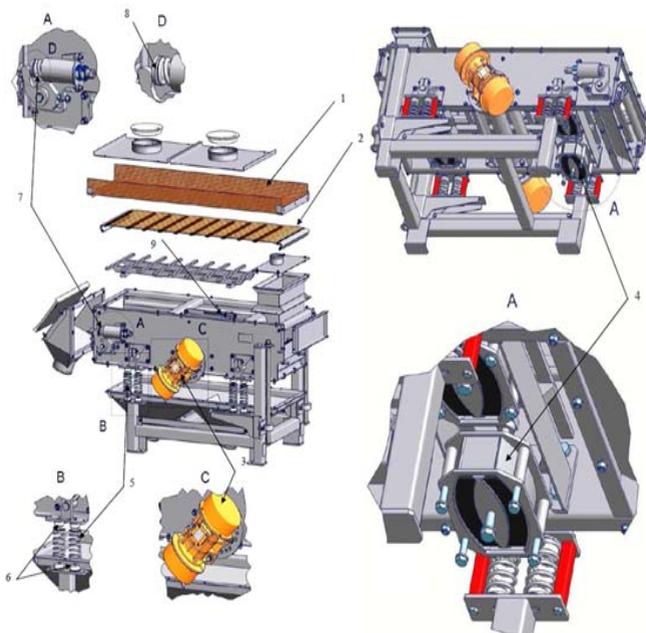


Рис.2.1 Схема лабораторного вибрационного грохота *Kroosh ULS-1506.12*
 1 - рабочая стальная сетка; 2 - опорная капроновая сетка; 3 - электрический вибратор "OLF"; 4 - конвертер системы *KROOSHER®*; 5 - пружина опорная; 6 - втулка капроновая опорной пружины; 7 - пружина натяжная; 8 - втулка капроновая натяжной пружины; 9. форсунка *Flood Nozzle*

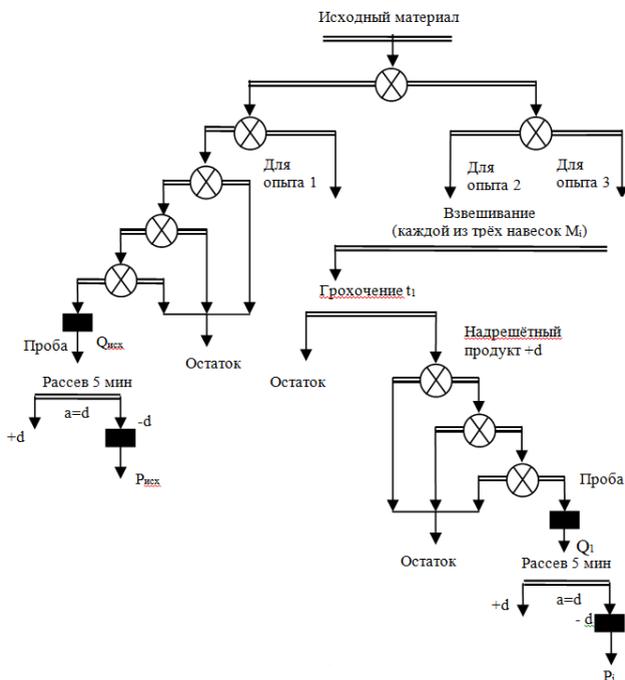


Рис.2.2. Схема опытов грохочения при разной удельной нагрузке на грохот:

a – размер отверстия сита; \otimes - операция сокращения; \blacksquare - взвешивание

8. Рассчитывают удельную нагрузку на грохот в каждом опыте в тоннах в час на квадратный метр по формуле

$$m_i = \frac{M_i \cdot 3600}{t_i \cdot S} \quad (2.3)$$

где M_i - масса исходного материала для i -го опыта, т; t_i - время загрузки материала на грохот в i -м опыте, с; S - площадь рабочей поверхности грохота, m^2 .

9. Результаты опытов внести в табл.2.1.

Обработка результатов.

По результатам опытов строится графическая зависимость эффективности грохочения E от частоты выбраний. По графику сделать выводы и оформить отчет (см. Введение).

Таблица 2.1

Результаты опытов грохочения

№ п/п	M_i , т	t_i , с	m_i , т/(ч·м ²)	Результаты ситового анализа			E , %
				Q_i , г	P_i , г	β^{-d} , %	
1	M_1			Q_1	P_1	$\beta^{-d}_{(+1)}$	E_1
2	M_2			Q_2	P_2	$\beta^{-d}_{(+2)}$	E_2
3	M_3			Q_3	P_3	$\beta^{-d}_{(+3)}$	E_3
Исходный	–	–	–	$Q_{исх}$	$P_{исх}$	$\beta^{-d}_{исх}$	–

M_i – масса пробы для опыта грохочения, т; t_i – время загрузки материала на грохот, с; m_i – удельная нагрузка на грохот, т/(ч·м²); Q_i – масса пробы для ситового анализа, г; P – масса класса $-d$ в пробе для ситового анализа, г; β^{-d} – содержание класса $-d$ в пробе анализа, %; E – эффективность грохочения, %.

Дополнительные материалы**Формулы эффективности грохочения.**

В результате грохочения образуется два продукта разделения: надрешетный и подрешетный. Подрешетный продукт состоит только из тонкого класса, то есть продукта мельче размера отверстий грохота (если нет, то имеется дефект поверхности грохочения). Надрешетный продукт состоит из крупного класса и той части тонкого класса, которая в силу ряда причин не прошла через отверстия грохота (см. стр. 14 – факторы, влияющие на процесс грохочения).

За эффективность грохочения принимается полнота (степень) перехода тонкого класса из исходного материала в подрешетный продукт. Эффективность грохочения определяется отношением массы подрешетного продукта к массе нижнего класса в исходном материале. Эффективность грохочения может выражаться в процентах или долях единицы, данный показатель стремиться к 100% или 1 д.ед. и не может превышать данное значение.

Условимся считать, что грохочение – это такой разделительный процесс, в котором ценным компонентом является тонкий класс. Тогда расчет степени перехода тонкого класса в подрешетный продукт может осуществляться по формулам, аналогичным тем, которые применяются для расчета извлечения ценного компонента в концентрат (см. табл.2.2) **Вопросы для самоконтроля**

1. Предположим, что в подрешетном продукте содержание мелочи меньше 100%. На что это указывает?

2. Можно ли определить эффективность грохочения, если

ситовый анализ исходного и подрешетного продуктов дает одинаковые результаты?

3. Каким образом будет влиять на эффективность грохочения изменение следующих параметров (при прочих равных условиях):

- а) увеличение площади грохота;
- б) увеличение числа качаний (вибраций) короба грохота;
- в) увеличение наклона грохота;
- г) увеличение содержания в питании зерен, близких по крупности размеру отверстий сита;
- д) замена плетеной сетки грохота на штампованную;
- е) установка приспособлений для подачи воды на грохот;
- ж) нагрев сита грохота;
- з) увеличение производительности грохота по исходному питанию;
- и) уменьшение размера отверстий сита;
- к) увеличение содержания глины и влаги в исходном материале.

4. Какие вы знаете способы повышения эффективности грохочения?

Таблица 2.2

Вывод формул для расчета эффективности грохочения

Формулы для расчета		Примечание
Извлечения ценного компонента в концентрат	Эффективности грохочения	
$\varepsilon_{км} = \frac{100 \cdot P_{км}}{P_{исх}}, \%$	$E = 100 \frac{Q_{подр} \beta_{подр}^{-d}}{Q_{исх} \beta_{исх}^{-d}}, \%$	По определению
	$E = 100 \frac{Q_{подр}}{Q_{исх} \beta_{исх}^{-d}}, \%$	$\beta_{подр}^{-d} = 100\%$
$\varepsilon_{км} = (\gamma_{км} \beta_{км}) / \beta_{исх}, \%$	$E = \frac{\gamma_{подр} 100}{\beta_{исх}^{-d}}, \%$	$\beta_{подр}^{-d} = 100\%$
$\varepsilon_{кт} = \frac{(\beta_{исх} - \beta_{хв}) \beta_{кт}}{(\beta_{кт} - \beta_{хв}) \beta_{исх}} 100, \%$	$E = \frac{(\beta_{исх}^{-d} - \beta_{надр}^{-d})}{(100 - \beta_{надр}^{-d}) \beta_{исх}^{-d}} 100, \%$	$\beta_{подр}^{-d} = 100\%$

РАБОТА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЩЕКОВОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ ДРОБИЛКИ

Цель работы – изучить конструктивные и технологические особенности щековой дробилки, научиться определять степень дробления и строить типовые характеристики крупности.

Аппаратура и ее краткая характеристика.

Лабораторная щековая дробилка фирмы *Laarmann* модель *LMC100-D* (Германия) со сложным движением щеки, штангенциркуль, лабораторные весы; секундомер; лабораторные сита; ситовой анализатор фирмы *Laarmann* модель *LMSM-200* (Германия); ёмкости для продуктов; кусковой материал крупностью не более 80 мм.

Кинематические схемы щековых дробилок с простым и сложным движением щек и указанием траектории движения щек представлены на рисунке 3.1. Разрез щековой дробилки со сложным движением щеки представлен на рисунке 3.2.

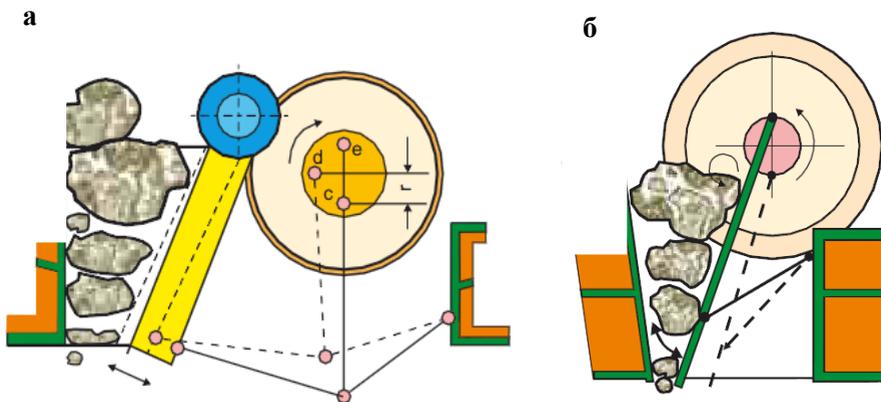


Рис. 3.1. Кинематические схемы щековых дробилок:
а – с вертикальным шатуном и простым движением щеки; б – с верхним
подвесом и сложным движением щеки (ось подвеса служит эксцентрико-
вый вал)

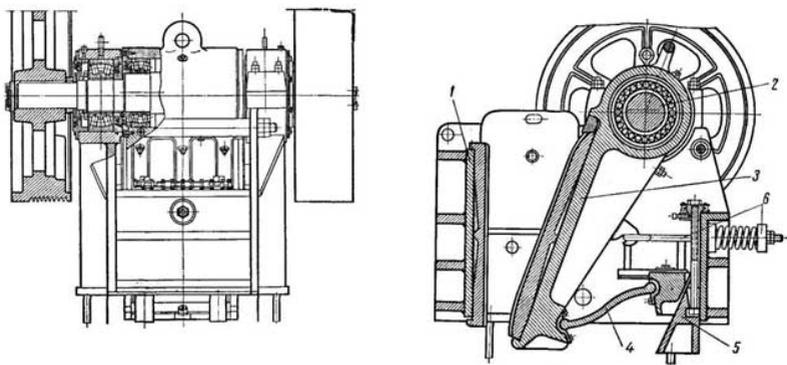


Рис.3.2. Разрез щековой дробилки со сложным движением щеки.
 1 – станина; 2 – эксцентриковый вал; 3 – подвижная дробящая щека; 4 – распорная плита; 5 – регулировочное устройство; 6 – замыкающее устройство.

Порядок выполнения работы

1. Определить максимальную крупность кусков исходного материала непосредственным измерением штангенциркулем:

$$D_{max} = (a + b + c) / 3,$$

где D_{max} – среднеарифметический диаметр куска, см;

a, b, c – размеры куска в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

2. Установить заданную величину разгрузочного отверстия дробилки (задается преподавателем).

3. Включить дробилку. Равномерно загружая куски материала, провести дробление. Во время работы дробилки нельзя заглядывать в её рабочее пространство. Загрузку дробилки удобно и безопасно контролировать на слух. Время дробления определить по секундомеру. Определить производительность дробилки по формуле 3.1 и записать значение в таблицу 3.1.

$$Q_g = 3,6 \frac{Q_{исх}}{t_g} \quad (3.1)$$

где: $Q_{исх}$ - масса навески исходного материала, кг;

t_g - время дробления, с.

4. Провести ситовой анализ продуктов дробления. Отобрать

и измерить размеры максимальных кусков в дробленом продукте.

5. Повторить опыты дробления при других размерах разгрузочного отверстия дробилки.

6. Результаты эксперимента занести в табл. 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Результаты опытов дробления

№	Размер выходной щели, мм	Масса проб, кг	Крупность максимального куска, мм		Время дробления, с	Степень дробления			Производительность дробилки, т/ч
			До дробления	После дробления		По формуле 3.1	По формуле 3.2	По формуле 3.3	
...

Таблица 3.2

Результаты ситовых анализов продуктов дробления при различном размере разгрузочного отверстия дробилки

Класс крупности, мм	Размер выходной щели, мм	Масса класса, г	Выход класса		
			Частный, %	Суммарный по плюсу, %	Суммарный по минусу, %
...

Обработка результатов.

1. Рассчитайте показатели и заполните полученными данными табл. 3.1 и 3.2.

2. Постройте суммарные характеристики дробленых продуктов при различной величине щели.

3. Постройте типовую характеристику продукта дробления в координатах $\sum \gamma = f(d/i)$ (рис.3.1), пользуясь данными табл.3.3.

Таблица 3.3

Результаты ситовых анализов продуктов дробления при различном размере разгрузочного отверстия дробилки

Класс крупности		Масса класса, г	Выход класса, %	
мм	По отношению к размеру щели		Частный	Суммарный по плюсу

4. Определите степень дробления по следующим формулам и сопоставьте полученные данные:

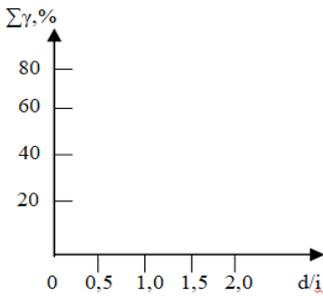


Рис. 3.1. Координатная сетка для построения типовой характеристики продукта

$$i_1 = D_{\max} / d_{\max}, \quad (3.1) \quad \text{где } - D_{\max}, d_{\max} -$$

размеры максимальных кусков до и после дробления в каждом опыте;

$$i_2 = D_{cp} / d_{cp}, \quad (3.2)$$

где - D_{cp}, d_{cp} средневзвешенные размеры кусков до и после дробления:

$$D_{cp} = \frac{\gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2 + \dots + \gamma_n d_n}{100},$$

где γ_i - частный выход i -го класса крупности, %; d_i - среднеарифметический размер класса, мм;

$$c) i_3 = D_{80} / d_{80}, \quad (3.3)$$

где D_{80}, d_{80} - размеры класса крупности исходного материала, соответствующего 80-процентному выходу по минусу, и то же для дробленого продукта.

5. Сделайте эскиз дробилки со спецификацией ее основных деталей, укажите размеры приемного отверстия, величину хода щеки в нижней части [1, с.89]. На эскизе укажите траекторию движения самой нижней точки подвижной щеки.

6. Оформление отчета: см. Введение.

Вопросы для самоконтроля

1. Что, называется типовой характеристикой продукта дробления дробилки?

2. Используя типовую характеристику, постройте характеристику крупности дробленого материала при заданном размере щели дробилки (задается преподавателем).

3. Объясните причины образования в дробленном продукте материала крупнее размера разгрузочной щели.

4. Перечислите основные узлы щековых дробилок с простым качанием щеки и сложным качанием щеки.

5. Объясните, каким образом осуществляется защита дробилки от поломок при попадании не дробимых предметов.

6. Сравните величины удельных производительностей лабораторной и промышленных щековых дробилок.

РАБОТА 4. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Для управления процессом измельчения материала в шаровой мельнице и подбора условий наиболее выгодной ее работы необходимо знать, как протекает данный процесс во времени, т.е. знать его *кинетику*.

Цель работы - научиться экспериментально определять закономерности кинетики измельчения руды в шаровой мельнице.

Аппаратура и ее краткая характеристика.

Лабораторная шаровая мельница, рольганг, лабораторные весы; секундомер; лабораторные сита; ситовой анализатор фирмы *Laarmann* модель *LMSM-200* (Германия); ёмкости для продуктов, исходный материал - дробленая руда крупностью 100% -2 мм.

Порядок выполнения работы.

1. Путем сокращения исходной руды подготовить навески материала для эксперимента.

2. Провести ситовый анализ пробы исходного материала.

3. Провести опыты измельчения навесок материала, изменяя время измельчения (1; 2; 5; 10; 20 и 30 мин).

4. Провести ситовый анализ каждого измельченного продукта, результаты записать по форме, приведенной в Работе 1.

Обработка результатов.

1. Запишите условия опытов измельчения при изучении кинетики:

- параметры барабана мельницы:
 - ~ диаметр, мм;
 - ~ длина, мм;
 - ~ внутренний объем, л;
- масса шаровой загрузки, кг (см. формулу 10.3);
- насыпная плотность шаровой загрузки, кг/л (см. формулу 10.2);
- диаметр шаров, мм;
- частота вращения, об/мин (см. формулу 5.1 и 10.1);

- степень заполнения шарами, % (40%);
- насыпной вес руды, кг/л;
- степень заполнения рудой, %.

2. По формуле $S = (6 \cdot 100) / (d_{cp} \rho)$ рассчитайте и занесите в табл.4.1 суммарную площадь поверхности зерен соответствующего класса крупности, содержащихся в 100 г навески материала (ρ плотность руды, d_{cp} среднеарифметическая крупность класса).

Таблица 4.1

Удельная площадь различных классов крупности пробы

Класс крупности, см	Средняя крупность класса, см	Суммарная площадь поверхности зерен в расчете на 100 г, см ²
...

3. По данным ситового анализа исходной руды и измельченных продуктов рассчитайте суммарную площадь каждого класса $S_{кон}$ и прироста площади в результате измельчения ΔS по формулам:

$$S_{кон} = \frac{6Q}{100\rho} \left(\frac{\gamma_1}{d_1} + \frac{\gamma_2}{d_2} + \dots + \frac{\gamma_i}{d_i} \right)$$

$$S_{исх} = \frac{6Q}{d_{исх} \rho}; \Delta S = S_{кон} - S_{исх},$$

где Q -масса измельченной навески, кг; γ_i -содержание в пробе класса $-d_i$ %.

Данные занести в Табл.4.2 как результаты определения прироста площади свежееобразованной поверхности (ΔS) и производительности мельницы по вновь образованной поверхности (q^s).

Таблица 4.2

Расчет свежееобразованной поверхности

Время измельчения, мин	$S_{исх}$, см ²	$S_{кон}$, см ²	ΔS , см ²	q^s , см ²
...

4. По данным ситового анализа рассчитайте и заполните табл. 4.3, рассчитайте прирост содержания готового класса -0,074

мм ($\beta^{-0,074}$) в измельченном продукте и производительность мельницы по готовому классу ($q^{-0,074}$)

5. По данным табл. 4.2 и 4.3 постройте графики кинетики измельчения в координатах:

$$q^{\Delta\beta(-0,074)} = f(t); q^S = f(t)$$

6. Применительно к полученным экспериментальным данным определите коэффициенты K и m в уравнении кинетики измельчения Товарова (см. Работу 10): $Q = Q_0 e^{-Kt^m}$

7. Определите удельную производительность мельницы по вновь образованному классу и запишите данные в таблицу 4.3:

$$q = \frac{Q(\beta_{\text{кон}} - \beta_{\text{исх}}) \cdot 60}{V \cdot t},$$

где Q – масса пробы руды в мельнице, кг; $\beta_{\text{исх}}$ и $\beta_{\text{кон}}$ – содержание готового класса в исходном материале и в конечном продукте измельчения, доли ед.; V – объем мельницы, л; t – время измельчения, мин.

Таблица 4.3

Расчет удельной производительности по готовому классу

№	Время измельчения, мин	$\beta_{\text{исх}}^{-0,074}$, %	$\beta_{\text{кон}}^{-0,074}$, %	$\beta_i^{-0,074}$, %	Удельная производительность мельницы по вновь образованному классу, $q^{-0,074}$, кг/(л·ч)

8. По данным табл. 4.2 и 4.3 постройте графики кинетики измельчения в координатах: $q^{\Delta\beta(-0,074)} = f(t); q^S = f(t)$

9. Оформление отчета: см. Введение

Вопросы для самоконтроля

1. Подумайте, чем можно объяснить эффект постепенного снижения скорости прироста вновь образуемой поверхности (на это указывает выполаживание кривой кинетики. Для ответа на вопрос

попробуйте сопоставить две тенденции: роста числа измельчаемых частиц и постоянство площади рабочей поверхности шаровой мельницы.

2. Какими способами можно повысить скорость измельчения? Изложите свои соображения.

РАБОТА 5. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА РАБОТУ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Результаты работы шаровых мельниц зависят: от степени заполнения мельницы шарами, размера шаров, плотности пульпы в мельнице, гранулометрического состава руды, частоты вращения барабана мельницы, величины циркулирующей нагрузки и ряда других условий.

Цель работы - изучить влияние на результаты измельчения следующих технологических условий: степени заполнения объема мельницы шарами, частоты вращения барабана мельниц, размера шаров загружаемых в мельницу.

Аппаратура и ее краткая характеристика.

Лабораторная шаровая мельница, рольганг, лабораторные весы; секундомер; лабораторные сита; ситовой анализатор фирмы *Laarmann* модель *LMSM-200* (Германия); ёмкости для продуктов, исходный материал - дробленая руда крупностью 100% -2 мм.

Порядок выполнения работы

1. Путем сокращения исходной руды подготовить навески материала для эксперимента.

2. Провести ситовый анализ пробы исходного материала.

3. Провести опыты измельчения навесок материала, меняя степень заполнения мельницы шарами φ , провести ситовый анализ каждого измельченного продукта.

4. Построить график влияния степени заполнения мельницы шарами на удельную производительность мельницы по вновь образованному классу. Выбрать оптимальную величину параметра φ .

5. Провести опыты измельчения навесок материала, меняя частоту вращения барабана мельницы n , провести ситовый анализ каждого измельченного продукта.

6. Построить график влияния частоты вращения барабана на удельную производительность мельницы по вновь образованному классу. Выбрать оптимальную величину параметра n .

7. Провести опыты измельчения навесок материала, меняя пропорции шаров разного диаметра в шаровой загрузке мельницы, провести ситовый анализ каждого измельченного продукта.

8. Построить график влияния среднеарифметического диаметра шара на удельную производительность мельницы по вновь образованному классу. Выбрать оптимальную величину данного параметра.

Ситовый анализ проводить на ситах 0,4; 0,2 и 0,1мм (0,074 мм).

Условия опытов 1-й серии (п. 3):

- постоянные параметры: частота вращения барабана мельницы, процентный состав шаровой загрузки;
 - переменный параметр: степень заполнения мельницы шарами φ .
- Значения параметра φ : 0,3; 0,4; 0,5; 0,7; 0,9.

Условия опытов 2-й серии (п. 5):

- постоянные параметры: степень заполнения мельницы шарами $\varphi = \varphi_{\text{оптим}}$, процентный состав шаровой загрузки;
 - переменный параметр: частота вращения барабана мельницы n .
- Значения параметра n : 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 от $n_{\text{кр}}$.

Условия опытов 3-й серии (п. 7):

- постоянные параметры: степень заполнения мельницы шарами $\varphi = \varphi_{\text{оптим}}$, скорость вращения барабана мельницы $n = n_{\text{оптим}}$.
- переменный параметр: процентный состав шаровой загрузки. Диаметры шаров задаются преподавателем и загружаются в мельницу в пропорциях, представленных в соответствии табл. 5.1.

Обработка результатов.

По графикам из пп. 4, 6, 8 сделать выводы, построить графические зависимости и оформить отчет (см. Введение).

Таблица 5.1

Пропорции шаров в шаровых загрузках		
№ опыта	Пропорция по массе	
Ø шаров, мм	d_1	d_2
1	100	0
2	0	100
3	50	50

Дополнительные материалы

1. Критическая частота вращения:

$$n_{кр} = 42,3 / \sqrt{D - d_{шар}}, \quad (5.1)$$

где D – внутренний диаметр мельницы по замеру, м; $d_{шар}$ - диаметр шара, м.

Вопросы для самоконтроля

1. Сделайте и обоснуйте выводы о проделанной работе. Как влияют на процесс измельчения: степень заполнения мельницы шарами, скорость вращения барабана мельницы, диаметр шара?

2. Какой скоростной режим работы барабанной мельницы даёт более тонкий помол?

3. От каких факторов зависит удельная производительность мельниц по готовому классу крупности?

РАБОТА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ДРОБЛЕНИЯ БОНДА CWI

Цель работы - определить индекс чистой работы дробления Φ . Бонда CWI исследуемого материала.

Основные понятия:

Индекс чистой работы дробления Φ . Бонда (CWI) – показатель, используемый для прогнозирования энергетических затрат промышленных конусных и щековых дробилок. CWI определяется по результатам разрушения материала в специальной лабораторной установке ударного действия.

Аппаратура и ее краткая характеристика: Установка для испытаний на дробимость в соответствии со стандартом Φ . Бонда компании *Laarmann* модель *LM-BIT1000* (Германия) (рис. 6.1), не менее 10 кусков руды крупностью -75+50 мм, штангенциркуль, весы

для определения объёмной плотности методом гидростатического взвешивания.

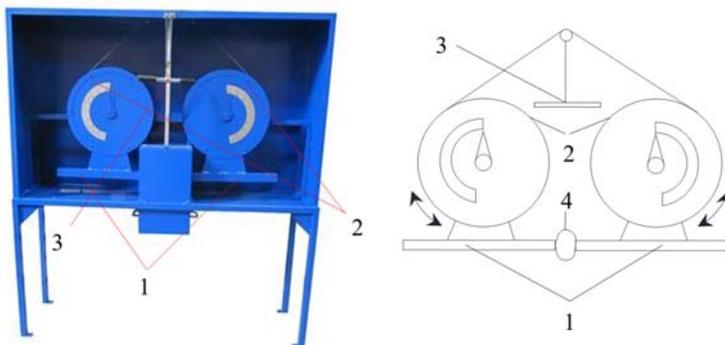


Рис. 6.1. Установка для определения *SWI*

1 – молотки (вес каждого -13,6 кг), 2 – колеса, 3 – ручка установки отклонения высоты молотков, 4 – образец для разрушения.

Порядок выполнения работы

1. Каждый кусок нумеруется и на нем проставляются 2 точки таким образом, чтобы соединяющая их линия примерно проходила через центр масс куска по минимальной толщине. Эти точки служат индикатором мест ударов молотками.

2. Расстояние между точками удара для каждого куска измеряется штангенциркулем и вносятся в таблицу в соответствии номера каждого куска (Приложение А).

3. Гидростатическим методом измеряется объёмная плотность каждого куска и фиксируется в протоколе проведения испытания согласно его номеру (Приложение А). При определении объёмной плотности необходимо придерживаться ГОСТ 25732-88. Необходимо высушить все куски после определения объёмной плотности.

4. Каждый кусок по очереди помещается между молотками на специальной подставке (положение куска выравнивается за счет подкладки из пластичного материала в виде глины или пластилина) таким образом, чтобы после разведения маятников молоты ударяли в точки ударов, отмеченные на кусках в п.1 (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Правильное расположение образца в ударной области

1.5. Маятники разводят на 10 градусов и отпускают (рис. 6.3), в результате чего боковые грани образца одновременно подвергаются ударному воздействию молотков. Угол разведения маятников постепенно увеличивают с шагом в 5 градусов до тех пор, пока образец не разрушится (разрушившимся считается кусок, наибольший осколок от которого имеет менее 75-80% массы исходного куска). После каждого удара необходимо проверять целостность куска и его правильное положение в зоне разрушения.



Рис. 6.3. Шкала угла отклонения маятников от вертикали (стрелка неподвижно закреплена на оси, вокруг которой вращается маятник)

6. Угол, при котором произошло разрушение, фиксируется в протоколе проведения испытаний в соответствии номеру образца.

7. Индекс чистой работы дробления Φ . Бонда CWI в кВт·ч/т рассчитывается для каждого разрушенного образца по следующей формуле:

$$CWI = 53,49 \frac{ICS}{\rho}$$

здесь ICS – ударная энергия, приложенная к 1 мм толщины образца при разрушении, Дж/мм; ρ – плотность образца, г/см³.

Ударную энергию, приложенную к 1 мм толщины образца при разрушении, можно оценить по формуле:

$$ICS = \frac{97,4(1 - \cos \beta)}{L}$$

здесь β – угол отклонения маятника от вертикали, при котором произошло разрушения образца; L – толщина образца в направлении удара, мм; 97,4 – постоянный для данной установки коэффициент, определяемый в ходе ее калибровки.

За индекс чистой работы дробления CWI материала принимается среднеарифметическое значение всех разрушенных образцов. Протокол проведения тестирования находится в Приложении А.

Обработка результатов.

По результатам опытов необходимо сделать вывод о крепости руды (см. Приложение Ж) и оформить отчет (см. Введение).

Вопросы для самоконтроля

1. Какой тип дробилок можно рассчитать по полученным результатам теста?
2. Рудный материал в каком классе крупности необходимо подготовить для теста?
3. Какое количество рудного материала минимально достаточно для проведения тестовой процедуры?

РАБОТА 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА АБРАЗИВНОСТИ БОНДА *AI*

Цель работы – освоить методику определения индекса абразивности Бонда *AI*.

Основные понятия:

Индекс абразивности Бонда - величина, используемая для прогнозирования скорости износа рабочих органов рудоподготовительных аппаратов.



Рис.7.1 Установка для определения индекса абразивности

Необходимые оборудование и материалы – Установка для определения индекса абразивности в соответствии со стандартом Ф. Бонда компании *Laarmann* модель *LM-BAT1000* (Германия) (рис. 7.1), руда классом крупности $-19+12,7$ мм в количестве 4-х навесок по 400 г каждая, делитель желобчатый, стандартный набор сит шкалы Тайлера, ситовые анализаторы компании *Laarmann* модели *LMSM-200* и *LMSM-300/450* (Германия), аналитические весы.



Рис.7.2 Стальная пластинка, закрепленная радиально на роторе

Порядок выполнения работы

Протокол проведения испытаний приведен в Приложении Б. Индекс абразивности Бонда *AI* определяется путем тестирования сухого материала в специальной лабораторной мельнице (рис.7.1), оснащенной лифтерами и ротором, на котором радиально фиксируется стальная пла-

стинка (Рис.7.2). Внутренний диаметр и длина барабана соответственно равны 305 и 115 мм. Стандартная методика Бонда предусматривает синхронное вращение барабана и ротора в одном направлении со скоростью в 70 (90% от критической скорости) и 632 об/мин соответственно.

1.Используя струйчатый делитель поделить навеску исследуемого материала массой 1600 г класса крупностью $-19+12,7$ мм на 4 равные части по 400 г. Необходимо добиться чтобы масса отдельного набора частиц была максимально близка или равна 400 г, а общая

масса 1600 г. Подписать каждую навеску массой 400 г: Проба 1, Проба 2, Проба 3, Проба 4.

2. Подготовить стальную пластинку размером 76,2 x 25,4 x 6,35 мм (из хромоникельмолибденовой стали марки *SAE 4325* с твердостью 500 по шкале Бринелля, *HB*). Взвесить пластинку с точностью до 0,0001 г на аналитических весах. Для этого замеры делаются с 2 перпендикулярными установками пластинки при 4 положениях чаши (рис. 7.3), всего 8 замеров. Среднеарифметическое значение из 8 полученных будет считаться исходной массой пластинки.

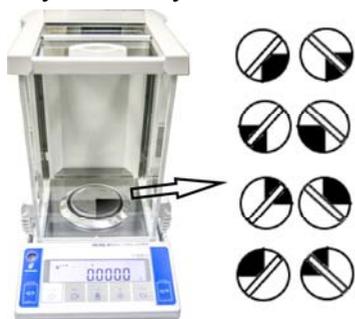


Рис. 7.3 Ориентации пластинки и чаши весов при 8 взвешиваниях

3. После взвешивания пластинка устанавливается на ротор абразивной мельницы Бонда. Обратите внимание, что пластинка подвергается ударным нагрузкам во время теста, поэтому прижимной болт (закручивается первым) и прижимная контргайка (накручивается второй) должны быть затянуты с максимально возможным усилием для предотвращения выпадения пластинки из зажимного устройства ротора.

4. Поместить в барабан Пробу 1 и плотно закрыть барабан мельницы крышкой.

5. Настроить таймер мельницы на 15 минут, скорость вращения барабана и ротора в одном направлении со скоростью в 70 и 632 об/мин соответственно, включить мельницу.

6. По прошествии 15 минут и остановки барабана, мельницу необходимо разгрузить и тщательно очистить от материала сняв внутреннюю обечайку.

7. Загрузить последовательно Пробу 2-4 и повторить п. 4-6.

8. Полученный материал необходимо подвергнуть ситовому анализу на наборе сит, представленном в Приложении Б и определить параметр R_{80} . Определение параметра R_{80} носит рекомендательный характер и может использоваться для очень приблизительного среднего значения показателя работы дробления в открытом цикле по следующей формуле (данный показатель не является заменой теста по

определению индекса дробления Бонда CWI :

$$WI = 0,6/(10/\sqrt{P80 - 0,0487}), \text{ кВт-ч/т}$$

9. Пластинку по окончании тестирования необходимо демонтировать с зажимного устройства ротора, тщательно отчистить от частиц материала и взвесить в соответствии с п.2.

10. Рассчитать индекс абразивности Бонда AI как потерю массы пластинки:

$$AI = M_1 - M_2,$$

где M_1, M_2 – масса пластинки до и после четырех периодов измельчения соответственно, г.

Расчет абразивного износа стали в дробилках и мельницах в кг/кВт-ч работы производится по эмпирическим формулам, представленным в соответствии табл. 7.1.

Таблица 7.1

Расчет интенсивности износа рабочих органов рудоподготовительных аппаратов из индекса абразивности Бонда

Рабочий орган	Интенсивность износа, кг/кВт-ч
Стержни в мокрых стержневых мельницах	$0,16(AI - 0,02)^{0,2}$
Футеровка в мокрых стержневых мельницах	$0,16(AI - 0,015)^{0,3}$
Шары в мокрых шаровых мельницах	$0,16(AI - 0,015)^{0,33}$
Футеровка в мокрых шаровых мельницах	$0,012(AI - 0,015)^{0,3}$
Шары в сухих шаровых мельницах	$0,023\sqrt{AI}$
Футеровка в сухих шаровых мельницах	$0,0023\sqrt{AI}$
Футеровка в конусных и щековых дробилках	$0,041(AI + 0,22)$
Бандажи в валковых дробилках	$0,45\left(\frac{AI}{10}\right)^{0,67}$

Обработка результатов.

По результатам опытов необходимо сделать вывод о типе руды по индексу абразивности (см. Приложение Ж) и оформить отчет (см. Введение).

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите оборудование для процессов рудоподготовки для которого можно рассчитать абразивный износ по полученным результатам теста?

2. Рудный материал в каком классе крупности необходимо подготовить для теста? Какая масса навески и какое количество проб необходимо иметь для проведения теста?

3. С какой точностью необходимо взвесить пластину для проведения теста?

РАБОТА 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО ИНДЕКСА БОНДА ДЛЯ СТЕРЖНЕВОЙ МЕЛЬНИЦЫ *RWI*

Для расчёта удельных энергозатрат (кВт-ч/т) на сокращение крупности материалов с последующим расчетом и выбором измельчительного оборудования осуществляют тесты по стандартизированным методикам Ф. Бонда. Тесты по оценке энергозатрат на стержневое измельчение производят в стержневой мельнице Ф. Бонда, которая имеет внутренний диаметр 305 мм и длину барабана 610 мм. Футеровка барабана волнистая. Стержневая загрузка состоит из восьми стержней, весом 33,38 кг. Шесть стержней имеют диаметр 38,1 мм, два стержня 44,5 мм, длина каждого стержня составляет 533 мм. Частота вращения барабана мельницы составляет 46 об/мин. (Рис. 8.1).

Цель работы – освоить методику определения рабочего индекса стержневого измельчения Ф. Бонда (далее – индекс *RWi*).

Основные понятия:

Рабочий индекс стержневого измельчения Бонда - это энергетический показатель, характеризующий сопротивляемость материала стержневому измельчению.

Рассчитываемый по рабочему индексу удельный расход электроэнергии является абсолютной для исследуемой руды мерой твердости (Приложение Ж).

Необходимые оборудование и материалы – сухая, дроблёная руда 100% класса -12,5 мм руда общей массой 25 кг, делитель желобчатый, стандартный набор сит по шкале Тайлера, ситовые анализаторы компании *Laarmann* модели *LMSM-200* и *LMSM-*

300/450 (Германия), лабораторные весы, мерный цилиндр объёмом 2000 мл, стандартизированная стержневая мельница Бонда компании *Laarmann*, модель *LM-RM1000* (Германия).

Порядок выполнения работы

Схема тестирования для определения рабочего индекса стержневого измельчения представлена в соответствии с рисунком 8.2.

Протокол проведения тестирования представлен в Приложении В.



Рис.8.1. Стержневая мельница Бонда

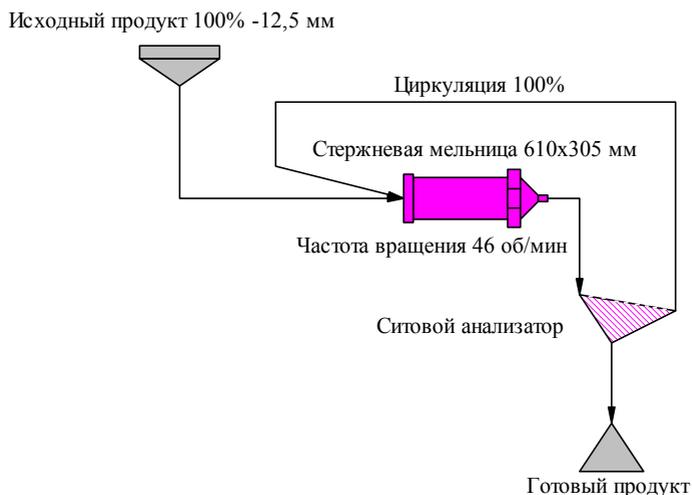


Рис.8.2. Схема тестирования на рабочий индекс стержневого измельчения Бонда

Методика проведения теста состоит в следующем:

1. Исходный продукт дробится до крупности 100% -12,5 мм с использованием стадийного дробления на щековой дробилке.

2. Представительно отобранная дроблёная руда крупностью 100% -12,5 мм засыпается в 2000 мл цилиндр до отметки 1250 мл и встряхивается на виброплоскости. Процесс повторяется до момента, пока материал не перестает утрамбовываться и его объем не будет равен 1250 мл. Результирующая масса руды M взвешивается.

Масса M представляет собой загрузку мельницы для каждого цикла измельчения.

3. Рассчитывается масса подрешётного продукта (A) для циркулирующей нагрузки в 100%. Если масса свежего питания равняется 100% и масса циркулирующей нагрузки тоже равняется 100%, то масса измельчаемого материала в мельнице равняется 200%. Отсюда:

$$A = M/2$$

4. Проводится ситовой анализ исходного питания. Набор сит представлен в Приложении В. Необходимо убедиться, что размер ячейки контрольного сита входит в набор сит, применяемый для ситового анализа. Рекомендованное стандартное контрольное сито равно 1180 мкм. Возможно использовать сито в диапазоне от 250 мкм до 4000 мкм, данное сито должно быть подобрано таким образом, чтобы параметр P_{80} ориентировочно равнялся параметру P_{80} , требуемому для конкретной схемы стержневого измельчения. Масса готового класса в питании каждого цикла обозначается как H .

5. Поместить загрузку питания M в мельницу.

6. Включить мельницу на N оборотов, для первого цикла N равно 50 об (1 мин 5 с).

7. По окончании измельчения разгрузить продукт из мельницы, тщательно очистить стержни и внутреннюю поверхность барабана от оставшегося на них материала. Будьте крайне аккуратны при разгрузке, т.к. большинство потерь цикла возникают из-за пыления при разгрузке.

8. Сделать ситовой анализ измельченному продукту на контрольном сите. Для сокращения времени ситового анализа рекомендуется использовать над контрольным ситом поддерживающее сито

(для контрольного сита 1180 мкм удобно использовать поддерживающее сито 3350 мкм). Необходимое время рассева определяется опытным путем для каждого материала следующим образом:

- по прошествии 5 минут рассева остановить ситовой анализатор, осторожно снять все поддерживающие сита и контрольное сито и поставить их на столы, застеленные чистыми ватманами;

- несколько раз слабо ударить обечайкой контрольного сита о ватман, сделать несколько круговых движений, чтобы материал на поверхности сита перемещался;

- проверить наличие подрешетного класса на ватмане. Если на ватмане обнаруживается более 1% от исходной массы пробы, помещенной в ситовый набор, необходимо продолжить рассев, повторить описанные выше операции. Если наблюдаемая на ватмане масса менее 1 % - то рассев можно завершить. Необходимо придерживаться методики ситового анализа определения гранулометрического состава согласно ГОСТ 24236-80.

9. Взвесить и зарегистрировать массу подрешетного продукта B , продукт промаркировать* и сохранить.

10. Взвесить надрешетный продукт (D).

11. По формуле $Z=M-D-B$ определить величину операционных потерь, которая не должна превышать 3% от величины M .

12. Отобрать представительную пробу из исходной руды по массе равную $F=M-D$. Эта масса называется свежим питанием цикла.

13. Рассчитать массу готового класса в свежем питании следующего цикла, при этом использовать результаты гранулометрического анализа исходного питания и массу свежего питания цикла:

$$H=\gamma(x_{\max},P)\cdot F,$$

где $\gamma(x_{\max},P)$ – содержание готового класса в исходном материале, %.

14. Рассчитать полученный прирост готового класса в продукте цикла (в первом цикле $H=\gamma(x_{\max},P)\cdot M$):

$$E=B-H$$

* Маркировать пробы рекомендуется следующим образом: [Дата / Название теста / Шифр уч.гр. / Шифр пробы / Обозначение пробы / Крупность пробы / Масса пробы], например, [12.10.2021 / тест BWi / ОП-18 / АпР-2030 / Продукт 3 ц. / -106+0 мкм/ $Q=613,1$ г]

15. Рассчитать измельчаемость G :

$$G = E/N$$

16. Добавить свежее питание из п. 12 к надрешётному продукту из п. 10, чтобы получить массу загрузки мельницы M для следующего цикла измельчения.

17. Рассчитать число оборотов мельницы N для следующего цикла измельчения. Для этого необходимо знать:

- Массу материала, который должен измельчаться в следующем цикле, чтобы весь подрешетный продукт после измельчения по массе сравнялся с массой A , т.е. численно эта масса равна $A-H$;

- Измельчаемость в предыдущем цикле.

$$N_i = (A-H)/G_{(i-1)}$$

Число оборотов N необходимо округлить до целого.

18. Рассчитать время измельчения в секундах для следующего цикла измельчения:

$$t_i = N_i \cdot (60/46)$$

Время измельчения t_i округлить до целых секунд и перевести в мин:сек.

19. Повторить шаги с 5-го по 14-ый. Должны быть проведены по крайней мере шесть циклов измельчения.

20. Измельчаемость должна достигнуть равновесной величины ($\pm 1\%$) для, по крайней мере, трёх циклов, а также хотя бы раз незначительно изменить направление своей динамики уже находясь в равновесии (например, если измельчаемость за три последних цикла составила 11,125; 11,126; 11,126, то необходимо делать следующий цикл, а если 11,125; 11,126; 11,125, то тест можно завершать). Масса готового класса в разгрузке мельницы при циркуляции 100% должна стабилизироваться в последних трех циклах и максимально приблизится к расчетному исходному значению A .

21. Установить $G_{гр}$, - измельчаемость за последние три цикла измельчения и найти среднеарифметическое значение.

22. Определить гранулометрическую характеристику объединенных подрешетных продуктов трех последних циклов измельчения.

23. Определить крупность частиц, имеющих крупность меньше 80%, для исходного продукта F_{80} и продукта трех последних циклов измельчения P_{80} .

24. Рассчитать рабочий индекс стержневого измельчения Бонда из следующего выражения:

$$RWI_{Test} = 1,1023 \times \frac{62}{A^{0,23} G_{гр}^{0,625} 10 \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)} \text{ кВт-ч/т,}$$

где A - крупность контрольного сита, мкм, $G_{гр}$ - измельчаемость в последних трех циклах (г/об), F_{80} - крупность меньше 80% исходного продукта, P_{80} - крупность меньше 80% продукта измельчения.

Обработка результатов.

По результатам опытов необходимо сделать вывод о крепости руды в плане сопротивляемости стержневому измельчению (см. Приложение Ж) и оформить отчет (см. Введение) в котором, среди прочего, должны быть представлены гранулометрические характеристики питания и продукта измельчения, графики изменения измельчаемости и циркулирующей нагрузки в циклах измельчения (см. Приложение З).

Вопросы для самоконтроля

1. Какого значения циркулирующей нагрузки необходимо достигнуть в результате теста?
2. Что обозначают и какую размерность имеют значения параметров $G_{гр}$, A , F_{80} , P_{80} ?
3. Какие условия надо выполнить для завершения тестовой процедуры?

РАБОТА 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО ИНДЕКСА БОНДА ДЛЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ WVI

Для расчёта удельных энергозатрат (кВт-ч/т) на сокращение крупности материалов с последующим расчетом и выбором измельчительного оборудования осуществляют тесты по стандартизированным методикам Ф. Бонда. Тесты по оценке энергозатрат шарового измельчения производятся в стандартизированной шаровой мельнице Ф. Бонда (см. рис. 9.1).

Цель работы – освоить методику определения рабочего индекса шарового измельчения Ф. Бонда (далее – индекс *BWi*).

Основные понятия:

Рабочий индекс шарового измельчения Бонда - это энергетический показатель, характеризующий сопротивляемость материала шаровому измельчению.

Численная величина индекса означает расход электроэнергии,

требуемый для измельчения от теоретически бесконечной крупности исходного питания до крупности 80% менее 100 мкм». При этом рассчитываемый по индексу работы удельный расход электроэнергии является абсолютной для исследуемой руды мерой твердости (Приложение Ж).

Необходимые оборудование и материалы – сухая, дроблёная руда 100% класса -3,35 мм руда общей массой 15 кг, делитель желобчатый, стандартный набор сит по шкале Тайлера, ситовые анализаторы компании *Laarmann* модели *LMSM-200* и *LMSM-300/450* (Германия), лабораторные весы, мерный цилиндр объёмом 1000 мл, стандартизированная стержневая мельница Бонда компании *Laarmann*, модель *LM-BM1000* (Германия).

Порядок выполнения работы

Определение рабочего индекса шарового измельчения производится в стандартизированной мельнице (рис. 9.1), согласно методике разработанной Ф. Бондом. Протокол проведения тестирования представлен в Приложении Г.

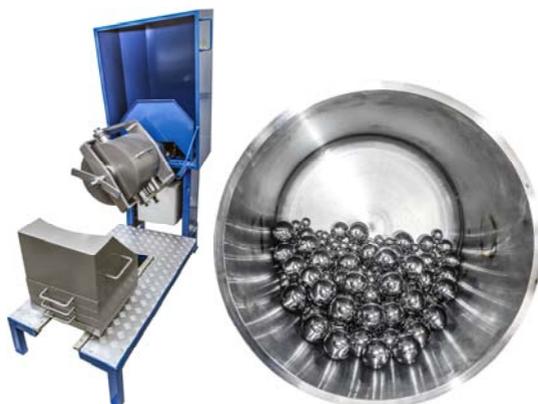


Рисунок 9.1 Шаровая мельница Бонда

Схема тестирования для определения рабочего индекса шарового измельчения представлена в соответствии с рисунком 9.2. Лабораторная шаровая мельница Бонда имеет внутренний диаметр 305 мм и длину барабана 305 мм, гладкую футеровку с закругленными углами. Шаровая загрузка, весом 20125 г состоит из шаров с диапазоном диаметров от 15,5 до 36,8 мм общим количеством 285 шт (43 шара Ø36,8 мм; 67 шаров Ø29,7 мм; 10 шаров Ø25,4 мм; 71 шар Ø19,1 мм; 94 шара Ø15,5 мм). Скорость вращения барабана мельницы является стандартной и составляет 70 об/мин.

Исходный продукт 100% -3,35 мм

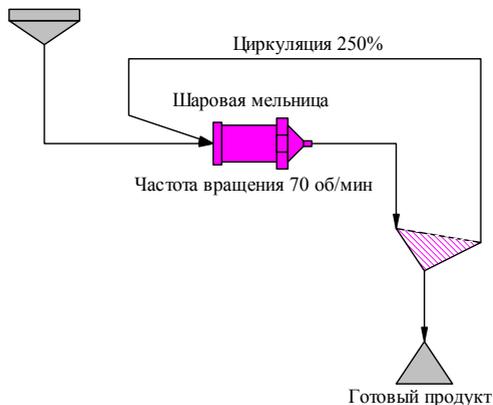


Рис. 9.2. Схема тестирования на рабочий индекс шарового измельчения Бонда

Важно строго поддерживать шаровую загрузку как в отдельных классах крупности относительно соотношения масса – количество шаров, так и общую массу шаровой загрузки в соответствии с таблицей 9.1.

Таблица 9.1

Зависимость диаметра шаров и их массой по рекомендации компании JKTech (Австралия)

Диапазон размеров шаров, мм	Количество	Масса, г
-38.0+31.5	43	8806 ± 3
-31.5+26.5	67	7209 ± 3
-26.5+22.4	10	672 ± 1
-22.4+16.0	71	2009 ± 2
-16.0+13.2	94	1429 ± 2
Всего	285	20125 ± 7

Методика проведения теста состоит в следующем:

1. Исходный продукт дробится до крупности 100% - 3,35 мм с использованием стадийного оборудования: щековой и валковой дробилках (перед каждой операцией дробления необходимо отсеивать контрольный класс -3,35 мм, чтобы конечный продукт был не замельченным и содержал достаточное количество материала в верхнем диапазоне крупности).

2. Представительно отобранная дроблёная руда крупностью 100% -3,35 мм засыпается в 1000 мл цилиндр до отметки 700 мл, встряхивается на виброплоскости пока объём не перестанет уменьшаться за счет вибрации (время примерно 0,5-1,5 мин). От вибрации материал уплотнится и будет занимать объем менее 700 мл. Необходимо досыпать новую порцию материала до отметки в 700 мл. Процесс повторяется до момента, пока материал не перестает утрамбовываться и его объем не будет равен 700 мл. Результирующая масса руды M взвешивается.

3. Рассчитать массу подрешётного продукта (A) для циркулирующей нагрузки в 250%. Если масса свежего питания равняется 100%, а масса циркулирующей нагрузки равняется 250%, то масса измельчаемого материала в мельнице равняется 350%. Отсюда:

$$A = M/350\% = M/3,5$$

4. Осуществить ситовой анализ утрамбованного исходного питания объемом 700 мл на наборе сит представленном в Приложении Г. Убедиться, что размер ячейки контрольного сита находится в наборе сит, применяемом для ситового анализа. Стандартное контрольное сито равно 106 мкм (в некоторых случаях стандартное контрольное сито можно принять 150 мкм, важно определить изначально какое контрольное сито будет использовать лаборатория, тк последующие тесты надо будет проводить на этом сите, для возможности анализа изменчивости физико-механических свойств различных по типу руд относительно накопленной лабораторией базы данных тестовых процедур *BWI*). Возможно использовать сито в диапазоне от 38 мкм до 500 мкм, данное сито должно быть подобрано таким образом, чтобы параметр P_{80} ориентировочно равнялся параметру P_{80} , требуемому для конкретной схемы измельчения. Масса готового класса в питании каждого цикла обозначается как H .

1. После проверки массы и количества шаров в барабане, поместить загрузку питания M в мельницу.

6. Включить мельницу на N оборотов, для первого цикла N равно 100 об (1 мин 26 с). Количество оборотов мельницы в 1 цикле может варьироваться от 100 до 200 оборотов и более в зависимости от типа тестируемой руды и данных предыдущих тестов *BWI* из накопленных лабораторией базы данных однотипных руд с тестируемым материалом).

7. По окончании измельчения аккуратно разгрузить продукт из мельницы, очистить шары и внутреннюю поверхность барабана от оставшегося материала. Будьте крайне аккуратны при разгрузке, т.к. большинство потерь цикла возникают из-за пыления при разгрузке.

8. Просеять продукт измельчения на контрольном сите. Для сокращения времени рассева рекомендуется использовать над контрольным ситом поддерживающее сито (для контрольного сита с ячейкой 106 мкм удобно использовать поддерживающее сито с квадратными ячейками в диапазоне 212-600 мкм). В случае использования сит диаметром 400 или 450 мм, желателно не превышать массу загрузки сита в 300 - 400 г, для сит диаметром 200 мм 100 -150

г. Необходимое время рассева определяется опытным путем для каждого материала следующим образом:

а. По прошествии 10 минут рассева остановить ситовой анализатор, осторожно снять все поддерживающие сита, поставить их на чистый ватман.

б. Контрольное сито снять с поддона и поставить на чистый ватман.

с. Несколько раз слабо ударить обечайкой контрольного сита о ватман, сделать несколько круговых движений, чтобы материал на поверхности сита перемещался.

д. Проверить наличие подрешетного класса на ватмане. Если на ватмане обнаруживается более 1% от исходной массы пробы, помещенной в ситовый набор, необходимо продолжить рассев, повторить пп. 8а-8д. Если наблюдаемая на ватмане масса менее 1 % - то рассев можно завершить.

В некоторых случаях качество ситового анализа на ситовом анализаторе может не удовлетворить приведенным выше условиям пп. 8а-8д, в этом случае необходимо применить ручной рассев с помощью кисти, которой необходимо «протирать» материал на контрольном сите для достижения приемлемого результата п. 8д. Необходимо придерживаться методики ситового анализа определения гранулометрического состава согласно ГОСТ 24236-80.

9. Взвесить и зарегистрировать массу подрешетного продукта B , продукт промаркировать[†] и сохранить.

10. Взвесить надрешетный продукт (D).

11. По формуле $Z=M-D-B$ определить величину операционных потерь, которая не должна превышать 3% от величины M .

12. Отобрать представительную пробу из оставшейся исходной руды класса 100% -3.35 мм по массе равную $F=M-D$. Эта масса называется свежим питанием цикла.

13. Рассчитать массу готового класса в свежем питании следующего цикла, при этом использовать результаты гранулометрического анализа исходного питания и массу свежего питания цикла:

[†]Маркировать пробы рекомендуется следующим образом: [Дата / Название теста / Шифр уч.гр. / Шифр пробы / Обозначение пробы / Крупность пробы / Масса пробы], например, [12.10.2021 / тест BWi / ОП-18 / АпР-2030 / Продукт 3 ц. / -106+0 мкм/ $Q=613,1$ г]

$$H = \gamma(x_{max}, P) \cdot F,$$

где $\gamma(x_{max}, P)$ – содержание готового класса в исходном материале, %.

14. Рассчитать полученный прирост готового класса в продукте проведенного цикла (в первом цикле $H = \gamma(x_{max}, P) \cdot M$, т.к. для первого цикла $F = M$):

$$E = B - H$$

15. Рассчитать измельчаемость G :

$$G = E / N$$

16. Добавить свежее питание из п. 12 к надрешётному продукту из п. 10, чтобы получить массу загрузки мельницы M для следующего периода измельчения.

17. Рассчитать число оборотов мельницы N для следующего периода. Для этого необходимо знать:

- Массу материала, который должен измельчаться в следующем цикле, чтобы весь подрешетный продукт после измельчения по массе сравнялся с массой A , т.е. численно эта масса равна $A - H$;

- Измельчаемость в предыдущем цикле.

$$N_i = (A - H) / G_{(i-1)}$$

где i – номер цикла.

Число оборотов N необходимо округлить до целого.

18. Рассчитать время измельчения в секундах для следующего цикла:

$$t_i = N_i \cdot (60/46)$$

Время измельчения t_i округлить до целых секунд и перевести в мин:сек.

19. Повторить шаги с 5-го по 14-ый. Должны быть проведены по крайней мере пять циклов измельчения.

20. Измельчаемость должна достигнуть равновесной величины ($\pm 1\%$) для, по крайней мере, трёх периодов, а также хотя бы раз изменить направление своей динамики уже находясь в равновесии (например, если измельчаемость за три последних цикла составила 1,125; 1,126; 1,126, то необходимо делать следующий цикл, а если 1,125; 1,126; 1,125, то тест можно завершать). Масса готового класса в разгрузке мельницы при циркуляции 250% должна стабилизироваться в последних трех циклах и максимально приблизится к расчетному исходному значению A .

21. Установить $G_{гр}$, - измельчаемость за последние три периода и найти среднеарифметическое значение.

22. Определить гранулометрическую характеристику объединенных подрешетных продуктов трех последних циклов. Рекомендуемый набор сит для отсева продуктов теста представлен в Приложении Г.

23. Определить крупность частиц, имеющих крупность меньше 80%, для исходного продукта F_{80} и продукта трех последних циклов измельчения P_{80} .

24. Рассчитать лабораторный рабочий индекс из следующего выражения:

$$BWI_{Test} = 1,1023 \times \frac{44,5}{A^{0,23} G_{bp}^{0,82} 10 \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)}, \text{ кВт-ч/т},$$

где A – крупность лабораторного сита в мкм, G_{bp} – измельчаемость в последних трех циклах (г/об), F_{80} – 80% крупность прохода питания, P_{80} – 80% крупность прохода продукта.

Обработка результатов.

По результатам опытов необходимо сделать вывод о крепости руды в плане сопротивляемости шаровому измельчению (см. Приложение Ж) и оформить отчет (см. Введение) в котором, среди прочего, должны быть представлены гранулометрические характеристики питания и продукта измельчения, а также графики изменения измельчаемости и циркулирующей нагрузки от цикла к циклу (см. Приложение З).

Вопросы для самоконтроля

1. Какого значения циркулирующей нагрузки необходимо достигнуть в результате теста?

2. Что обозначают и какую размерность имеют значения параметров $G_{гр}$, A , F_{80} , P_{80} ?

3. Какие условия надо выполнить для завершения тестовой процедуры?

РАБОТА 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТИ РУД

Для выполнения исследований полезных ископаемых на обогатимость необходимо обладать широким кругозором в области технологии обогащения и, прежде всего, уметь в лабораторных условиях экспериментально определять измельчаемость руд для разработки в проектах новых обогатительных фабрик эффективных схем рудоподготовки.

Цель работы – освоить методику, позволяющую определять время измельчения, обеспечивающее получение заданного содержания любого класса крупности в измельченном продукте перед испытаниями его на обогатимость.

Необходимое оборудование и материалы: исходный материал – дробленая руда крупностью -1 мм, делитель желобчатый, стандартный набор сит шкалы Тайлера, ситовой анализатор фирмы *Laarmann* модель *LMSM-200* (Германия), лабораторные весы, секундомер, лабораторная шаровая мельница, рольганг.

Порядок выполнения работы

1. Из исходной руды, крупностью -1 мм последовательным сокращением выделить навеску, массой 125 – 250 г. Определить гранулометрический анализ исходной пробы (Работа 1).

2. Провести опыты измельчения при разном времени. Для этого необходимо рассчитать и записать в рабочий журнал основные размеры и параметры мельницы:

- D – внутренний диаметр барабана, мм;
- L – внутренняя длина барабана, мм;
- V – объем мельницы, см³;
- n – частота вращения барабана мельницы, мин⁻¹.

Для расчета частоты вращения на торцевой стенке барабана необходимо сделать отметку мелом и при помощи секундомера подсчитать число оборотов, которое совершает мельница на рольганге в минуту.

– $n_{кр}$ – критическое число оборотов мельницы, мин⁻¹. Этот параметр рассчитывается по формуле 5.1.

Далее определяется относительная скорость вращения барабана – ψ , в долях единицы по формуле:

$$\Psi = \frac{n}{n_{кр}} \quad (10.1)$$

Затем следует рассчитать насыпную плотность шаров – $\rho_{ш}$, г/см³. Для этого необходимо заполнить всю мельницу шарами и взвесить её, а затем определите вес пустой мельницы. Тогда:

$$\rho_{ш} = \frac{G_{м.ш.} - G_{м}}{V} \text{ г/см}^3, \quad (10.2)$$

где – $G_{м.ш.}$ – масса мельницы с шарами, г, $G_{м}$ – масса мельницы без шаров, г, V – объем мельницы, см³

Далее следует рассчитать массу шаров в мельнице – $G_{ш}$ при проведении опытов, г. При этом принимается степень заполнения мельницы шарами 40%, т.е. $\varphi=0,4$.

$$G_{ш} = \varphi \cdot V \cdot \rho_{ш}, \text{ г.} \quad (10.3)$$

Определить объем пустот в шаровой нагрузке – $V_{пуст.}$, см³.

$$V_{пуст.} = \varphi \cdot V - \frac{G_{ш}}{\rho_{ш}}, \text{ см}^3$$

Рассчитать объем пульпы в загрузке мельницы – V_n , см³. Принять отношение жидкого к твердому ($R=Ж:Т$) равным 0,54:1 (65% твердого по массе). Тогда:

$$V_n = (G_p / \rho_p) + 0.54 \cdot G_p = G_p (0.54 + \rho_p^{-1}), \text{ см}^3,$$

где G_p – навеска руды, г.

Навеска руды зависит от объема камеры флотационной машины, в которой в дальнейшем будут проводиться флотационные опыты. Поэтому, заранее надо определить какой объем флотационной камеры будет применяться при исследовании данной руды на обогатимость. Этим определится навеска руды для измельчения: 125 или 250 г; ρ_p – плотность руды, г/см³. Её надо заранее определить пикнометрическим способом.

Далее необходимо рассчитать отношение объема пульпы к объему пустот в шаровой нагрузке – $\frac{V_n}{V_{пуст.}}$.

5.1. Приготовить 6 одинаковых навесок исходной руды (125 или 250 г) в зависимости от объема камер лабораторных флотома-

шин, которые будут применяться при последующих опытах флотации.

5.2. Заполнить мельницу шаровой нагрузкой – $G_{ш}$, г. Засыпать одну навеску руды – $G_{р.}$, г. Налить в мельницу $0,54 G_p$ $см^3$ воды. Барабан мельницы закрыть крышкой и установить её на ролик.

5.3. Провести 6 опытов измельчения продолжительностью 1; 2; 5; 10; 20 и 30 мин.

По истечении заданного времени измельчения пульпу из мельницы разгрузить в поддон через крупное штампованное сито с размером ячейки немного ниже минимального размера шара. Шары и барабан мельницы тщательно промыть водой.

5.4. Измельченному материалу произвести мокрому ситовой анализ на сите 0,074 мм согласно ГОСТ 24598-81 (см. Работу 1). Для защиты сетки сита 0,074 мм материал необходимо промывать на наборе из двух сит: верхнее 0,25 мм и нижнее 0,074 мм. Надрешетные классы объединить и высушить при температуре не выше $105 \pm 5^\circ C$. Затем этот материал рассеять на полном наборе сит, включая сито 0,074 мм. Полученные классы взвесить. К массе сухого класса – 0,074 мм добавить массу отмытых шламов крупностью – 0,074 мм. Массу отмытых шламов рассчитать по разности навески руды, загружаемой в мельницу и массе высушенного материала крупностью + 0,074 мм. Результаты занести в табл.10.1.

Таблица 10.1

Ситовой анализ продуктов измельчения при различной продолжительности измельчения

Крупность класса, мкм	Время измельчения, мин			
	1			...
	Q_2 , г	γ , %	$\Sigma\gamma$ %	...
-0,80+0,50				...
-0,50+0,40				...
-0,40+0,315				...
-0,315+0,25				...
-0,25+0,20				...
-0,20+0,14				...
-0,14+0,074				...
-0,074+0,0				...

6. По результатам проведенных исследований построить

графики кинетики измельчения. Для этого по данным таблицы 10.1 необходимо составить таблицу 10.2 кинетики измельчения исследуемой руды. В эту таблицу внести суммарные выходы (остатки) на ситах: 0,315; 0,25; 0,20; 0,14 и 0,074 мм для всех периодов измельчения, включая и данные ситового анализа исходной руды (время измельчения 0).

Таблица 10.2

Продолжительность измельчения, мин.	Суммарные остатки на ситах, $\Sigma \gamma$ т.е. β^{+d} , %				
	0,315 мм	0,25 мм	0,20 мм	0,14 мм	0,074 мм
0					
1					
...					

По вертикальной оси прямоугольной координатной сетки отложить β^{+d} , а по горизонтальной оси – время измельчения t в минутах. По кривым кинетики измельчения, представленным на рис. 10.1 можно легко определить время измельчения, требуемое для получения продуктов заданной крупности.

Например:

– Для получения $\beta^{+74 \text{ мкм}} = 50\%$, нужно измельчать пробу исследуемой руды 15 мин.

– Для получения $\beta^{+74 \text{ мкм}} = (\beta^{-74 \text{ мкм}} = 25\%)$ время измельчения t составит = 8 мин и т.д.

Проверить соответствуют ли результаты опытов измельчения уравнению кинетики измельчения Товарова:

$$\beta^{+d} = \beta_0^{+d} \cdot e^{-kt^n},$$

где β^{+d} – суммарный остаток материала на сите d после продолжительности измельчения t , мин; β_0^{+d} – содержание того же класса крупности в исходном материале, т.е. при времени измельчения $t = 0$; n и k – параметры уравнения Товарова; n – зависит главным образом от свойств материала; k – определяется в основном предельной крупностью измельчения.

Чтобы воспользоваться уравнением Товарова для расчета продолжительности измельчения для получения продуктов заданной крупности необходимо определить численные значения параметров n и k . Для этого необходимо привести уравнение Товарова к виду

уравнения прямой путем двойного логарифмирования и для двух классов, например, +0,14 и + 0,074 мм (чтобы получить более точные результаты) определите значения параметров n и k . Для этого необходимо составить таблицу 10.3 для сит 0,14 и 0,074 мм, в которую необходимо занести данные для построения графика.

Значения $\beta_0^{+0,074}$ и $\beta_0^{+0,14}$ берутся из табл.10.2.

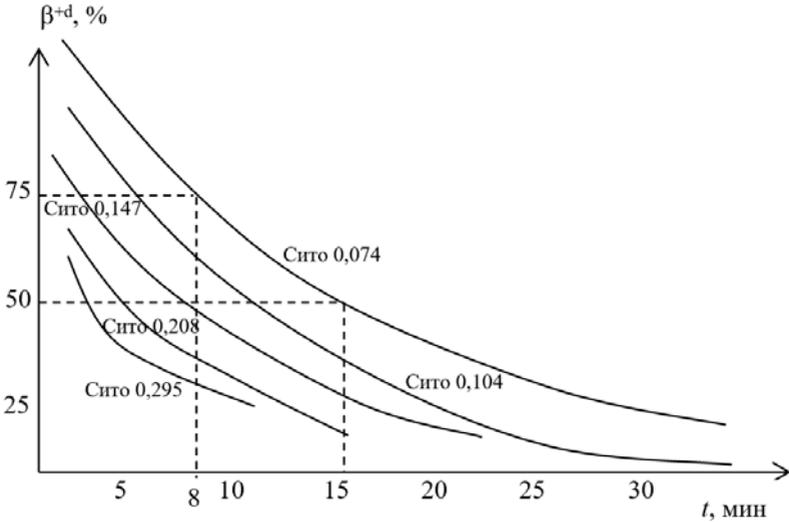


Рис. 10.2. Экспериментальные кривые кинетики измельчения.

По данным табл.10.4 построить графики (две аппроксимирующие прямые) в координатах:

$\lg t$ – по горизонтальной оси (ось абсцисс)

$\lg \lg (\beta_0^{+d} / \beta^{+d})$ – по вертикальной оси (ось ординат).

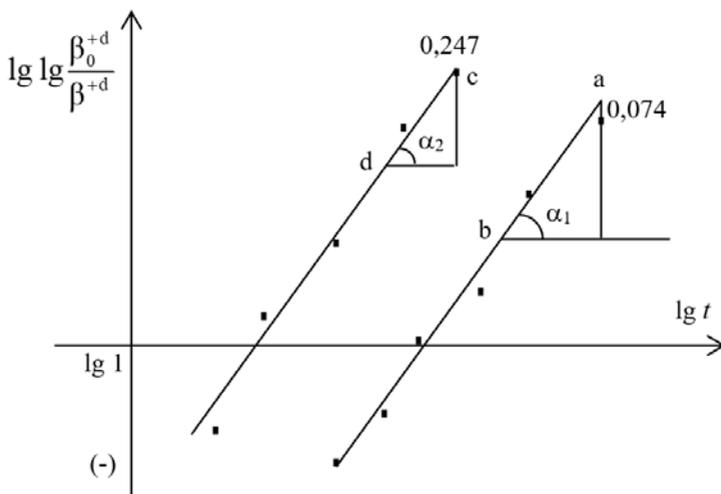


Рис. 10.3. Графики кинетики измельчения руды Товарова

Таблица 10.3

Логарифмы величин, входящих в уравнение кинетики Товарова

$t, \text{МИН}$	$lg \quad gt$	$\beta_{74}^{+0,0}$	$\frac{\beta_0^{+0,074}}{\beta^{+0,074}}$	$\frac{lg \quad \beta_0^{+0,074}}{\beta^{+0,074}}$	$\frac{lg \quad lg \quad \beta_0^{+0,074}}{\beta^{+0,074}}$	$\beta_4^{+0,1}$	$\frac{\beta_0^{+0,147}}{\beta^{+0,147}}$	$\frac{lg \quad \beta_0^{+0,14}}{\beta^{+0,14}}$	$\frac{lg \quad lg \quad \beta_0^{+0,14}}{\beta^{+0,14}}$
1	0								
2									
5									
10									
20									
30									

На прямых данного графика необходимо выбрать по две точки, лежащие на прямых, например, $a - b$ и $c - d$, и по возможности представляющие наибольшую разницу времени измельчения, чтобы получить результат как можно точнее.

Для этих точек, воспользовавшись данными таблицы 10.3, определить значения параметров n и k

$$n = \text{tga}, \text{ т.е. } n = \frac{\lg \lg \frac{\beta_0^{+d}}{\beta_2^{+d}} - \lg \lg \frac{\beta_0^{+d}}{\beta_1^{+d}}}{\lg t_2 - \lg t_1}$$

$$K = \frac{\lg \frac{\beta_0^{+d}}{\beta_{(1)}^{+d}}}{t_{(1)}^n \cdot \lg^e}$$

где $\beta_{(1)}^{+d}$ – содержание остатка на сите 0,074 и 0,147 мм после 1 минуты измельчения; $t_1 = 1$ мин. время измельчения.

Из двух значений параметров n и k найти среднее.

8. Определить расчетное время измельчения, которое обеспечит требуемое содержание в измельченном продукте расчетного класса в измельченном продукте. Это можно сделать двумя способами: а) По экспериментальным кривым кинетики измельчения, т.е. по рис. 10.3, как было показано раньше; б) По уравнению Товарова.

Сравнить полученные результаты и примите решение о времени измельчения исследуемой руды для дальнейших опытов при исследовании ее на обогатимость.

Обработка результатов.

По результатам опытов необходимо сделать выводы о полученных зависимостях и динамике содержания соответствующих классов в мельнице в процессе измельчения, оформить отчет (см. Введение).

Вопросы для самоконтроля

1. Вспомните формулу для расчета критического числа оборотов барабана мельницы и дайте определение этому важнейшему параметру.

2. Напишите формулу для расчета массы шаров в мельнице – $G_{ш}$. Какие параметры мельницы необходимо предварительно определить для расчета массы шаров в мельнице.

3. Напишите уравнение Товарова и объясните физический смысл параметров n и k , входящих в это уравнение. Как можно рассчитать их численные значения?

РАБОТА 11. ТЕСТ ПАДАЮЩЕГО ГРУЗА

Тест падающего груза (*Drop Weight Test, DWT*) предназначен для измерения функции разрушения (появления) руды в пяти фракциях крупности в диапазоне от 13 до 63 мм при различных величинах прикладываемой удельной энергии (от 0,1 до 2,5 кВт-ч/т) [13]. Результаты сводятся к определению параметров высокоэнергетического разрушения A , b и низкоэнергетического разрушения t_a которые характеризуют работу мельницы само / полусамоизмельчения. Параметры A , b и t_a характеризуют физико-механические свойства руды в компьютерном пакете для моделирования процессов рудоподготовки *JKSimMet*. Тестер падающего груза представлен на рисунке 11.1.

Цель работы – освоить методику теста падающего груза.

Необходимые оборудование и материалы: сухая дроблёная руда с максимальной крупностью не менее 63 мм, стандартный набор сит шкалы Тайлера (таблица 11.1), компрессор, ситовые анализаторы компании *Laarmann* модели *LMSM-200* и *LMSM-300/450* (Германия), лабораторные весы, испытательный ударный тест падающего груза компании *JKTech Pty Ltd* (Австралия) модель *JK Drop Weight Tester*.

Порядок выполнения работы

Пробоподготовка

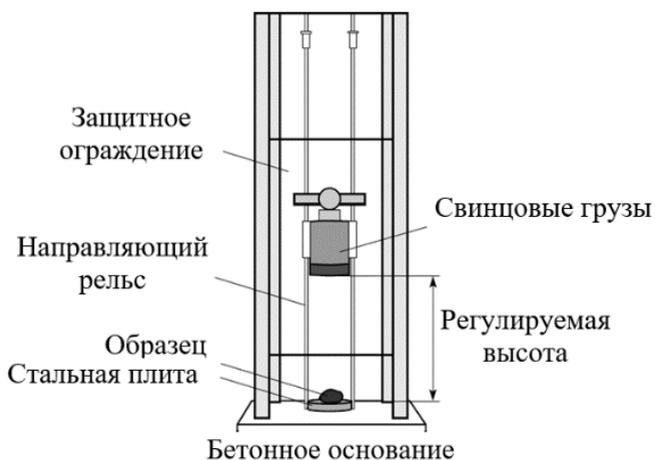


Рис. 11.2. Схема подготовки пробы для *DWT* теста

1. Исходная проба массой не менее 65 кг подвергается ситовому анализу на ситах с размерами ячеек 63; 53; 45; 37,5; 31,5; 26,5; 22,4; 19; 16; 13,2 мм. Класс крупности +63 мм, в случае его наличия, подвергается додроблению (см. схему проподготовки на Рисунке 11.2).

2. Из узких классов крупности, представленных в таблице 11.1, отобрать частицы правильной формы в количестве, необходимом для составления 15 наборов в различных классах крупности.

Таблица 11.1

Количество частиц в наборах *DWT*

Класс крупности, мм	Удельная энергия разрушения, кВт·ч/т					Сита для отсева продукта (из табл. 11.2)
	0,10	0,25	0,40	1,0	2,5	
-63+53	10 шт.	10 шт.	10 шт.	-	-	1-15
-45+37,5	15 шт.	15 шт.	-	15 шт.	-	2-16
-31,5+26,5	-	30 шт.	-	30 шт.	30 шт.	3-17
-22,4+19	-	30 шт.	-	30 шт.	30 шт.	4-18
-16+13,2	-	30 шт.	-	30 шт.	30 шт.	5-19

Таблица 11.2

Размеры ячеек сит, используемых в DWT тесте

№ п/п	Размер ячейки сита, мм	№ п/п	Размер ячейки сита, мм	№ п/п	Размер ячейки сита, мм
1	53,0	8	4,75	15	0,425
2	37,5	9	3,35	16	0,300
3	26,5	10	2,36	17	0,212
4	19,0	11	1,70	18	0,150
5	13,2	12	1,18	19	0,106
6	9,50	13	0,850	-	-
7	6,70	14	0,600	-	-

3. Для определения параметра низкоэнергетического разрушения t_a из классов крупности -53+45 и -45+37,5 мм необходимо составить два набора, по 1500±3 г каждый, общей массой 3000±5 г. Частицы полученной трехкилограммовой пробы необходимо взвесить по отдельности, результат записать в Таблицу Д1 (Приложение Д).

4. Оставшийся после пп. 1-3 материал убрать в остаток.

5. Каждый полученный класс крупности из п. 2 необходимо поделить на три набора методом «слепого отбора». В итоге из пяти классов крупности получится 15 наборов частиц.

6. Один из наборов класса крупности -31,5+26,5 мм используется для определения объемной плотности гидростатическим методом. Внесите полученные значения в Таблицу Д2 (Приложение Д) и поместите влажные частицы в сушильный шкаф и высушить при температуре 105±5 °С.

7. Наборы частиц, полученные в п. 5 и высушенный набор из п. 6 взвешиваются и дополняются сопроводительными листками с обозначением следующей информации: шифр уч. группы, дата, название теста, № набора частиц в рамках своего класса крупности, энергия разрушения набора частиц (см. таблицу 11.2), масса набора частиц. Так же необходимо определить среднюю массу частицы для каждого из наборов и полученную в данном пункте информацию внести в Таблицу Д4 (Приложение Д).

8. Определить массы компонентов грузов и баз с точностью до 0,1 г, рассчитать массы возможных комбинаций грузов и баз, записать полученные значения в Таблицу Д3 (Приложение Д). Контроль масс грузов произвести согласно пункта 14 Приложения К.

9. Для каждого из наборов в соответствии со средней массой частиц в нем, определить необходимые комбинации масс груза и высоты сбрасывания этого груза. Основой для определения удельной энергии разрушения является следующее уравнение:

$$E_{CS} = \frac{m_r \cdot g \cdot h_n}{3,6 \cdot m_q}, \text{ кВт-ч/т} \quad (11.1)$$

где E_{CS} – номинальная удельная энергия разрушения, кВт-ч/т; m_r – масса груза, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; h_n – номинальная высота сбрасывания груза, м; m_q – среднеарифметическая масса частиц в наборе, г; 3,6 – коэффициент перевода Дж/г в кВт-ч/т.

Из уравнения 11.1 номинальная высота сбрасывания равна:

$$h_n = 3,6 \frac{E_{CS} \cdot m_q}{m_r \cdot g}, \text{ м} \quad (11.2)$$

Пользуясь данной формулой для каждого набора частиц необходимо выбрать массу груза m_r таким образом, чтобы номинальная высота сбрасывания h_n лежала в пределах 20-100 см (т.к. только в этом диапазоне можно установить груз в тестере), при этом, если имеется возможность, высоту нужно выбирать в пределах 40-80 см. Часто номинальная высота h_n , даже при использовании груза массой 50 кг, превышает допустимые 100 см. В такой ситуации нужно производить разрушение частиц 50-ти килограммовым грузом с высоты 100 см и сделать пересчет номинальной удельной энергии для данного набора частиц по уравнению 11.1 с соответствующими величинами.

После падения груз будет покоиться на разрушенных частицах. Следовательно, фактическая высота падения груза будет отличаться от высоты сбрасывания груза на высоту подушки разрушенных частиц (т.н. остаточную высоту). В процессе разрушения частиц каждого набора, измеряются первые 10 остаточных высот, из которых вычисляется среднеарифметическая, после этого используется

следующее уравнение для определения фактической высоты падения груза:

$$h_{\text{ф}} = h_{\text{н}} - h_{\text{ост}}, \text{ м}$$

(11.3)

где $h_{\text{н}}$ – высота сбрасывания груза, м; $h_{\text{ост}}$ – средняя остаточная высота, м.

Данная корректировка высоты используется в дальнейшем при вычислении фактической удельной энергии разрушения (аналогично уравнению 11.1):

$$E_{\text{CS}}^{\text{факт}} = \frac{m_{\text{г}} \cdot g \cdot h_{\text{ф}}}{3,6 \cdot m_{\text{ч}}}, \text{ кВт-ч/т}$$

(11.4)

Разрушение наборов частиц

По окончании подготовки наборов руды необходимо подключить к системе тестеру падающего груза компрессор и провести осмотр тестера на готовность к работе (см. Приложение К).

10. Установить необходимую базу (*LB* - легкую массой 2,7 кг или *HB* - тяжелую массой 15 кг) на направляющие. Для этого необходимо выкрутить оба направляющих рельса из основания, поднять правый рельс, завести под него базу правым отверстием, опустить рельс, повторить с левым направляющим рельсом, туго закрутить с помощью гаечного ключа оба рельса в основание.

11. Откалибровать указатель, расположенный на базе груза в положение «0» относительно вспомогательной линейки.

12. Разрушать наборы можно в любом удобном порядке, но лучше упорядочить наборы согласно массам грузов, устанавливаемых на тестер с целью уменьшения общих трудозатрат. Предварительно необходимо подготовить Таблицу Д5 и Д6 (Приложение Д) для каждого из пяти классов крупности. Установить расчетную высоту для разрушаемого набора. Для этого: убрать посторонние предметы из рабочей зоны, проверить, что планка удержания груза свободно скользит по направляющим, плотно закрыть дверцу защитного ограждения; лебедкой поднять планку высоты, немного меньше расчетной; поднять дверцу защитного кожуха, отжав ручную предохранительный блокировщик в ее правом верхнем углу;

вручную довести планку до заданной высоты и туго затянуть ее крепление.

13. Установить необходимые диски на базу груза для получения заданной массы разрушаемого набора частиц. В случае использования тяжелой базы, перед размещением свинцовых дисков в корпус базы, необходимо достать из нее прижимной стальной диск, который в рабочем положении должен находиться между верхним свинцовым диском и прижимной контргайкой. Для манипуляций со свинцовыми дисками тяжелой базы пользуйтесь специнструментом в виде штифтов с резьбой.

14. При необходимости – смазать направляющие сухой графитовой смазкой.

15. Закрыть дверцу защитного кожуха.

16. Лебедкой поднять груз на высоту 20-30 см над стальной плитой.

17. Открыть дверцу защитного кожуха, сняв ее с блокировки ручкой, расположенной на правой стенке кожуха.

18. Приступить к разрушению частиц. Для этого: щипами расположить частицу в центре стальной плиты в наиболее устойчивой ориентации; закрыть дверцу защитного кожуха; поднять груз до планки удержания груза на установленной высоте; проверить, что на пути движения груза нет посторонних предметов; нажать кнопку сброса груза; после разрушения (для 1-10 частицы) зафиксировать остаточную высоту; лебедкой поднять груз на 20-30 см; открыть дверцу защитного кожуха; пневмопистолетом при минимальном потоке воздуха сдуть мелкие частицы с основания по линии соприкосновения защитной дверцы; кистью расчистить стальную плиту; проверить отсутствие налипших частиц на стальной плите груза.

19. Повторить п. 18 для всех частиц из разрушаемого набора.

20. Тщательно собрать все разрушенные частицы в приемный короб расположенный под плитой (сдуть мелкие частицы из труднодоступных зон можно пневмопистолетом при минимальном потоке воздуха).

21. Произвести гранулометрический анализ продукта разрушения на ситовом наборе, представленном в табл. 11.2.

22. При необходимости изменения массы груза: открепить планку сбрасывания груза от направляющих и осторожно опустить ее на груз. Под грузом щипцами разместить резиновую шайбу, закрыть защитный кожух и опустить груз на высоту 2-3 см над резиновой шайбой; произвести сбрасывание груза; вручную отжать блокировщик скользящей дверцы, открыть ее; заменить грузы и/или базу.

23. Повторить пп. 11-22 для всех наборов частиц.

24. Снять все диски и груз с направляющих.

25. Протереть внутренние поверхности тестера влажной тряпкой и просушить их пневмепистолетом при сильном потоке воздуха.

26. Поднять лебедку в верхнее положение до упора.

27. Отключить компрессор от пневмосистемы тестера.

28. Сбросить давление в пневмосистеме тестера.

Низкоэнергетическое разрушение

Провести испытание на показатель низкоэнергетического разрушения. Для этого: пробу материала из п. 3 поместить в стандартизованную мельницу 305×305 мм, оснащенной лифтерами 4×6 мм; время измельчения на рольганге 10 минут при частоте вращения 53 мин⁻¹ (196 Гц); выгрузить материал и провести гранулометрический анализ на ситах № 2-15 из табл. 11.2 (результаты записать в Таблицу Д7) на основании которого определяется величина t_{10} .

Обработка результатов

1. Посчитать среднеарифметические остаточные высоты для каждого из разрушенных наборов частиц (здесь и далее использовать Таблицы Д4-Д5 из Приложения Г).

2. Посчитать фактические высоты падения h_{ϕ} для каждого из наборов частиц по уравнению 11.3.

3. Посчитать фактические удельные энергии разрушения для каждого из наборов по уравнению 11.4.

4. Рассчитать параметр t_{10} для каждого из наборов частиц по следующей формуле:

$$t_{10} = \gamma_{d/10}, \%$$

(11.5)

где $\gamma_{d/10}$ – выход класса крупности $-d/10$ в продукте разрушения набора частиц (например, для всех наборов класса крупности $-63+53$ мм параметром t_{10} будет являться выход класса $-5,8$ мм в продукте разрушения).

5. Построить совмещенные гранулометрические характеристики для продуктов каждого отдельного класса крупности (см. пример на рисунке 11.3).

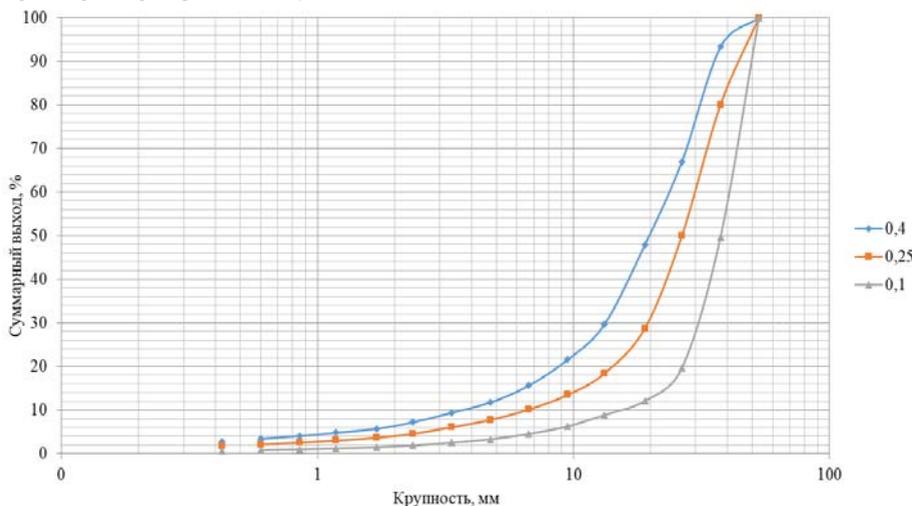


Рисунок 11.3. Гранулометрические характеристики продуктов наборов $-63+53$ мм

6. Построить графики зависимостей $t_{10}=f(d)$ для значений энергий 0,25; 1,0 и 2,5 кВт-ч/т (см. пример на рисунке 11.4).

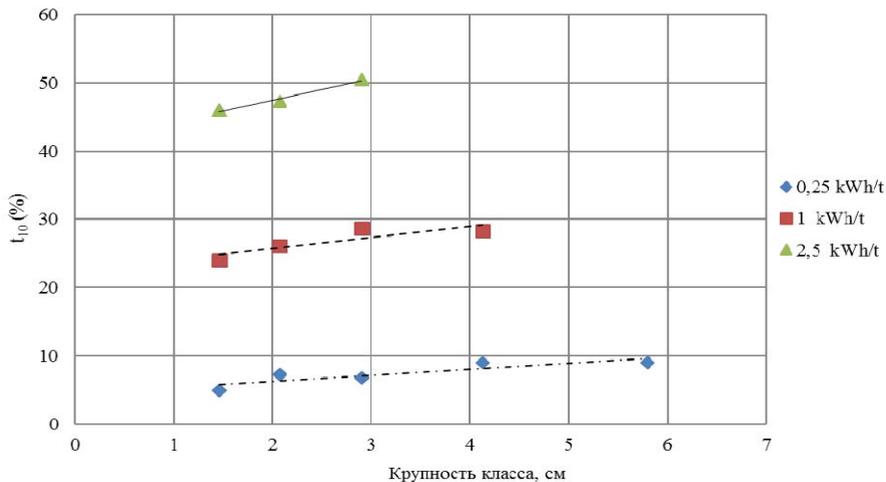
7. Построить 15 точек для каждого из наборов частиц в системе координат $t_{10}=f(E_{cs})$ (см. Рисунок 11.5 (точки t_{10})).

8. Зависимость t_{10} от E_{cs} , представленная на рисунке 11.5 может быть аппроксимирована методом наименьших квадратов к уравнению следующего вида:

$$t_{10} = A \cdot (1 - e^{-b \cdot E_{cs}}) \quad (11.6)$$

Уравнение 11.6 является основным в теоретическом базисе теста падающего груза. Константы A и b характеризуют ударную прочность частиц. При этом параметр A является пределом функции $t_{10} = f(E_{cs})$, а b отвечает за ее кривизну. Величина произведения $A \cdot b$

определяет наклон зависимости в «нулевой» точке и используется при классификации руд по крепости в плане сопротивления высокоэнергетическому разрушению, а низкоэнергетическому разрушению



соответствует параметр t_a (см. табл. 11.3).

Рисунок 11.4. Изменение устойчивости к ударному разрушению в зависимости от крупности частиц

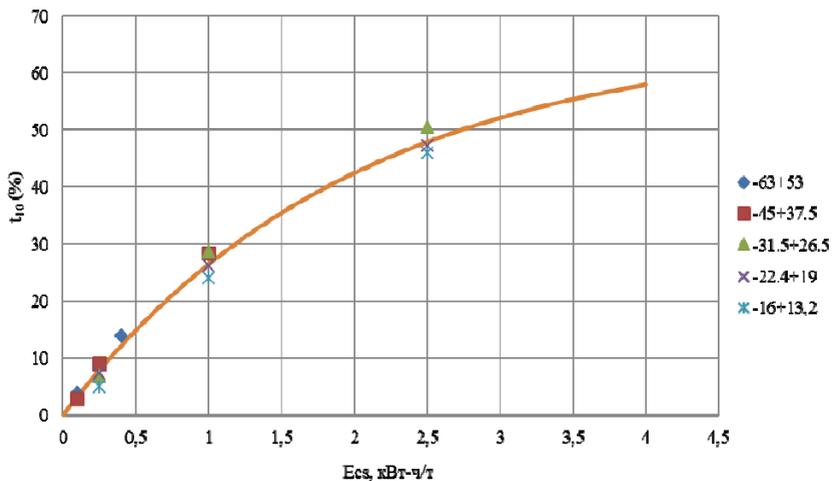


Рис. 11.5. Энергокрупностная зависимость $t_{10} = f(E_{CS})$

Таблица 11.3

Классификация крепости руд по параметрам $A \cdot b$ и t_a

JKDWT тест							
Тип руды	Очень твердая	Твердая	Умеренно твердая	Средняя	Умеренно мягкая	Мягкая	Очень мягкая
%	100 - 90	90 - 70	70 - 60	60 - 40	40 - 30	30 - 10	10 - 0
t_a	менее 0.23	0.23 - 0.35	0.35 - 0.40	0.40 - 0.53	0.53 - 0.64	0.64 - 1.18	более 1.18
$A \cdot b$	менее 27.7	27.7 - 35.9	35.9 - 40.4	40.4 - 52.2	52.2 - 61.1	61.1 - 109.6	более 109.6

9. Определить параметр t_{10} для материала, подвергнутого испытанию на низкоэнергетическое разрушение и с помощью него определить параметр низкоэнергетического разрушения t_a по следующему уравнению:

$$t_a = t_{10} / 10 \quad (11.7)$$

Средний размер образцов во фракции $-53+37,5$ мм составляет 45,3 мм. Таким образом, t_{10} определяется как процент просева через сито:

$$1/10 \times 45,3 = 4,53 \text{ мм}$$

Сделать вывод о крепости тестируемой руды по результатам полученных параметров высокоэнергетического и низкоэнергетического сопротивления разрушению, согласно классификации, приведенной в таблице 11.3.

Вопросы для самоконтроля

1. Поясните физический смысл констант A и b в уравнении

$$t_{10} = A \cdot \left(1 - e^{-b \cdot E_{cs}}\right)$$

2. Как найти константы A и b ?

3. Каков физический смысл функции появления?

4. Что характеризует параметр t_a ?

РАБОТА 12. SMC ТЕСТ

Тест *SMC* (*SAG Mill Comminution*) был разработан Стивом Морреллом из компании *SMCTesting Pty Ltd* (*SMCT*) как экономичный способ оценки параметров A , b и t_{10} на пробах, представленных буровым керном, либо для случаев, когда объем пробы недостаточен для проведения полного теста падающего груза [14].

Цель работы – освоение методики оценки прочностных свойств минерального сырья по методике *SMC* теста.

Необходимые оборудование и материалы – сухая, дроблёная руда с максимальной крупностью предпочтительно не менее 40 мм (или куски кернов диаметром от 32 до 69,4 мм) массой не менее 30 кг, стандартный набор сит шкалы Тайлера, компрессор, ситовые анализаторы компании *Laarmann* модели *LMSM-200* и *LMSM-300/450* (Германия), лабораторные весы, испытательный ударный тест падающего груза компании *JKTech Pty Ltd* (Австралия) модель *JK Drop Weight Tester* (рис. 11.1).

Первоначальное предназначение теста SMC было в получении параметров *A* и *b* на материале, представленном керном. В случае работы с керовым материалом, столбцы керна разрезают алмазной пилой по линии оси на 4 части под прямым углом, после чего делят полученные столбцы на одинаковые частицы. Не все пробы могут быть подготовлены способом резки керна. Для этого необходимо выполнение следующих условий:

- КERN должен быть достаточно прочным, чтобы не крошиться и не раскалываться в процессе резки.

- Диаметр исходного керна не должен превышать 70 мм, иначе четвертинки будут слишком велики для обеспечения необходимой энергии удара.

В большинстве случаев использование максимальной энергии удара несколько ниже 3.5 кВт-ч/т, что не является критичным, однако если диаметр керна близок к 70 мм, руда дополнительно характеризуется высокой плотностью, а материала достаточно, то, во избежание потенциальных проблем, способ дробления и отбора кусков может рассматриваться как предпочтительный. При подготовке проб обоими способами целевой объем кусков выбирается таким образом, чтобы одна десятая исходного размера кусков соответствовала одному из стандартных сит. Таким образом, после ударного разрушения набора кусков величина t_{10} может быть определена путем отсева всего на одном сите. Размеры исходных частиц при резке рекомендованы компанией SMCT и подробно описаны в их методологии [16].

В данной лабораторной работе подробно будет рассмотрен лишь способ проведения SMC теста на исходной пробе, представленной дробленным материалом.

Пробоподготовка

1. Для исходной пробы необходимо провести ситовой анализ на ситах с размерами ячеек 31,5; 26,5; 22,4; 19; 16; 13,2 мм (Рис. 12.2).

2. Если количество частиц в классе крупности $-31,5+26,5$ мм составляет более 250 шт., то необходимо проводить тестирование на этом классе крупности, если менее 250 шт. – необходимо попытаться додробить класс крупности $+31,5$ мм до получения необходимого количества частиц, в обратном случае – перейти на класс крупности $-22,4+19$ мм. В крайнем случае, можно использовать класс крупности $-16+13,2$ мм, однако следует понимать, что результаты тестирования с использованием этого класса крупности характеризуются пониженным уровнем достоверности.

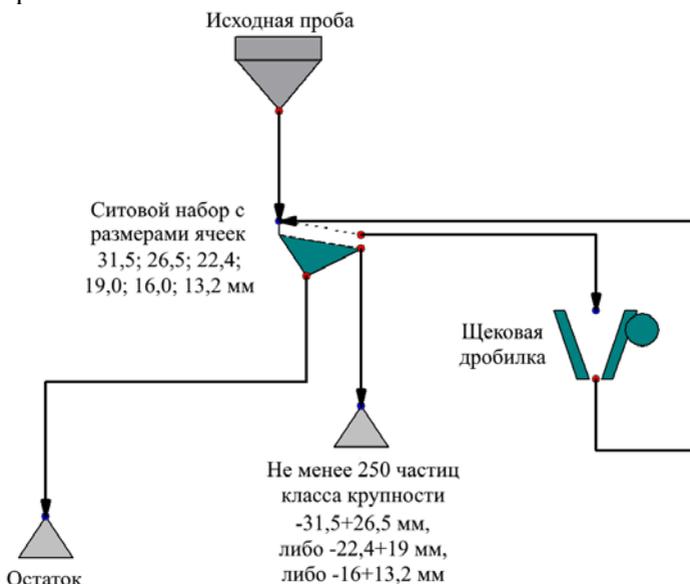


Рис. 12.2. Схема подготовки пробы для SMC теста

3. Из отобранных частиц следует изъять частицы неправильной и лещадной формы, а частицы правильной формы приготовить к взвешиванию.

4. Из частиц правильной формы методом «слепого отбора» следует отобрать набор из 30 частиц и гидростатическим методом определить их объемную плотность. При определении плотности можно разделить набор на 5-10 групп с одинаковым количеством частиц. Из полученных значений определить среднеарифметическое значение объемной плотности. После определения объемной плотности частицы поместить в сушильный шкаф и высушить при температуре 105 ± 5 °C.

5. Определить целевую массу куска по формуле 12.1:

$$m_{\text{ч}} = v_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{пр}}, \text{ г} \quad (12.1)$$

где $v_{\text{ч}}$ – целевой объем частицы, равный

$v_{\text{ч}} = 29,0 \text{ см}^3$ для класса крупности -31,5+26,5 мм;

$v_{\text{ч}} = 20,7 \text{ см}^3$ для класса крупности -22,4+19,0 мм;

$v_{\text{ч}} = 14,6 \text{ см}^3$ для класса крупности -16,0+13,2 мм;

$\rho_{\text{пр}}$ – плотность пробы, определенная в п.4, г/см^3 .

6. Определить границы целевого диапазона масс частиц по формулам 12.2 и 12.3:

$$m_{\text{ч}}^{\text{min}} = 0,7 \cdot m_{\text{ч}}, \text{ г} \quad (12.2)$$

$$m_{\text{ч}}^{\text{max}} = 1,3 \cdot m_{\text{ч}}, \text{ г} \quad (12.3)$$

где $m_{\text{ч}}^{\text{min}}$ и $m_{\text{ч}}^{\text{max}}$ – минимально и максимально допустимые массы частиц в данном *SMC* тесте.

7. Взвешиванием частиц, полученных в пп. 3 и 4, отобрать частицы, входящие в целевой диапазон масс.

8. Когда количество частиц, входящих в целевой диапазон, достигнет 100 шт., взвешивание можно прекратить, оставшиеся частицы убрать в остаток.

9. Определить границы целевого диапазона масс наборов частиц по формулам 12.4 и 12.5:

$$m_{\text{наб}}^{\text{min}} = 0,9 \cdot 20 \cdot m_{\text{ч}}, \text{ г} \quad (12.4)$$

$$m_{\text{наб}}^{\text{max}} = 1,1 \cdot 20 \cdot m_{\text{ч}}, \text{ г} \quad (12.5)$$

где $m_{\text{наб}}^{\text{min}}$ и $m_{\text{наб}}^{\text{max}}$ – минимально и максимально допустимые массы наборов частиц в данном *SMC* тесте.

10. Методом слепого отбора разделить 100 частиц из п. 7 на 5 наборов по 20 частиц.

11. Полученные наборы необходимо взвесить, если какой-либо из них не входит в целевой диапазон масс, все наборы смешать и повторить п. 10. Если же все наборы соответствуют целевому диапазону по своим массам, то их необходимо дополнить сопроводительными листами с обозначением следующей информации: шифр уч. группы, дата, название теста, № набора частиц, энергия разрушения набора частиц (до выполнения пункта 16 – оставить незаполненным), масса набора частиц.

12. Определить массы компонентов тяжелого (*HB*) и легкого (*LB*) грузов и пригрузов к ним с точностью до 0,1 г, рассчитать массы возможных комбинаций груза и записать полученные значения в Таблицу ДЗ (Приложение Д).

13. Для каждого из наборов в соответствии со средней массой частиц в нем, определить необходимые комбинации масс груза и высоты сбрасывания этого груза. Основой для определения удельной энергии разрушения является следующее уравнение:

$$E_{cs} = \frac{m_r \cdot g \cdot h_n}{3,6 \cdot m_q}, \text{ кВт-ч/г} \quad (12.6)$$

где E_{cs} – номинальная удельная энергия разрушения, кВт-ч/г; m_r – масса груза, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; h_n – номинальная высота сбрасывания груза, м; m_q – среднеарифметическая масса частиц в наборе, г; 3,6 – коэффициент перевода Дж/г в кВт-ч/г.

Из уравнения 12.6 номинальная высота сбрасывания равна:

$$h_n = 3,6 \frac{E_{cs} \cdot m_q}{m_r \cdot g}, \text{ м} \quad (12.7)$$

14. Пользуясь данной формулой для каждого набора частиц необходимо выбрать массу груза m_r таким образом, чтобы номинальная высота сбрасывания h_n лежала в пределах 20-100 см (т.к. только в этом диапазоне можно установить груз в тестере), при этом, если имеется возможность, высоту нужно выбирать в пределах

40-80 см. Иногда номинальная высота h_n , даже при использовании груза массой 50 кг, превышает допустимые 100 см. В такой ситуации нужно производить разрушение частиц 50-ти килограммовым грузом с высоты 100 см и сделать пересчет номинальной удельной энергии для данного набора частиц по уравнению 12.6 с соответствующими величинами.

После падения груз будет покоиться на разрушенных частицах. Следовательно, фактическая высота падения груза будет отличаться от высоты сбрасывания груза на высоту подушки разрушенных частиц (т.н. остаточную высоту). В процессе разрушения частиц каждого набора, измеряются все 20 остаточных высот, из которых вычисляется среднеарифметическая, после этого используется следующее уравнение для определения фактической высоты падения груза:

$$h_{\phi} = h_n - h_{\text{ост}}, \text{ м} \quad (12.8)$$

где h_n – высота сбрасывания груза, м; $h_{\text{ост}}$ – средняя остаточная высота, м.

Данная корректировка высоты используется в дальнейшем при вычислении фактической удельной энергии разрушения (аналогично уравнению 12.6):

$$E_{\text{CS}}^{\text{факт}} = \frac{m_r \cdot g \cdot h_{\phi}}{3,6 \cdot m_{\text{ч}}}, \text{ м} \quad (12.9)$$

Разрушение наборов частиц

15. По окончании подготовки наборов необходимо подключить к системе тестеру падающего груза компрессор и провести осмотр тестера на готовность к работе (Приложение К).

16. Установить необходимую базу (*LB* - легкую массой 2,7 кг или *NB* - тяжелую массой 15 кг) на направляющие. Для этого необходимо выкрутить оба направляющих рельса из основания, поднять правый рельс, завести под него базу правым отверстием, опустить рельс, повторить с левым направляющим рельсом, туго закрутить с помощью гаечного ключа оба рельса в основание.

17. Откалибровать указатель, расположенный на базе груза в положение «0» относительно вспомогательной линейки.

18. Разрушать наборы можно в любом удобном порядке. Предварительно необходимо подготовить Таблицу Д8 (Приложение Д) Установить расчетную высоту для разрушаемого набора. Для этого: убрать посторонние предметы из рабочей зоны, проверить, что планка удержания груза свободно скользит по направляющим, плотно закрыть дверцу защитного ограждения; лебедкой поднять планку высоты, немного меньше расчетной; поднять дверцу защитного кожуха, отжав ручную предохранительный блокировщик в ее правом верхнем углу; ручную довести планку до заданной высоты и туго затянуть ее крепление.

19. Установить необходимые пригрузки на тяжелую или легкую базу груза для получения заданной массы разрушаемого набора частиц. В случае использования тяжелой базы, перед опусканием пригрузов в корпус базы, необходимо достать из нее прижимной стальной диск, который в рабочем положении должен находиться между верхним свинцовым диском и прижимной контргайкой. Для манипуляций со свинцовыми пригрузами тяжелой базы пользуйтесь специнструментом.

20. При необходимости – смазать направляющие графитовой смазкой.

21. Закрыть дверцу защитного кожуха.

22. Лебедкой поднять груз на высоту 20-30 см над стальной плитой.

23. Открыть дверцу защитного кожуха, сняв ее с блокировки ручкой, расположенной на правой стенке кожуха.

24. Приступить к разрушению частиц. Для этого: щипцами расположить частицу в центре стальной плиты в наиболее устойчивой ориентации; закрыть дверцу защитного кожуха; поднять груз до планки удержания груза; проверить, что на пути движения груза нет посторонних предметов; нажать кнопку сброса груза; после разрушения зафиксировать остаточную высоту; лебедкой поднять груз на 20-30 см; открыть дверцу защитного кожуха; пневмопистолетом при минимальном потоке воздуха сдуть мелкие частицы с основания по линии соприкосновения защитной дверцы; кистью расчистить стальную плиту; проверить отсутствие налипших

частиц на стальной плите груза. В случае, если визуально от частицы откололось менее 30% объема, необходимо по окончании теста внести сумму таких частиц в строку «Количество нерасколотых частиц». Если же кусок остался совершенно целым, необходимо зафиксировать общее количество таких случаев для всего набора в строке «Количество неразрушенных частиц». Удар по неразрушенному куску необходимо повторить.

25. Повторить п. 27 для всех частиц из разрушаемого набора.

26. Тщательно собрать все разрушенные частицы в приемный короб (сдуть мелкие частицы из труднодоступных зон можно пневмопистолетом при минимальном потоке воздуха).

27. Произвести гранулометрический анализ продукта разрушения на сите с размером ячейки в 10 раз меньшем, чем средневзвешенный размер куска в выбранном классе крупности материала (этот размер указан Таблице Д8).

28. При необходимости изменения массы груза: открепить планку сбрасывания груза от направляющих и осторожно опустить ее на груз. Под грузом щипцами разместить резиновую шайбу, закрыть защитный кожух и опустить груз на высоту 2-3 см над шайбой; произвести сбрасывание груза; вручную отжать блокировщик скользящей дверцы, открыть ее; заменить пригрузки и/или базу.

29. Повторить пункты 20-29 для каждого набора частиц.

30. Снять все пригрузки и груз с направляющих.

31. Протереть внутренние поверхности тестера влажной тряпкой и просушить их пневмопистолетом при сильном потоке воздуха.

32. Поднять лебедку в верхнее положение до упора.

33. Отключить компрессор от пневмосистемы тестера.

34. Сбросить давление в пневмосистеме тестера.

Обработка результатов

1. Посчитать среднеарифметические остаточные высоты для каждого из разрушенных наборов частиц (здесь и далее использовать Таблицу Д8 из Приложения Д).

2. Обработать результаты ситовых анализов, рассчитать параметр t_{10} .

3. Рассчитать средние остаточные высоты для каждого из наборов.

4. Рассчитать фактические высоты падения груза для каждого из наборов, используя уравнение 12.8.

5. Рассчитать фактическую энергию разрушения частиц каждого из наборов, используя уравнение 12.9.

6. Построить 5 точек для каждого из наборов частиц в системе координат $t_{10} = f(E_{cs})$, см. пример на Рисунке 11.2 (точки).

7. Аппроксимировать зависимость t_{10} от E_{cs} методом наименьших квадратов к уравнению 11.6.

8. Уравнение 11.6 является основным в теоретическом базисе теста падающего груза. Константы A и b характеризуют ударную прочность частиц. При этом параметр A является пределом функции $t_{10} = f(E_{CS})$, а b отвечает за ее кривизну. Величина произведения $A \cdot b$ определяет наклон зависимости в «нулевой» точке и используется при классификации руд по крепости в плане сопротивления высокоэнергетическому разрушению (см. табл. 11.3).

Параметр низкоэнергетического разрушения t_a может быть получен на основе статистической обработки комплексной базы тестов $DWT+SMC$, имеющейся в распоряжении компании $SMCT$ или по аналогии с пунктом «Низкоэнергетическое разрушение» лабораторной работы № 11 (стр. 58).

Сделать вывод о крепости тестируемой руды по результатам полученных параметров высокоэнергетического сопротивления разрушению, согласно классификации, приведенной в таблице 11.3.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключаются основные отличия между методиками проведения теста падающего груза и SMC теста?

2. В чем заключаются основные преимущества и недостатки теста падающего груза и SMC тестов друг относительно друга?

3. Какой класс крупности предпочтителен к выбору при проведении SMC теста?

РАБОТА 13. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ *ISAMILL*

Цель работы – ознакомиться с принципом работы мельницы тонкого измельчения, работающей по технологии *IsaMill*.

Оборудование – Лабораторная мельница для тонкого и сверхтонкого измельчения модель *M4 IsaMill* (Германия) [15], сухая руда массой 13-15 кг с F_{80} согласно таблице 14.1, керамическая измельчающая среда согласно таблице 14.2, делитель желобчатый, стандартный набор сит по шкале Тайлера, ситовые анализаторы компании *Laarmann* модели *LMSM-200* и *LMSM-300/450* (Германия), компрессор, лазерный гранулометр *Mastersizer 2000* (Англия), лабораторные весы, весы Марси, ведра объемом 30 л.

Таблица 13.1

Выбор максимальной крупности измельчаемой среды в зависимости от гранулометрического состава исходного питания

Крупность F_{80} , мкм	Максимальная крупность измельчаемой среды (бисера), мм
0-75	2
75-120	3,5
>120	5

Таблица 13.2

Пропорции керамической мелящей среды различной крупности

Крупность питания F_{80} , мкм	Пропорции керамической среды
0-75	70% бисера 2,0 мм 30% бисера 1,5 мм
75-120	70% бисера 3,5 мм 25% бисера 2,0 мм 5% бисера 1,5 мм
>120	70% бисера 5 мм 25% бисера 3,5 мм 5% бисера 2,0 мм

Методика проведения измельчения

Перед началом работы необходимо иметь откалиброванные оптические характеристики исходной пробы для гранулометра *Mastersizer 2000*, подготовить таблицу для записи результатов проведенных испытаний (таблица 13.3) и определить удельный вес (SG) на весах системы Марси (методику смотри в Приложении Е).

1. Закрывать мельницу. Барабан мельницы закрепить тремя болтами (см. Рис. 13.1). Обратите внимание на то, чтобы уплотнительное кольцо, лежащее в пазу на плоскости прилегания барабана мельницы к корпусу, не выпало из него при закрытии мельницы.



Рис.13.1. Мельница *M4 IsaMill* в разобранном виде

2. Установить температурный датчик на разгрузочной стороне барабана мельницы. Проверить правильность установки датчика давления. Лимиты значений температуры и давления обозначены на шкале красными стрелками. Критическим значением температуры является температура 70°C, давления – 2 бара (см. Рис. 13.2). При достижении или превышении данных значений мельница остановится. Дальнейшая работа с аппаратом возможна только при нормализации показателей прибора. Нормальным давлением для работы мельницы является давление в диапазоне от 0,1 до 1,5 бар, при температуре 40 -45 °С.

3. Включить электропитание в лаборатории.

4. Подключить мельницу и насосную установку к электропитанию.

5. Включить компрессор, подключить его к пневмосистеме мельницы *M4 IsaMill*.

6. Проверить в баке уровень жидкости, предназначенной для охлаждения сальника. Данная жидкость представляет собой смесь антифриза и воды в отношении 1:1. Нормальный уровень охлаждающей жидкости в баке составляет 2,5-4 л.



Рис.13.2. Датчики температуры и давления



Рис.13.3. Нормальный уровень жидкости в баке для охлаждения

7. Открыть задвижку для подачи воздуха.
8. Открыть задвижку для подачи воды в мельницу.
9. Включить питание распределительного шкафа мельницы *M4 IsaMill*. При его включении загорится зеленый индикатор.
10. Снять блокировку на пульте управления мельницей поворотом ключа до зеленой отметки. После того как начнут мигать две зеленых индикатора снизу и два красных - сверху, нажать «Reset».
11. Проверить правильность положения всех переключателей на блоке управления. Мельница работает в режиме «II». Переключатель для измерения мощности должен быть установлен в режиме « W_h » (см. рис. 13.4). Правую часть переключателей не трогать (т.к. насос еще не подключен).



Рис.13.4. Блок управления

12. Разогреть мельницу в течение 10-15 мин.

13. Измерить NPL (мощность, потребляемую мельницей без загрузки): обнулить счетчик и снять показания W_h спустя 10 мин (повторить это 2 раза).

$$NLP = \frac{W_h}{t_0 \cdot 1000}, \text{ кВт} \quad (13.1)$$

где W_h – среднеарифметическое энергопотребление мельницы при холостом ходе, Вт·ч; t_0 – среднеарифметическое время замера холостого хода, ч. При правильной работе мельницы NLP составляет около 1 кВт. Начните заполнять протокол испытания в соответствии с таблицей 13.3.

14. Включить насосную установку. Необходимая масса пробы составляет 13-15 кг. В зависимости от массы имеющейся пробы в Бак A (Рис. 13.5) налить количество воды, соответствующее массе исходного материала для измельчения (для получения 50%_{об}). Включить Мешалку A . Постепенно, небольшими порциями, засыпать исходный материал в Бак A . Необходимо следить за тщательным перемешиванием пробы с водой. Открыть Задвижку A

15. Включить насос для перекачки пульпы, конец шланга продукта насоса воткнуть в питающий патрубок Бака A (разгрузка в этот же бак: задвижки E, G, C – закрыты; H, F, D – открыты)

16. Отобрать исходную пробу для определения гранулометрического состава исходного питания, произвести замер плотности пульпы весами системы Марси. После определения крупности исходного питания подбираем фракционированную измельчающую среду общим объемом 2,5л.

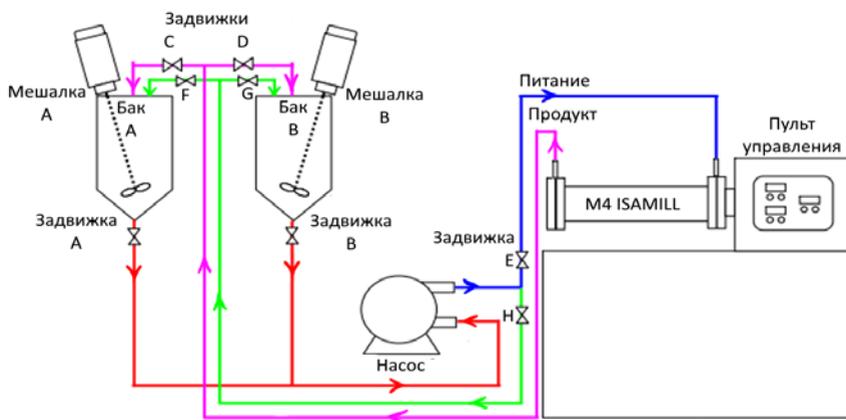


Рис.13.5. Схема установки мельницы *M4 IsaMill*.

17. Загрузить измельчающую среду в мельницу. В случае застревания шаров между дисками и барабаном мельницы, следует немного прокрутить барабан, нажав на кнопку «Start».

18. На данном этапе нужно будет отключить насос и оперативно «перебросить» шланг продукта насоса на патрубок питания мельницы (закрыть задвижку *H*, открыть задвижку *E*) и запустить насос. При этом пульпа после запуска насоса должна будет проходить путь «Бак *A* – Насос – Питание мельницы – Разгрузка мельницы – Бак *B*». Не допускается включать мельницу со средой без пульпы! Только когда пульпа по шлангу дойдет до барабана мельницы нужно нажать кнопку «Reset» и запустить мельницу и таймер. Рекомендуемая скорость вращения вала составляет 1500-1525 об/мин. Полным временем измельчения считать время, при котором пульпа из загрузочного бака полностью перекачается (часть пульпы остается в мельнице) и перестанет разгружаться из приемного патрубка Бака *B*.

19. Отобрать пробу для определения гранулометрического состава измельченного материала в течении 1-го цикла, когда уровни пульпы в обоих баках станут примерно одинаковыми.

20. Выключить насос и остановить секундомер только когда питание, идущее из задвижки *D*, перестанет поступать в Бак *B*, зафиксировать потребленную мощность цикла W_i .

21. Если желаемая крупность продукта по результатам granulометрического анализа не достигнута, можно начинать следующий цикл измельчения: повторяем п.17-24 для последующих опытов с учетом замены маркировок следующих задвижек: ($A \Leftrightarrow B$, $C \Leftrightarrow D$, $F \Leftrightarrow G$). Однако, для получения достоверной энергокрупностной кривой, рекомендуется провести по меньшей мере 5-6 циклов измельчения.

22. По завершении всех циклов, слив материала произвести насосом, опустив шланг его продукта в пластиковое ведро.

Таблица 13.3

Протокол проведения испытаний

Параметр	Обозначение	Ед. изм	№ цикла = i		
			1	2	...
Температура пульпы	T	°С			
Давление пульпы	P	бар			
Масса пробы	M	кг			
Объем воды	V	л			
Удельный вес твердого	SG	т/м ³			
Содержание твердого	Sol	% _{ТВ}			
Частота насоса	N	Гц			
Энергия холостого хода	Wh	Втч			
Время холостого хода	t_0	ч			
Мощность холостого хода	NLP	кВт			
Время измельчения	t	ч			
Энергия измельчения	W	Втч			
Полная мощность измельчения	Wf	кВт			
Чистая мощность измельчения	Wc	кВт			
Удельная энергия измельчения	E	кВтч/т			
Производительность по пульпе	$Q^{пульп}$	м ³ /ч			
Производительность по тв.	$Q^{ТВ}$	т/ч			
Суммарная удельная энергия измельчения	E^{cum}	кВтч/т			
Параметр крупности	P_{80}	мкм			

Очистка мельницы

Для промывки мельницы от остатков пульпы необходимо налить в бак чистой воды и включить мельницу на воде. Время промывки обычно составляет 10-15 минут. По истечении данного времени открыть заглушку на разгрузочном конце мельницы и слить остатки воды и материала. При необходимости изъятия шаровой нагрузки из мельницы, следует разобрать мельницу (3 крепежных болта) и вручную разгрузить ее. Если на бисере остался измельченный материал, следует его тщательно промыть на сите с размером ячейки в 1,5-2 раза меньше размера самых мелких частиц бисера. После этого поместить шаровую нагрузку в сушильный шкаф.

Во время разгрузки и промывки мельницы возможны потери бисера. Необходимо следить, чтобы объем шаровой нагрузки составлял 2,5 л. Для этого следует добавить необходимое количество шаров максимальной крупности во фракционированную измельчительную среду.

Обработка результатов

1. Опыты измельчения на мельнице *M4 IsaMill*. позволяют получить зависимость крупности материала от удельной энергии, приложенной к его измельчению. Крупностной параметр P_{80} является эталонным для данной зависимости, его необходимо рассчитать по гранулометрическим характеристикам продуктов, отобранных в п. 23. Рекомендуется провести как минимум три гранулометрических анализа на пробах, полученных для каждого из циклов и использовать среднеарифметическое значение.

2. Определить производительность по пульпе (здесь и далее ед. изм. t - ч):

$$Q_i^{\text{пульп}} = \frac{V + M/SG}{1000 \cdot t_i}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (13.2)$$

3. Определить производительность по сухой массе:

$$Q_i^{\text{пульп}} = \frac{M}{1000 \cdot t_i}, \text{ т/ч} \quad (13.3)$$

4. Определить полную мощность каждого цикла:

$$W_{fi} = \frac{W_i}{t_i \cdot 1000}, \text{ кВт} \quad (13.4)$$

5. Определить чистую мощность каждого цикла:

$$W_{ci} = W_{fi} - NPL, \text{ кВт} \quad (13.5)$$

6. Определить удельную энергию каждого цикла:

$$E_i = \frac{W_{ci}}{Q_i^{\text{ТВ}}}, \text{ кВт-ч/т} \quad (13.6)$$

7. Определить суммарную удельную энергию:

$$E_i^{\text{cum}} = \sum_{n=1}^i E_i \quad (13.7)$$

8. Построить график функции $E^{\text{cum}} = f(P_{80})$ в двойных логарифмических осях. Полученный график должен стремиться к прямой линии и характеризовать основную энергокрупностную зависимость, используемую для масштабирования мельниц *IsaMill*.

9. По полученному графику найдите удельный расход энергии для достижения заданной крупности.

Вопросы для самоконтроля

1. От чего зависит крупность используемой керамической мелящей среды при измельчении в мельнице *M4 IsaMill*?

2. Какие замеры следует провести до начала циклов измельчения?

3. В чем смысл нахождения энергокрупностной зависимости $E^{\text{cum}} = f(P_{80})$?

Протокол тестирования руды *СВИ*

РАБОЧИЙ ИНДЕКС ДРОБЛЕНИЯ, кВт-ч/т:					
№ образца	Плотность, г/см ³	Толщина в направлении разрушения, мм	Угол разрушения, градус	Удельная ударная энергия, Дж/мм	Рабочий индекс дробимости, кВт-ч/т
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Усреднение результатов тестирования					
Средняя плотность подверженных тестированию образцов, г/см ³					
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ РАБОЧЕГО ИНДЕКСА ДРОБЛЕНИЯ, кВт-ч/т					
Минимальное значение рабочего индекса дробления, кВт-ч/т					
Максимальное значение рабочего индекса дробления, кВт-ч/т					

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Протокол тестирования руды АІ

Протокол проведения тестирования				
Масса стальной пластинки до начала тестирования, г				
Масса стальной пластинки после измельчения 4 навесок материала, г				
Расчет индекса абразивности				
ИНДЕКС АБРАЗИВНОСТИ A_i , г				
Прогнозный расчет расхода футеровочной и шаровой стали				
Расход футеровки конусных и щековых дробилок, кг/кВт-ч				
Расход бандажей валковых дробилок, кг/кВт-ч				
Расход стержней при мокром стержневом измельчении, кг/кВтч				
Расход футеровки мокрых стержневых мельниц, кг/кВт-ч				
Расход шаров при мокром шаровом измельчении, кг/кВт-ч				
Расход футеровки мокрых шаровых мельниц, кг/кВт-ч				
Расход шаров при сухом шаровом измельчении, кг/кВт-ч				
Расход футеровки при сухом шаровом измельчении, кг/кВт-ч				
Гранулометрический состав продукта				
Класс крупности, мкм	Масса, г	Выход, %	Суммарный "по минусу"	
			Крупность, мкм	Суммарный выход, %
-19000+13200				
-13200+12500				
-12500+9500				
-9500+6700				
-6700+4750				
-4750+2800				
-2800+2000				
-2000+1400				
-1400+850				
-850+425				
-425+212				
-212+0				
Итого				

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Протокол тестирования руды на рабочий индекс стержневого
измельчения Бонда *RWi***

1. Общая информация и результаты тестирования				
Исследуемый материал:				
Дата проведения:				
Тестирование выполнил:				
РАБОЧИЙ ИНДЕКС СТЕРЖНЕВОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ <i>RWi</i>, КВТ-Ч/Т:				
2. Гранулометрический состав исходной пробы				
Класс крупности, мкм	Масса, г	Выход, %	Суммарный выход, %	
			Крупность, мкм	по минусу, %
-12500+9500			12500	
-9500+6700			9500	
-6700+4750			6700	
-4750+3350			4750	
-3350+1180			3350	
-1180+850			1180	
-850+600			850	
-600+425			600	
-425+300			425	
-300+150			300	
-150+0			150	
Итого			0	
3. Исходная информация о тестируемом материале (до начала измельчения)				
Максимальная крупность исходного материала, мкм			12500	
80% - ая крупность исходного материала (F80), мкм				
Масса 1250 мл исходного материала, г - М				
Насыпная плотность исходного материала, г/см ³				
Максимальная крупность готового класса (P100), мкм			1180	
Доля готового класса в исходном материале, % - $\gamma(x_{max}, P)$				
Масса готового класса в разгрузке при циркуляции 100% - А				

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

**Протокол для тестирования руды на рабочий индекс шарового измельчения
Бонда *W_I***

1. Общая информация и результаты тестирования				
Исследуемый материал:				
Дата проведения:				
Тестирование выполнил:				
РАБОЧИЙ ИНДЕКС ШАРОВОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ <i>W_I</i>, КВТ-Ч/Т:				
2. Гранулометрический состав исходной пробы				
Класс крупности, мкм	Масса, г	Выход, %	Суммарный выход, %	
			Крупность, мкм	по минусу, %
-3350+2800			3350	
-2800+2360			2800	
-2360+2000			2360	
-2000+1700			2000	
-1700+1180			1700	
-1180+850			1180	
-850+600			850	
-600+425			600	
-425+300			425	
-300+212			300	
-212+150			212	
-150+106			150	
-106+0			106	
Итого			0	
3. Исходная информация о тестируемом материале (до начала измельчения)				
Максимальная крупность исходного материала, мкм			3350	
80% - ая крупность исходного материала (F80), мкм				
Масса 700 мл исходного материала, г - М				
Насыпная плотность исходного материала, г/см ³				
Максимальная крупность готового класса (P100), мкм			106	
Доля готового класса в исходном материале, % - $\gamma(x_{max}, P)$				
Масса готового класса в разгрузке при циркуляции 250%, г - А				

4. Протокол проведения тестирования (периодов измельчения)											
№ шихла	Время измельчения		Число оборотов мельницы	Рассев продукта		G, г/об	Циркуляция, %	Масса свежего шлага, г	Прирост Г.К.г	Расчетный Г.К в шлагани,г	Операционные потери, г
	Минут	Секунд		Подрешетный	Назрешетный						
Обозначение	t		N	B	D	G	C	F	E	H	Z
Формула	(в сек)N*60/70		=(A-H)/G			=E/N	=100*(M*F)/B	=M-D	=B-H	=F*(xmax/P)	=M-D-B
1	1	26	100								
2											
...											
5. Гранулометрический состав продукта последних трех периодов											
Класс крупности, мкм	Масса, г	Выход, %	Суммарный по минусу*								
			Суммарный выход, %								
-106+90			Крупность, мкм								
-90+75			106								
-75+63			90								
Итого			75								
			0								
6. Расчет рабочего индекса шарового измельчения											
80% -ая крупность исходного материала (F80), мкм											
Максимальная крупность готового класса (P100), мкм											
80% -ая крупность продукта измельчения (F80), мкм											
Измельчаемость материала в шаровой мельнице, г/об.											
РАБОЧИЙ ИНДЕКС ШАРОВОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВМТ, кВтчт											
106											

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д1

Массы частиц, использованных в тесте на низкоэнергетическое разрушение

№ п/п	Масса частицы, г						
1		6		11		16	
2		7		12		17	
3		8		13		18	
4		9		14		19	
5		10		15		20	

Таблица Д2

Плотность частиц исследуемой пробы

№ п/п	Плотность частицы, г/см ³	№ п/п	Плотность частицы, г/см ³	№ п/п	Плотность частицы, г/см ³	№ п/п	Плотность частицы, г/см ³
1		9		17		25	
2		10		18		26	
3		11		19		27	
4		12		20		28	
5		13		21		29	
6		14		22		30	
7		15		23		-	-
8		16		24		-	-
Среднеарифметическое значение плотности, г/см ³						ρ	

Таблица Д3

Массы компонентов и комбинаций грузов

Компонент груза	Масса компонента, кг	Комбинация груза	Масса груза (m_r), кг
LB		LB	
L1		LB+L1	
L2		LB+L1+L2	
HB		HB	
H1		HB+H1	
H2		HB+H1+H2	
H3		HB+H1+H2+H3	
H4		HB+H1+H2+H3+H4	
H5		HB+H1+H2+H3+H4+H5	

Протокол испытаний DWT теста

№ п/п	Класс крупности, мм	Крупность частиц, мм	Номинальная энергия разрушения, КДж/г	Количество частиц, шт.	Масса набора частиц, г	Средняя масса частицы, г	Масса груза, кг	Высота установки груза, см	Оставшаяся высота, см	Фактическая высота падения, см	Фактическая энергия разрушения, КДж/г	Параметр t_{10} , %
1			0,40	10								
2	-63+53	58,0	0,25	10								
3			0,10	10								
4			1,00	15								
5	-45+37,5	41,25	0,25	15								
6			0,10	15								
7			2,50	30								
8	-31,5+26,5	29,0	1,00	30								
9			0,25	30								
10			2,50	30								
11	-22,4+19	20,7	1,00	30								
12			0,25	30								
13			2,50	30								
14	-16+13,2	29,2	1,00	30								
15			0,25	30								

Протокол испытаний разрушения в тесте DWT

Класс крупности, мм				
Номинальная энергия разрушения, кВт-ч/т	E_{cs}			
Комбинация груза				
Масса груза, кг	$m_{г}$			
Высота установки груза, см	$h_{н}$			
Масса набора частиц, г	$m_{наб}$			
№ частиц п/п		Измеренная остаточная высота первых десяти частиц, мм		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Средняя остаточная высота, см	$h_{ост}$			
Фактическая высота падения груза, см	$h_{ф}$			
Фактическая энергия разрушения, кВт-ч/т	$E_{cs}^{факт}$			

**Протокол испытаний разрушения в тесте DWT
(гранулометрический анализ)**

Класс крупности, мм									
Номинальная энергия разрушения, кВт-ч/т									
Исходная масса набора частиц, г									
Размер ячейки сита, мм	$\frac{Q}{г}$	$\frac{\gamma}{\%}$	$\frac{\Sigma\gamma}{\%}$	$\frac{Q}{г}$	$\frac{\gamma}{\%}$	$\frac{\Sigma\gamma}{\%}$	$\frac{Q}{г}$	$\frac{\gamma}{\%}$	$\frac{\Sigma\gamma}{\%}$
53,0									
37,5									
26,5									
19,0									
13,2									
9,50									
6,70									
4,75									
3,35									
2,36									
1,70									
1,18									
0,850									
0,600									
0,425									
0,300									
0,212									
0,150									
0,106									
Поддон									
Итого									
Потери									

Таблица Д7

Протокол испытаний разрушения в тесте *DWT*
(гранулометрический анализ продукта низкоэнергетического разрушения)

Исходная масса набора частиц, г			
Количество частиц в наборе			
Размер ячейки сита, мм	Q	γ	$\Sigma\gamma$
	г	%	%
37,5			
26,5			
19,0			
13,2			
9,50			
6,70			
4,75			
3,35			
2,36			
1,70			
1,18			
0,850			
0,600			
0,425			
Поддон			
Итого			
Потери			

Таблица Д8

Протокол испытаний разрушения в тесте SMC

Набор №		1	2	3	4	5
Номинальная энергия разрушения, кВт-ч/т	E_{cs}	0,25	0,50	1,0	2,0	3,5
Комбинация грузов						
Масса груза, кг	m_r					
Высота установки груза, см	h_n					
Масса набора частиц, г	$m_{наб}$					
Средняя масса частицы в наборе, г	$m_{ч}$					
Количество неразрушенных частиц						
Количество расколотых частиц						
Размер ячейки сита, мм		-31,0+26,5 мм – сито с ячейкой 2,8 мм -22,4+19 мм – сито с ячейкой 2,0 мм -16,0+13,2 мм – сито с ячейкой 1,41 мм				
Масса надрешетного продукта, г						
Масса подрешетного продукта, г						
Общая масса продукта, г						
Потери при рассеве, г						
$t_{10}, \%$						
№ частиц п/п		Измеренная остаточная высота, мм				
1						
2						
3						
...						
20						
Среднеарифметическая остаточная высота, см	$h_{ост}$					
Фактическая высота падения груза, см	$h_{ф}$					
Фактическая энергия разрушения, кВт-ч/т	$E_{cs}^{факт}$					

Весы системы Марси

Весы предназначены для измерения удельной плотности и процента твердого пульпы. Общий вид весов представлен в соответствии рисунка E.1.

Инструкция по применению:

1. Калибровка.

Заполните контейнер 1000 куб.см. с абсолютно чистой водой. Продольные отверстия, расположенные в верхней части каждого контейнера, изначально сохраняют чуть более 1000 см³. Используя напильник, аккуратно увеличьте нижнюю часть продольных отверстий, пока вода не начнет просачиваться.

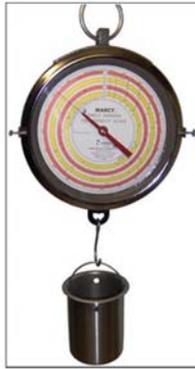


Рис.Е.1 Весы системы Марсу

Подвесьте контейнер, заполненный водой на крюк весов. Поверните на ноль регулировочный винт расположенный непосредственно над крюком, до момента, пока указатель не встанет вертикально, показывая 1,000 на внешнем кольце циферблата.

2. Определение гравитационных свойств для сухих веществ.

Образец должен быть сухой и в диапазоне крупности -10 (1,680мм) и +100 (0,152мм) меш (Tyler). Повесьте сухой, пустой контейнер на весы и насыпьте образец сухого материала до показания индикатора 1.000 кг на внешнем кольце циферблата.

Пересыпьте образец из контейнера в пустой чистый поддон. Заполните контейнер на одну треть с чистой водой и постепенно добавляйте сухого образца. Убедитесь, что образец мокрый и удалены

пузырьки воздуха. Повесьте контейнер на весы и добавьте чистой воды до отверстий переполнения. Смотрите удельный вес сухого вещества на самом внутреннем кольце циферблата.

Взятие образца.

Заполните контейнер вашей пульпой или жидкостью. Уровень жидкости должен достигать отверстий контейнера. Вытрите протекший материал на внешней части контейнера. Повесьте заполненный контейнер на весы и определите удельный вес пульпы или процент твердых веществ в пульпе.

Определение удельного веса пульпы.

Повесьте заполненный контейнер на весы и посмотрите удельный вес пульпы на внешнем кольце циферблата.

Определение процента твердых веществ.

Если вы знаете удельный вес сухого вещества в пульпе (смотрите Определение удельного веса для сухих веществ), вы можете напрямую посмотреть процент твердого в пульпе на циферблате. Выберите правильный циферблат для конкретного удельного веса сухого вещества в пульпе. Повесьте заполненный контейнер на весы. Процент твердого вещества в пульпе смотрится по часовой стрелке от номера удельного веса на красном, белом и желтом кольце циферблата.

Пример: Смотрим, что 44% твердого при удельном весе 2,2, так же смотрим, что 39% твердого при удельном весе 2,6 и 35% твердого при удельном весе 3,2.

К каждому весам прилагается циферблат, который имеет следующие диапазоны удельных весов для сухих веществ.

Таблица E.1

Взаимозаменяемые циферблаты

#1	2,2	2,6	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4
#2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
#3	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
#4	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
#5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1
#6	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6
#7	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
#8	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4
#9	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8
#10	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8

#11	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8
#12	6,6	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Классификация крепости руд по индексам Ф. Бонда

Таблица Ж.1

Классификация крепости руд по рабочему индексу дробления Ф. Бонда *С_{WI}*, кВт-ч/т

Очень мягкая	Мягкая	Средняя	Твердая	Очень твердая	Чрезвычайно твердая
менее 10	10 - 14	14 - 18	18 - 22	22 - 26	более 26

Таблица Ж.2

Классификация крепости руд по рабочему индексу стержневого измельчения Бонда, кВт-ч/т

Очень мягкая	Мягкая	Средняя	Твердая	Очень твердая
менее 7	7 - 9	9 - 14	14 - 20	более 20

Таблица Ж.3

Классификация крепости руд по рабочему индексу шарового измельчения Бонда, кВт-ч/т

Очень мягкая	Мягкая	Средняя	Твердая	Очень твердая
менее 7	7 - 9	9 - 14	14 - 20	более 20

Таблица Ж.4

Классификация руд абразивному воздействию *AI*, г

Низкая абразивность	Умеренная абразивность	Средняя абразивность	Высокая абразивность
менее 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.4	более 0.4

Гранулометрические характеристики результатов тестовых процедур по методике Ф. Бонда

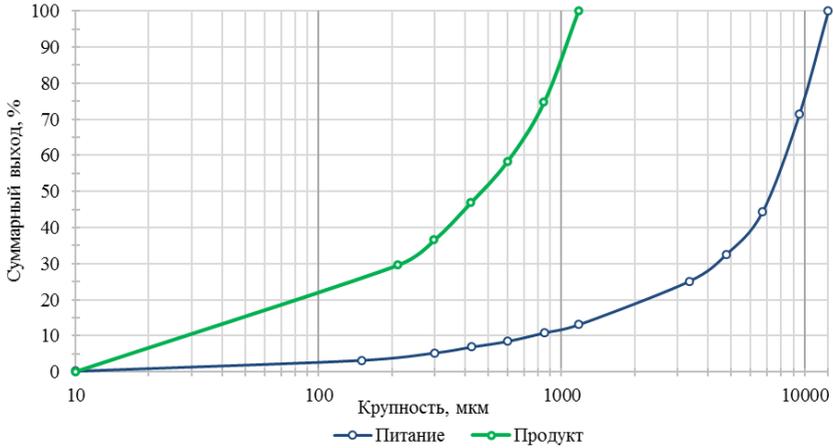


Рисунок 3.1 - Гранулометрические характеристики питания и продуктов стержневого измельчения



Рисунок 3.2 – График получаемой массы готового класса за один оборот шаровой мельницы Бонда, получаемой в каждом цикле измельчения

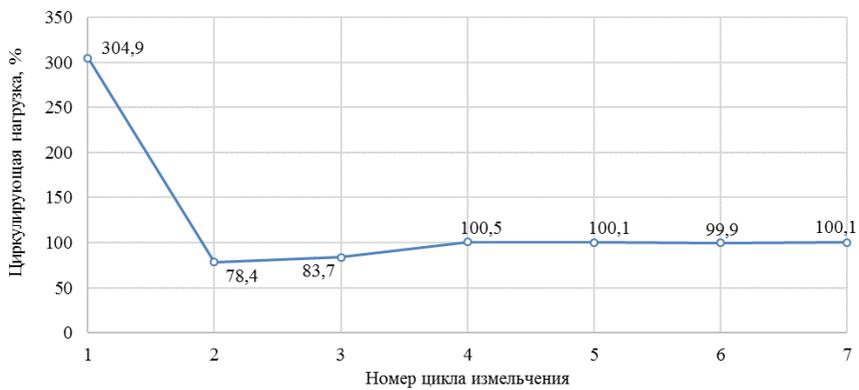


Рисунок 3.3 – График изменения циркулирующей нагрузки, получаемой за цикл измельчения в шаровой мельнице Бонда

Методика отбора представительной пробы

Основные понятия:

Представительная проба - проба, выделенная по определённым правилам, с составом по крупности, аналогичным всей массе материала.

Массив опробования (масса пробы) - масса материала, для которой необходимо установить численное значение некоторых характеристик (гранулометрический состав, фракционный состав, обогатимость, зольность, содержание серы, содержание влаги, плотность, выход летучих веществ, содержание металла (для руд) и т.д.

Партия руды - количество руды, которое произведено и отгружено потребителям за определенный промежуток времени (смену, сутки и т.п.), среднее качество которого характеризуется одной объединенной пробой. Партией считается материал одного типа или сорта, поставляемый по одному сертификату.

Контрольный период (период испытания) - период времени, в течение которого испытывается масса. На обогатительных фабриках используются периоды: час, изменение, сутки, месяц, иногда год.

Основной характеристикой пробы является масса.

Минимальная масса пробы - наименьшая масса при заданном способе отбора проб, отражающая свойства массива с допустимой погрешностью.

Необходимая (достаточная) масса пробы - масса пробы, достаточная для выполнения измерений, анализов или исследований.

Начальная масса пробы - фактически отобрана при испытании масса. Начальная масса пробы всегда должна быть больше (или равна) минимальной и необходимой массе. Минимальная и необходимая массы пробы могут быть как больше, так и меньше друг друга.

По способу отбора пробы делят на точечные и объединены.

Точечная (частичная, разовая) проба - количество материала, отобранного из одного места одноразовым движением устройст-

ва для отбора проб. В нее попадают только расположенные рядом куски и она характеризует только локально ограниченную массу.

Объединенная (общая, составленная) проба - проба, состоящая из необходимого количества точечных проб, которые отбираются непосредственно от партии топлива и характеризуют его среднее качество. Таким образом, она является совокупностью точечных проб и характеризует весь массив в целом.

По назначению пробы делятся на аналитические и технологические.

Лабораторная проба - проба, полученная в ходе подготовки объединенной пробы до крупности 0-3 (0-10) мм и предназначенная для лабораторных испытаний и для подготовки аналитических проб.

Аналитическая проба - проба, полученная в ходе подготовки объединенной или лабораторной пробы до крупности 0,1-0,2 мм и предназначенная для проведения анализов.

Аппаратура. Линолеум, лопата, доска, совки, емкости различного объема, струйчатый (рифленый) делитель, электронные весы.

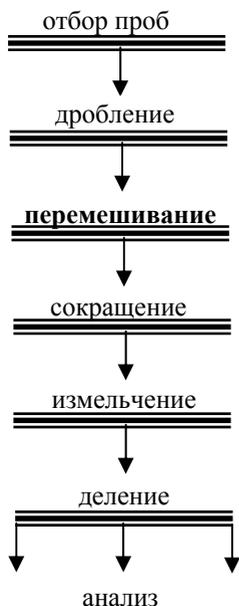


Рис.И. 1 - Типовая схема подготовки проб

Исходный материал и схема опыта. Навеска минерального сырья. Схема опыта приведена на рис.Ж.1.

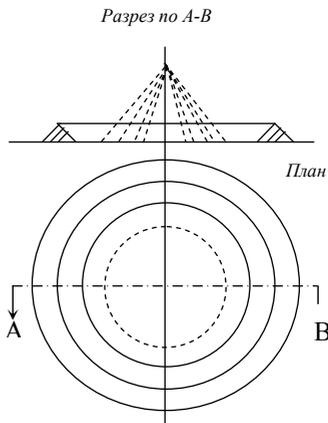
Порядок выполнения работы.

1. Перемешивание проб

Естественная неравномерность пробы усиливается в процессе ее дробления, а также в процессе транспортировки. Для обеспечения пропорционального распределения кусков разной крупности в массе пробы перед

сокращением необходимо тщательно перемешать.

Перемешивание в зависимости от крупности кусков



и количества пробы осуществляют следующими методами: 1) дом кольца и конуса; 2) методом перекаtywания; 3) методом просеивания; 4) методом механического перемешивания.

Метод кольца и конуса. Метод кольца и конуса (рис. Ж.2) заключается в том, что студенты раскладывают пробу в кольцо конического сечения. Диаметр кольца должен быть примерно в два раза больше диаметра основания конуса. Пробу забрасывают на конус, забирая лопатой или совком небольшие порции ее с наружной стороны кольца. Во избежание отклонения вершины конуса, в середину круга ставят шест. Ввиду того, что при превышении угла естественного откоса крупные куски руды, перекаtywаясь, в первую очередь скапливаются у основания конуса, а мелочь скапливается на вершине, то забрасывание материала на конус производится внимательно и осторожно, не поднимая высоко лопату над вершиной конуса, при этом куски руды скатываются равномерно по образующим конуса во все стороны. Когда весь материал сброшен на конус, последний «разворачивается» путем вдавливания в вершину конуса тонкой доски и вращения ее вокруг оси конуса. При этом конус превращается в плоский усеченный конус. Затем снова материал раскидывается в кольцо, которое вторично пересыпается на конус. Эта операция в зависимости от характера руды может повторяться до трех раз. Перемешивание производится на линолеуме лежащем на ровной площадке. Перемешивание по методу кольца и конуса применяют при относительно большом количестве материала и при крупности кусков примерно до 50 мм.

Метод перекаtywания. Метод перемешивания посредством перекаtywания заключается в том, что проба высыпается на брезент или на клеенку, затем, попеременно поднимая и приближая один угол клеенки или брезента к противоположному углу, материал перекаtywают. Повторяя эту процедуру многократно, достигают более-или менее удовлетворительного перемешивания. При перекаtywании средняя часть кучи мало подвергается перемешиванию, поэтому нельзя рекомендовать этот метод для материала, легко подвергающегося сегрегации, т. е. при наличии крупных кусков в пробе. Применяется этот метод для проб весом не

более 20 - 25 кг.

Метод просеивания. Для небольшого количества мелкоизмельченной пробы достаточно совершенным методом смешения является метод просеивания. Он заключается в том, что проба просеивается через сито, диаметр отверстия которого в два-три раза больше диаметра наиболее крупных частиц смеси. В случае присутствия комков тут же на сите их перетирают. Обычно операцию просеивания повторяют несколько раз.

Механическое перемешивание. Механическое перемешивание производится в специальных аппаратах или же для этого пользуются существующими аппаратами, предназначенными для другой цели. К первому типу относится смеситель, состоящий из кубического ящика, вращающегося на горизонтальном валу, причем вал проходит по диагонали ящика. Этот смеситель дает эффективное перемешивание, но применим для небольшого количества проб. Ко второму типу аппаратов относятся лабораторные шаровые мельницы и делители Джонса. Проба загружается в мельницу с небольшим количеством фарфоровых или стальных шаров и перемешивается в течение 10—15 мин. При этом одновременно с перемешиванием дезинтегрируются комки, имеющиеся в пробе. Этим методом нельзя пользоваться, если проба предназначена не только для химического, но и для ситового анализа, так как в процессе перемешивания происходит частичное измельчение пробы. Иногда для перемешивания пользуются делителем Джонса. Проба пропускается на делителе Джонса, затем обе половины соединяются и вновь пропускаются. Повторяя эту операцию несколько раз, получают более или менее однородную смесь.

2. Сокращение проб

Достигнув более или менее однородной смеси путем применения одного из указанных методов перемешивания, пробу сокращают, имея в виду зависимость $w=f(d)$. При этом сокращение можно производить лишь в том случае, если вес представленной пробы превышает не менее двух раз минимально допустимый вес, определенный соответствующей формулой. В противном случае операцию разделки пробы нужно начать с дробления. При выборе степени измельчения и каждой стадии следует учесть наиболее

удобную степень сокращения. Общая степень сокращения при m приемах, с получением после каждого приема сокращения двух равных проб, будет равна:

$$S = \frac{W_n}{W_{n+1}} = 2^m, \text{ где}$$

S - степень сокращения;

m - число приемов сокращения в одной стадии;

W_n - вес исходной пробы, поступившей на данный прием сокращения;

W_{n+1} - вес конечной пробы, полученной после m приемов сокращения;

ε — степень измельчения.

Имея в виду, что минимальный вес пробы $W_n = kd_n^\alpha$ и $W_{n+1} = kd_{n+1}^\alpha$, можем написать:

$$\frac{W_n}{W_{n+1}} = \frac{d_n^\alpha}{d_{n+1}^\alpha}$$

Степень измельчения ε будет равна:

$$\varepsilon = \frac{d_n}{d_{n+1}} = \alpha \sqrt[\alpha]{\frac{W_n}{W_{n+1}}} = \alpha \sqrt[\alpha]{S} = \alpha \sqrt[\alpha]{2^m} = 2^{\frac{m}{\alpha}}$$

Логарифмируя это уравнение, имеем

$$\lg \varepsilon = \frac{m}{\alpha} \lg 2;$$

откуда

$$m = \alpha \frac{\lg \varepsilon}{\lg 2};$$

$$m = 3,3\alpha \lg \varepsilon.$$

При $\alpha = 2$ и если $\varepsilon = 2^{2/2} = 2$, то $m = 2$;

$\varepsilon = 2^{4/2} = 4$, то $m = 4$;

$\varepsilon = 2^{6/2} = 8$, то $m = 6$;

$$\varepsilon = 2^4 = 16, \text{ то } m = 8;$$

$$\varepsilon = 2^5 = 32, \text{ то } m = 10$$

и т.д.

Так как практически берут степень измельчения не менее 2, то m (минимум) равно 2 и $S = 2^{2/2} = 2$. Следовательно, после каждой стадии дробления проводится не менее двух приемов сокращения.

Общее число стадий дробления и приемов сокращений зависит от веса исходной и конечной пробы и от крупности кусков в начальной и конечной пробах.

Начальный вес химической пробы обычно колеблется в пределах 1—10—30 кг при крупности кусков, не превышающих 20—40 мм. Конечное количество пробы, из которой отбивается навеска для химического и пробирного анализов, не превышает 200—500 г.

Сокращение производится различными методами в зависимости от крупности материала, а также физико-химической и минералогической характеристики руды. На практике применяются следующие методы: 1) отбор фракций; 2) прокладканизация; 3) квартование; 4) сокращение с помощью рифленых делителей; 5) квадратование; 6) сокращение пробы с помощью разграфленного стеклянного столика; 7) метод распределения. Первые два метода описаны в разделе «Опробование неподвижно лежащего материала». Третий метод—метод квартования частично был дан в описании процесса перемешивания. Поэтому здесь описывается только та часть, которая специфична для сокращения.

Квартование. Конус, полученный при перемешивании пробы, разравнивают в плоский усеченный конус путем разворачивания конуса тонкой доской. Затем его делят двумя взаимно-перпендикулярными линиями, проходящими через центр диска (рис. И.3). В пробу отбираются любые две противоположные четверти — I и III или II и IV. При отделении четверти, даже при самой тщательной работе трудно выделить точно четверть общего количества материала вследствие осыпания стенок, ограничивающих четверть. Кроме того, в этом случае имеет место явление сегрегации и в вынимаемую четверть попадают крупные куски. Во избежание этого до насыпания пробы в конус

кладут «крест» причем центр его должен совпадать с центром конуса. Забрасывание на конус нужно производить осторожно, чтобы не происходило преимущественного заполнения какой-либо одной четверти. Метод сокращения по способу квартования конуса является наиболее распространенным. Он обладает следующими достоинствами.

1. Не требует специального оборудования. Для этого метода сокращения нужно только иметь лопаты, тачки, щетки, доски и совок.

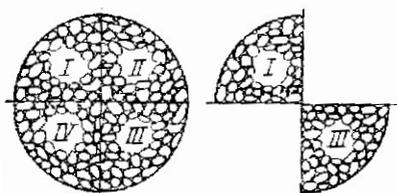


Рис.И.3 Квартование (деление диска на четыре равных квадранта)

2. Универсальностью метода. Этот метод применим ко всем типам руд без исключения. Потеря полезного ископаемого при этом методе минимальная.

Удобством наблюдения за сокращением. Вся операция сокращения находится на виду, следовательно, оператор легко

может следить за правильностью процесса сокращения.

Возможностью совмещения операции сокращения с операцией перемешивания.

Однако наряду с указанными преимуществами метод квартования конуса имеет ряд недостатков, из которых основными являются следующие:

1. Требуется много времени.
2. Результаты опробования в значительной степени зависят от квалификации работника.
3. Невысокая точность.

Сокращение делителем желобчатым. Метод сокращения с помощью рифленых делителей применим в условиях лабораторных работ и является более совершенным методом сокращения. Из различных типов рифленых делителей наиболее широкое применение получили делитель Джонса, делительный ящик и делительная лопата. Конструкция делителей весьма проста, но они должны быть выполнены весьма тщательно и точно.

Делитель Джонса (рис.Ж.4) состоит из ряда желобков шириной не менее размера трех диаметров максимальной частицы в пробе, с наклонными днищами, угол наклона которых должен быть не менее 50° . Желобки открыты с обоих концов. Половина из общего числа желобков разгружает материал в одну сторону, а другая половина — в противоположную сторону.

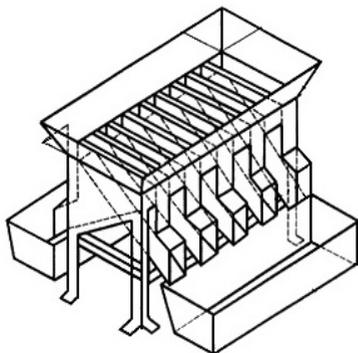


Рис.И.4. Делитель Джонса

Все желобки припаиваются друг к другу и заключаются в общую раму, являющуюся приемной воронкой. Делитель монтируется на четырехугольной подставке такой высоты, чтобы приемники для сокращения пробы свободно могли входить под желобки. Желобки должны иметь одинаковую ширину и достаточную глубину, чтобы от удара куски руды не отскакивали. Загрузка пробы производится совком или приемником, имеющим ширину, равную общей ширине делителя.

Приемник, равномерно наполненный, ставят перпендикулярно направлению желобков и так, чтобы стенки крайних желобков совпадали с бортами приемника. Затем, медленно наклоняя приемник, высыпают материал, следя за равномерным распределением последнего. При наличии узкого совка следует равномерно водить совок поперек желобков для равномерного распределения материала по желобкам.

Приемник, равномерно наполненный, ставят перпендикулярно направлению желобков и так, чтобы стенки крайних желобков совпадали с бортами приемника. Затем, медленно наклоняя приемник, высыпают материал, следя за равномерным распределением последнего. При наличии узкого совка следует равномерно водить совок поперек желобков для равномерного распределения материала по желобкам.

Метод квадратования. Метод квадратования применяется при окончательном сокращении пробы для химического анализа. Он заключается в том, что пробу, тщательно перемешанную, разравнивают на клеенке или глянцевой бумаге тонким слоем одинаковой толщины стеклянной палочкой или линейкой, затем слой делится на ряд клеток, примерно одинакового размера, для чего проводят ряд параллельных линий линейкой в двух взаимно перпендикулярных

направлениях. После этого из каждой клетки отбирают примерно по равной порции пробу шпателем, захватывая материал по всей толщине слоя. При тонко измельченной пробе степень точности сокращения достаточно высокая.

Лист проверки Теста падающего груза перед началом работы

Оператор _____

Дата _____ номер _____ Теста _____

Перед началом тестирования партии проб необходимо выполнить проверку указанных ниже параметров. Проставьте галочки и передайте лист супервайзеру вместе с результатами тестов.

1. Подача воздуха

Убедитесь, что в редукторе нет воды – слейте при необходимости. Давление в системе должно быть 700 кПа/100 psi. При давлении ниже 600 кПа/90 psi может не происходить сбрасывание груза.

2. Пневматические трубки

Осмотрите на наличие повреждений, изгибов и заломов.

3. Защитный стопор

Убедитесь в том, что защитный стопор свободно занимает положение над плитой при открытии двери.

4. Дверь для доступа в рабочую зону

Проверьте степень износа троса противовеса и направляющих шкивов.

5. Фиксирующие зажимы на механизме подъема и захвата

Подтяните все ослабленные вследствие вибрации при работе болты и гайки.

6. Ударные поверхности

Убедитесь, что износ ударных поверхностей не превышает 1 мм – при необходимости переверните.

7. Болты легкой основы

Затяните болты при необходимости.

8. Ролик и роликовый штифт на основах грузов

Проверьте вращение ролика и износ, поворотный шкворень должен быть зафиксирован.

9. Линейка и указатель высоты

Выставьте показания на ноль при нахождении основы для грузов на ударной плите.

10. Механизм захвата и подъема груза

Убедитесь в свободном перемещении механизма по направляющим. Для

смазки направляющих применяйте только графитовый порошок. Убедитесь, что механизм обеспечивает захват и подъём груза. Проверьте полноту хода фиксатора и отсутствие значительного износа.

11. Подъёмный трос

Трос должен быть заменен при обнаружении разрыва или излома одной из прядей. (Спецификация – плетёный проволочный трос диаметром 4 мм, плетение 7×19. Болты в проушине, хомуты и штифты с головкой и отверстием под шплинт на обоих концах троса должны быть надежно зафиксированы.

12. Шкивы подъёмного троса

Движение троса по шкивам в верхней части устройства должно быть свободным.

13. Защитные концевые выключатели

Убедитесь в том, что груз не сбрасывается при открытых дверях и недостижении грузом конечной высоты сбрасывания – все три концевых выключателя работают правильно.

14. Свинцовые грузы

При наличии деформации и затруднении снятия и установки грузов необходимо произвести их механическую обработку. Минимально допустимые массы 9,5 кг/4,75 кг/1,90 кг.

15. Удаление пыли

Отрегулируйте скорость вытяжки для обеспечения эффективного удаления пыли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. *Андреев Е.Е., Тихонов О.Н.* Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: учебник. СПб.:2007. 439 с.

Дополнительная литература

1. *Серго Е.Е.* Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых : Учеб. для вузов. М. : Недра, 1985. - 285 с.

2. Справочник по обогащению руд. Т. 1. Подготовительные процессы / Редкол.: Богданов О.С. (гл. ред.), Олевский В.А. (отв. ред.) и др. М. : Недра, 1972. 448 с.

3. Справочник по обогащению руд. Обоганительные фабрики / Гл. ред. О.С.Богданов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Недра, 1984. - 358 с.

4. *Александрова Т.Н.* Обогащение полезных ископаемых. [Электронный ресурс]: учебник/ Кусков В.Б., Львов В.В., Николаева Н.В. Электрон. дан. РИЦ Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Заказ 503. С 144 (ISBN 978-5-94211-731-3), 2015, 530 с. режим доступа:

http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<>

5. *Абрамов, А.А.* Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т.2. Технология переработки и обогащения полезных ископаемых [Электронный ресурс] : учеб. Электрон. дан. Москва: Горная книга, 2004. 510 с. режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3266>

6. *Николаев, А.А.* Добыча, подготовка и обогащение сырья цветных металлов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Электрон. дан. Москва : МИСИС, 2013. 53 с. режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47431>

7. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению [Текст] : метод. указания по выполнению самост. работ для студентов днев. формы обучения спец. 130405 / сост.: Е. Е. Андреев, В. В. Львов. СПб. : Горн. ун-т, 2012. - 57 с. режим доступа: http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=374&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=%D0%90%2088281%2F%D0%94%2075%2D075093<>

8. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению [Текст] : метод. указания к самост. работе / сост.: Е. Е. Андреев, В. В. Львов, Н. В. Николаева. СПб. : Нац. минер.-сырьевой ун-т"Горный", 2013. 85 с. режим доступа: http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=40

2&task=set_static_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=%D0%92%2045784%2F%D0%94%2075%2D172324<>

9. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению [Текст] : метод. указания к практ. занятиям / сост. В. В. Львов, Н. В. Николаева. Санкт-Петербург: С.-Петерб. Горный университет, 2016. 156 с. режим доступа:

http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=%D0%92%2045784%2F%D0%94%2075%2D172324<>

10. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению [Текст] : метод. указания по выполнению лаб. работ для студентов дневной формы обучения спец. 130405 / сост.: Е. Е. Андреев, В. В. Захваткин, В. В. Львов. СПб. : Горн. ун-т 2012. 59 с. режим доступа:

http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=%D0%90%2088282%2F%D0%94%2075%2D190543<>

11. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению [Текст] : метод. указания к курсовому проектированию / сост.: В. Б. Кусков, В. В. Львов. СПб.: Национальный минерально-сырьевой ун-т "Горный", 2015. 34 с. режим доступа:

http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=374&task=set_static_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=%D0%90%2089370%2F%D0%94%2075%2D100177282<>

12. *Перов В.А.* Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: Учебник для вузов / В.А.Перов, Е.Е.Андреев, В.Ф.Биленко. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1990. 301 с.

13. JK Drop Weight Test | JKTech режим доступа: <https://jktech.com.au/jk-drop-weight-test> (дата доступа 03.02.2020, язык – английский).

14. SMC Test | JKTech – режим доступа: <https://jktech.com.au/smc-test> (дата доступа 03.02.2020, язык – английский).

15. Isamill – режим доступа: <https://www.isamill.com/ru/Pages/home.asp> (дата доступа 03.02.2020, язык – русский).

16. SMC Test | JKTech – режим доступа: <https://www.smctest.com/about> (дата доступа 03.02.2020, язык – английский).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Работа 1. Ситовой анализ руды	5
Работа 2. Определение эффективности грохочения многочастотного грохота	15
Работа 3. Определение основных технологических параметров щековой лаботаторной дробилки	21
Работа 4. Изучение кинетики измельчения	25
Работа 5. Изучение влияния основных технологических параметров на работу шаровой мельницы	28
Работа 6. Определение индекса дробления бонда cwi	30
Работа 7. Определение индекса абразивности бонда ai	34
Работа 8. Определение рабочего индекса бонда для стержневой мельницы rwi	37
Работа 9. Определение рабочего индекса бонда для шаровой мельницы bwi	42
Работа 10. Исследование измельчаемости руд	50
Работа 11. Тест падающего груза	57
Работа 12. Smc тест	66
Работа 13. Изучение процессов тонкого измельчения по технологии $isamill$	75
Приложение а	83
Приложение б	84
Приложение в	85
Приложение г	87
Приложение д	89
Приложение е	95
Приложение ж	97
Приложение з	98
Приложение и	101
Приложение к	110
Библиографический список	112