

# **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.02*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра обогащения полезных ископаемых

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.02*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2021

УДК 622.7(073)

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ:** Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.Б. Кусков, Н.В. Николаева*. СПб, 2021. 42 с.

Лабораторные работы охватывают основные разделы курса «Основы технологии переработки минерального сырья». В каждой работе приведены основные понятия по данной теме, аппаратура и материалы, необходимые для выполнения работы, схема и методика проведения работы, таблицы результатов опытов.

Предназначены для студентов специальности 21.05.02 «Прикладная геология», специализация «Прикладная геохимия, минералогия, петрология».

Научный редактор проф. *Т.Н. Александрова*

Рецензент *В.Г. Логинов* («Механобр Инжиниринг»)

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2021

## **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.02*

Сост.: *В.Б. Кусков, Н.В. Николаева*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
обогащения полезных ископаемых

Ответственный за выпуск *В.Б. Кусков*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 01.03.2021. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,4. Усл.кр.-отт. 2,4. Уч.-изд.л. 2,2. Тираж 75 экз. Заказ 141.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы, выполняемые при прохождении курса «Основы технологии переработки минерального сырья», должны ознакомить студентов с процессами, используемыми при переработке минерального сырья, а именно с рудоподготовительными и основными процессами, а также с методами анализа результатов обогащения.

Результаты работы оформляются каждым студентом индивидуально в виде краткого отчета. На титульном листе указывают наименование работы, дату ее выполнения, фамилию студента и шифр его группы. В тексте отчета должны быть отражены следующие данные: цель работы, характеристика используемого аппарата, характеристика исходного материала, схема опыта, метод анализа результатов, таблица результатов, графическое изображение зависимостей, полученных в опыте (если они были получены), краткие выводы.

Отчет должен быть подписан исполнителем и преподавателем. После проверки отчета преподавателем проводится его защита.

### **Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОГАЩЕНИЯ**

Переработка руд, как и любой другой технологический процесс, характеризуется технологическими показателями. Основные технологические показатели следующие:

*Абсолютные технологические показатели:*

масса продукта (производительность) –  $Q$ ; масса (производительность) расчетного компонента в продукте –  $P$ . Выражаются обычно в тоннах в час, тоннах в сутки и т.д.

*Относительные технологические показатели:*

содержание расчетного компонента в продукте (массовая доля компонента в продукте) –  $\beta$ , – это отношение массы расчетного компонента в продукте к массе продукта; содержание различных компонентов в полезном ископаемом и в полученных продуктах принято вычислять в процентах (иногда содержание в исходном материале обозначают  $\alpha$ , в концентрате –  $\beta$ , в хвостах –  $\vartheta$ ). Содержание полезных компонентов в добываемом сырье (руде) может

составлять от долей процента (медь, никель, кобальт и др.) до нескольких процентов (свинец, цинк и др.) и нескольких десятков процентов (железо, марганец, ископаемый уголь и некоторые другие неметаллические полезные ископаемые);

выход продукта –  $\gamma_i, \gamma_k, \gamma_{xb}$  – это отношение массы продукта к массе исходной руды; выход любого продукта обогащения выражают в процентах, реже в долях единицы;

извлечение ценного компонента –  $\varepsilon_i, \varepsilon_k, \varepsilon_{xb}$  – это отношение массы расчетного компонента в продукте к массе этого же компонента в исходной руде; извлечение выражается в процентах, реже в долях единицы.

Выход  $i$  – го продукта вычисляется по формуле:

$$\gamma_i = (Q_i / Q_{исх}) \cdot 100, \% \quad (1.1)$$

Также, для случая разделения на два продукта – концентрат и хвосты их выход можно определить через содержания по следующим формулам:

$$\gamma_k = \frac{\beta_{исх} - \beta_{xb}}{\beta_{кон} - \beta_{xb}} 100, \%; \quad \gamma_{xb} = \frac{\beta_{кон} - \beta_{исх}}{\beta_{кон} - \beta_{xb}} 100, \%; \quad (1.2)$$

Сумма выходов концентрата и хвостов равна:

$$\gamma_k + \gamma_{xb} = 100 \%. \quad (1.3)$$

Очевидно, что

$$Q_{кон} + Q_{xb} = Q_{исх}; \quad (1.4)$$

$$P_{кон} + P_{xb} = P_{исх}. \quad (1.5)$$

Эта формула справедлива и для любого количества продуктов:

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n = 100 \%.$$

Аналогично для  $Q$  и  $P$ .

(При обогащении полезных ископаемых, как правило, получают всего два продукта – концентрат и хвосты, но не всегда, иногда продуктов может быть больше).

Содержание в  $i$  – ом продукте:

$$\beta_i = \frac{P_i}{Q_{\text{исх}}} \cdot 100. \quad (1.6)$$

На практике содержания обычно определяют химическим анализом.

Извлечение полезного компонента в  $i$  – ий продукт:

$$\varepsilon_i = \frac{P_i}{P_{\text{исх}}} \cdot 100, \% \text{, или } \varepsilon_i = \frac{\gamma_i \beta_i}{\beta_{\text{исх}}} \%. \quad (1.7)$$

Сумма извлечений концентрата и хвостов равна:

$$\varepsilon_{\text{к}} + \varepsilon_{\text{хв}} = 100 \%. \quad (1.8)$$

Эта формула справедлива и для любого количества продуктов:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n = 100 \%. \quad (1.9)$$

Показатели содержания суммировать нельзя. Но их связывает так называемое уравнение баланса (для случая разделения на два продукта):

$$\gamma_{\text{кон}} \cdot \beta_{\text{кон}} + \gamma_{\text{хв}} \cdot \beta_{\text{хв}} = \gamma_{\text{исх}} \cdot \beta_{\text{исх}}. \quad (1.10)$$

Уравнение справедливо также для любого числа продуктов:

$$\gamma_1 \cdot \beta_1 + \gamma_2 \cdot \beta_2 + \dots + \gamma_n \cdot \beta_n = \gamma_{\text{исх}} \cdot \beta_{\text{исх}}.$$

Следует отметить, что  $\gamma_{\text{исх}} = 100 \%$ .

*Пример.* Исходное сырье разделяется на два продукта (рис. 1) – концентрат и хвосты. Производительность по исходному  $Q_{исх} = 2000$  т/ч, по концентрату –  $Q_{кон} = 650$  т/ч. Производи-

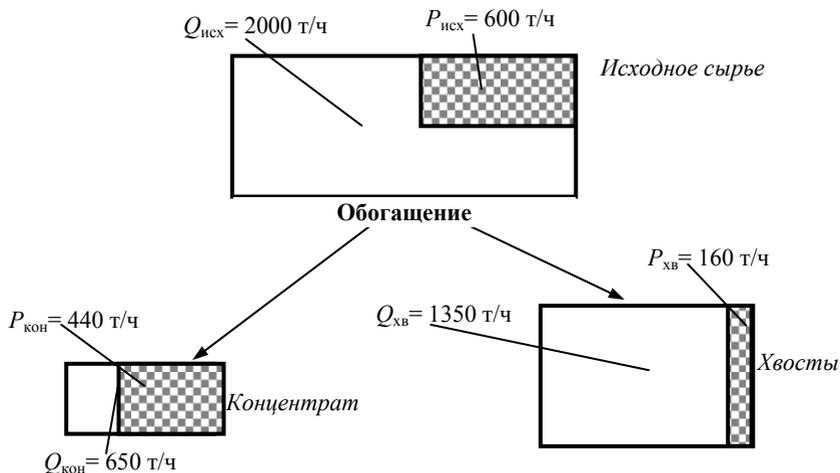


Рис. 1 К примеру определения технологических показателей

тельность по расчетному компоненту в исходном  $P_{исх} = 600$  т/ч, по расчетному компоненту в концентрате  $P_{кон} = 440$  т/ч.

Определяем производительность по хвостам:

$$Q_{хв} = Q_{исх} - Q_{кон} = 2000 - 650 = 1350 \text{ т/ч.}$$

Определяем выход концентрата:

$$\gamma_{кон} = (Q_{кон}/Q_{исх}) \cdot 100 = (650/2000) \cdot 100 = 32,5 \%;$$

$$\gamma_{хв} = \gamma_{исх} - \gamma_{к} = 100 - 32,5 = 67,5\%,$$

или  $\gamma_{хв} = (Q_{хв}/Q_{исх}) \cdot 100 = (1350/2000) \cdot 100 = 67,5 \%$ .

Содержание в исходной руде:

$$\beta_{исх} = \frac{P_{исх}}{Q_{исх}} \cdot 100 = \frac{600}{2000} \cdot 100 = 30,0 \%;$$

Содержание в концентрате:

$$\beta_{\text{кон}} = \frac{P_{\text{кон}}}{Q_{\text{кон}}} \cdot 100 = \frac{440}{650} \cdot 100 = 67,69 \%;$$

$$P_{\text{хв}} = P_{\text{исх}} - P_{\text{кон}} = 600 - 440 = 160 \text{ т/ч};$$

$$\text{тогда } \beta_{\text{хв}} = \frac{P_{\text{хв}}}{Q_{\text{хв}}} \cdot 100 = \frac{160}{1350} \cdot 100 = 11,85 \%.$$

Либо воспользовавшись, уравнение баланса имеем:

$$\gamma_{\text{к}} \cdot \beta_{\text{кон}} + \gamma_{\text{хв}} \cdot \beta_{\text{кон}} = \gamma_{\text{исх}} \cdot \beta_{\text{исх}},$$

$$\beta_{\text{хв}} = \frac{\gamma_{\text{исх}} \cdot \beta_{\text{исх}} - \gamma_{\text{кон}} \cdot \beta_{\text{кон}}}{\gamma_{\text{хв}}} = \frac{100 \cdot 30 - 32,5 \cdot 67,69}{67,5} = 11,85 \%.$$

### **Задачи на расчет технологических показателей обогащения.**

**Задача 1.** Определить содержание полезного компонента в хвостах, если из 1100 т руды с содержанием полезного компонента 0,9 % в процессе обогащения получено 17 т концентрата, извлечение 89 %.

Ответ: 0,1 %.

**Задача 2.** Рассчитать извлечение металла в концентрат, если фабрика имеет производительность по руде 10 000 т/сутки, перерабатывает руду с содержанием металла 2 %, при этом получает 500 т концентрата в сутки с массовой долей в нём металла 30 %.

Ответ: 75 %.

**Задача 3.** Определить выход хвостов, если из 1 000 т руды получено 10 т концентрата.

Ответ: 99 %.

**Задача 4.** Производительность фабрики 10 000 т/сутки. Фабрика перерабатывает мерную руду с массовой долей меди 2 %; в медном концентрате массовая доля меди 20 %, в хвостах - 0,1 %. Определить извлечение меди в концентрат, хвосты, выходы этих продуктов и массу продуктов.

Ответ:  $\gamma_{\text{кт}} = 9,5 \%$ ,  $\varepsilon_{\text{кт}} = 95 \%$ ,  $Q_{\text{кт}} = 950 \text{ т/сутки}$ ,  
 $\gamma_{\text{хв}} = 90,5 \%$ ,  $\varepsilon_{\text{хв}} = 5 \%$ ,  $Q_{\text{хв}} = 9050 \text{ т/сутки}$ .

Задача 5. Установить потери никеля в медном концентрате, если содержание никеля в нём 1,0 % и выход медного концентрата 10 %. Содержание никеля в исходной руде 3 %.

Ответ: 3,33 %.

Задача 6. Производительность фабрики 10 000 т/сутки, выход медного концентрата 5 %, цинкового – 3 %. Сколько тонн меди и цинка теряется в сутки с хвостами, если массовая доля цинка и меди в хвостах, соответственно, 0,1 и 0,2 %.

Ответ: 920 кг *Cu* и 1 840 кг *Zn*.

Задача 7. Вычислить, сколько тонн свинцового концентрата в сутки выдаст обогатительная фабрика, если её суточная производительность по руде 5 000 т, содержание свинца в руде 1,8 %, а в концентрате 60 %. Извлечение свинца в концентрат 92 %.

Ответ: 138 т.

Задача 8. Сколько тонн меди в сутки теряется со свинцовым концентратом, если массовая доля меди в свинцовом концентрате 4 %, производительность фабрики 5 000 т/сутки, выход свинцового концентрата 10 %?

Ответ: 20 т.

Задача 9. Определить извлечение цинка в концентрат, если при суточной производительности фабрики 5 000 т получают 150 т концентрата. Содержание цинка в руде 2 %, а в концентрате 60 %.

Ответ: 90 %

Задача 10. Определить сколько тонн меди теряется с 1 000 000 т хвостов при переработке руды с массовой долей меди 1 %, если извлечение меди в концентрат 85,6 %, а выход концентрата 10 %.

Ответ: 1 600 т.

Задача 11. Рассчитать, сколько хвостов в сутки будет выбрасывать фабрика, если выход концентрата 5 %, а суточная производительность по руде 5 000 т.

Ответ: 4 750 т.

Задача 12. Определить извлечение свинца в свинцовый концентрат, если производительность фабрики 10 000 т/сутки, масса получаемого концентрата 150 т/сутки, массовая доля металла в руде 1 %, в концентрате 55 %.

Ответ: 82,5 %.

Задача 13. Определить потери меди и цинка в хвостах, если извлечение меди и цинка в медном концентрате соответственно 90 и 5 %, а в цинковом - 6 и 85 %.

Ответы: 4 и 10 %.

Задача 14. Сколько тонн руды необходимо будет переработать для получения 1 000 000 т концентрата, если выход концентрата 10 %?

Ответ: 10 000 000 т.

Задача 15. Найти выход медного концентрата и извлечение меди в хвосты, если содержание меди в руде 0,8 %, а в концентрате 20,5 %, извлечение меди в концентрат составляет 79 %.

Ответы: 7,5 и 86,2 %.

Задача 16. Вычислить с какой массовой долей ценного компонента фабрика вырабатывает концентрат, если извлечение в концентрат компонента 85,55 %, массовая доля его в руде 2,5 %, а выход концентрата 6 %.

Ответ: 35,65 %.

Задача 17. Рассчитать извлечение полезного компонента в концентрат, если фабрика перерабатывает руду с содержанием полезного компонента 20 %, а получает концентрат с содержанием его 50 % и хвосты с содержанием 2 %.

Ответ: 93,75 %.

Задача 18. Определить извлечение металла в концентрат и массовую долю металла в хвостах, если производительность фабрики 50 000 т/сутки, масса хвостов 48 500 т/сутки, массовая доля металла в руде 1,5 %, в концентрате 40 %.

Ответ: 80%; 0,31 %.

Задача 19. Рассчитать выход концентрата и извлечение в него полезного компонента, если из 1000 т руды с содержанием полезного компонента 0,8 % в процессе обогащения получено 13 т концентрата с содержанием полезного компонента 60 %.

Ответ: 1,3; 97,5 %.

Задача 20. Рассчитать, во сколько раз повысится содержание металла в концентрате, если при одном и том же выходе концентрата извлечение металла в концентрат повысилось в два раза.

Ответ: в два раза.

Задача 21. Установить, сколько тонн железного концентрата в сутки выдаст обогатительная фабрика, если её суточная производительность по руде 15 000 т, содержание железа в руде 28 %, в концентрате 63 %, Извлечение железа в концентрат 90 %.

Ответ: 6 000 т.

Задача 22. Сколько тонн металла можно дополнительно получить, если извлечение металла в концентрат увеличить с 90 до 95 % ? Производительность фабрики 10 000 т/сутки, массовая доля металла в руде 2 %.

Ответ: 10 т.

Задача 23. Определить извлечение цинка в концентрат, если содержание цинка в руде 2,5 %, в концентрате 55 %, в хвостах 0,51 %.

Ответ: 80,35 %.

Задача 24. Вычислить выход концентрата, если извлечение металла 98 %, массовая доля его в исходной руде 2 %, а в концентрате 49 %.

Ответ: 4 %.

Задача 25. Рассчитать, сколько руды нужно переработать для получения 500 т концентрата, если его выход составляет 5 %.

Ответ: 10 000 т.

Задача 26. Сколько тонн руды нужно переработать для получения 1 000 т концентрата, если выход хвостов составляет 90 %.

Ответ: 10 000 т.

Задача 27. Вычислить потери меди с цинковым концентратом, если выход цинкового концентрата 5 %, а содержание меди в нем 2 %. Содержание меди в исходной руде 1,2 %.

Ответ: 8,3 %.

Задача 28. Вычислить массу меди и её массовую долю в суммарном концентрате, если фабрика получает концентрат после обогащения песковой и шламовой фракций руды. При обогащении песковой фракции получают в сутки 7 т концентрата с массовой долей меди 20 %, а при обогащении шламовой фракции - 3 т концентрата с массовой долей 18 %.

Ответ: 1,94 т, 19,4 %

Задача 29. Рассчитать, сколько нужно переработать руды с содержанием меди 1 % для получения 100 т концентрата, содержащего 20 % меди. Содержание меди в хвостах 0,1 %.

Ответ: 2212 т.

Задача 30. Определить массовую долю молибдена в руде, если извлечение молибдена в концентрат 95 %, выход концентрата 0,25 %, массовая доля металла в концентрате 48,5 %.

Ответ: 0,15 %.

Задача 31. Определить содержание компонентов в хвостах, если извлечение его в концентрат 90 %, выход хвостов 95 %, содержание в исходном 1 %.

Ответ: 0,105 %.

Задача 32. Найти содержание металла в хвостах при обогащении монометаллической руды с содержанием металла 2,5 %, если извлечение в концентрат 94 % при выходе 3,0 %.

Ответ: 0,15 %.

Задача 33. Сколько тонн металла с концентратом отгружает обогатительная фабрика в сутки металлургическому заводу, если производительность фабрики по руде 10 000 т/сутки, массовая доля металла в руде 2 %, а извлечение металла в концентрат составляет 90 %?

Ответ: 180 т/сутки.

Задача 34. Вычислить содержание металла в исходной руде, если выход концентрата 8 %, извлечение 90 % и содержание металла в нем 60 %.

Ответ: 5,33 %.

Задача 35. Фабрика имеет производительность 10 000 т/сутки. Сколько потребуется в сутки 50-тонных вагонов для отгрузки концентрата и промпродукта, если фабрика сбрасывает хвостов 5 000 т/сутки, а выход промпродукта составляет 10 %?

Ответ: 80 и 20 вагонов.

Задача 36. Определить потери меди в цинковом концентрате, полученном при обогащении медно-цинковой руды с содержанием меди 1,0 %, если выход цинкового концентрата составил 4,5 % с содержанием меди в нем 4 %.

Ответ: 18 %.

Задача 37. Установить количество свинца, потерянного в хвостах при флотации 6000 т руды с содержанием свинца 4 %, если извлечение его в концентрат 85 %.

Ответ: 36 т.

Задача 38. Фабрика перерабатывает руду с массовой долей металла 2% и имеет производительность 50 000 т/сутки. Каждые сутки на хвостохранилище отправляется 48 000 т продукта. Концентрат, получаемый на фабрике, имеет массовую долю 45 %. Определить извлечение металла в концентрат и хвосты.

Ответ: 90 и 10%.

Задача 39. Найти содержание железа в концентрате, если при обогащении железной руды с содержанием железа 20 % выход концентрата 30 %, а извлечение 90 %.

Ответ: 60 %.

Задача 40. Производительность фабрики 10 000 т/сутки. Определить массовую долю металла в исходной руде, если фабрика отгружает концентрат с массовой долей металла в нем 20 % в количестве 100 т/сутки и получает хвосты с массовой долей 0,1.

Ответ: 0,299 %.

Задача 41. Определить извлечение и содержание золы в хвостах, если при обогащении извлечение золы в концентрат составляет 8 % при выходе их 68 %. Содержание золы в исходной руде 20 %.

Ответы: 92 и 57,5 %.

Задача 42. Сколько потребуется 60-тонных вагонов в сутки для отправки концентрата с обогатительной фабрики, если производительность фабрики 16 000 т/сутки. Массовая доля металла в исходной руде 3 %, в концентрате 20 %, а извлечение металла в хвосты 10%.

Ответ: 36 вагонов.

Задача 43. Вычислить выход и извлечение  $P_2O_5$  в концентрат, который получают при обогащении апатитовой руды, содержащей 20 %  $P_2O_5$ , если содержание  $P_2O_5$  в концентрате 34,5 % и в хвостах 1 %.

Ответы: 56,7 и 97,8 %.

Задача 44. Определить, сколько тонн металла в сутки теряет обогатительная фабрика с хвостами, если она перерабатывает

10 000 т/сутки с массовой долей металла в руде 2 %. Извлечение металла в концентрат составляет 90 %.

Ответ: 20 т.

Задача 45. Определить содержание молибдена в концентрате, если при обогащении руды с содержанием молибдена 0,1 % выход концентрата 0,15 % при извлечении в него молибдена 80 %.

Ответ: 53,3 %.

Задача 46. Вычислить, сколько тонн металла в сутки теряет обогатительная фабрика с хвостами, если она перерабатывает 14 000 т/сутки с массовой долей металла в руде 1,5 %. В результате обогащения получают концентрат с массовой долей металла в нем 18 %, выход концентрата 5 %.

Ответ: 84 т.

Задача 47. Рассчитать, во сколько раз увеличится содержание меди в хвостах, если при одном и том же выходе хвостов извлечение меди в концентрат понизится с 95 до 90 %.

Ответ: в 2 раза.

Задача 48. На фабрике, перерабатывающей 10 000 т/сутки, получают концентрат, промпродукт и хвосты. Выход концентрата и хвостов 4% и 90 % соответственно. Определить, сколько тонн промпродукта отгружает фабрика в сутки потребителю.

Ответ: 600 т.

Задача 49. Найти выход концентрата и потери полезного компонента в хвостах, если из 2000 т руды с содержанием полезного компонента 0,8 % в процессе обогащения получено 26 т концентрата с содержанием полезного компонента 48 %.

Ответы: 1,3 и 22 %.

Задача 50. Производительность фабрики по руде 10 000 т/сутки. Рассчитать, сколько тонн хвостов в сутки получает фабрика, если извлечение металла в концентрат 90 %, массовая доля металла в руде 3%, а в концентрате 20 %.

Ответ: 8 650 т.

Задача 51. Фабрика отгружает металлургическому заводу 180 т/сутки металла с концентратом. Определить, извлечение металла в концентрат, если фабрика перерабатывает 10 000 т/сутки руды с массовой долей металла 2 %.

Ответ: 90 %.

Задача 52. Определить массовую долю металла в хвостах и руде, если на фабрике получают хвосты и концентрат. Выход хвостов 90%, извлечение в них металла 9 %, массовая доля металла в концентрате 20 %.

Ответ: 0,22 и 2,2 %.

Задача 53. Вычислить массу олова и его содержание в суммарном концентрате, если на фабрике получают оловянный концентрат после обогащения руды на отсадочных машинах и столах. С отсадочных машин получают в сутки 3 т концентрата с содержанием олова 20 %, а со столов - 2 т с содержанием олова 15 %.

Ответы: 0,9 т и 18 %.

Задача 54. Сколько тонн металла выплавят на металлургическом заводе в сутки (потери при плавке равны нулю) из концентрата с массовой долей металла 15 %, если концентрат получен из руды, перерабатываемой на фабрике, производительность которой 100 000 т/сутки, а выход хвостов составляет 90 %?

Ответ: 150 т.

Задача 55. Коксохимическому заводу требуется 120 т/ч концентрата зольностью (с содержанием золы) 10 %. Определить необходимую производительность фабрики по рядовому (необогащенному) углю и его зольность, если известно, что выход концентрата от рядового угля составляет 80 %, а зольность хвостов должна быть 70 %.

Ответы: 150 т/ч и 22 %.

Задача 56. Определить массовую долю металла в концентрате, если выход этого продукта 10 %, массовая доля металла в исходной руде 3 %, а извлечение металла в хвосты 10 %.

Ответ: 21%.

Задача 57. Фабрика отгружает металлургическому заводу 200 т/сутки металла с концентратом. Производительность фабрики по исходной руде 20 000 т/сутки, в исходной руде массовая доля металла 1,5 %. Вычислить извлечение металла в концентрат.

Ответ: 66,6 %.

Задача 58. Найти выход концентрата, если на обогатительную фабрику поступает оловянная руда с двух рудников в равном количестве с содержанием олова соответственно 0,3 и 0,5 % и после

обогащения этой смеси руды фабрика получает концентрат с содержанием олова 28 % и хвосты с содержанием олова 0,2%.

Ответ: 0,72 %.

Задача 59. Установить, сколько тонн свинцового концентрата отгружает обогатительная фабрика, если её суточная производительность по руде 5000 т; содержание свинца в исходной руде 2 %, в концентрате 60 %, а извлечение свинца в концентрат 90 %.

Ответ: 150 т.

Задача 60. Определить, сколько тонн в сутки отправляет фабрика хвостов на хвостохранилище, если производительность фабрики по исходной руде 10 000 т/сутки, извлечение металла в концентрат 90 %, массовая доля металла в руде 2 %, а в концентрате 20 %.

Ответ: 91 000 т.

Задача 61. Узнать, сколько нужно переработать руды для получения 1 т концентрата, если выход его составляет 4 %. Рассчитать выход хвостов.

Ответы: 25 т и 96 %.

Задача 62. Определить выход хвостов, если фабрика получает 100 т/сутки концентрата, а производительность фабрики 10 000 т/сутки.

Ответ: 99 %.

Задача 63. Вычислить извлечение металла в концентрат и хвосты, если фабрика после обогащения 1 000 т руды с содержанием металла 0,5 % получила 10 т концентрата с содержанием металла 45 %.

Ответы: 90 %.

Задача 64. Фабрика перерабатывает «объединенную» руду, поступающую с двух шахт: с первой в количестве 800 т/ч, со второй – 900 т/ч; содержание полезного компонента в «первой» руде составляет 35,5 %, во «второй» – 30 %; после переработки получается концентрат с содержанием полезного компонента 65,5 %, и хвосты с содержанием – 9,0 %. Определить извлечение полезного компонента в концентрат.

Ответ: 83,91 %.

Задача 65. Определить сколько тонн меди теряется с 1 000 000 т хвостов при переработке руды с массовой долей меди

1 %, если извлечение меди в концентрат 85,6 %, а выход концентрата 10 %.

Ответ: 1 600 т.

Задача 66. Рассчитать, сколько хвостов в сутки будет выбрасывать фабрика, если выход концентрата 5 %, а суточная производительность по руде 5 000 т.

Ответ: 4 750 т.

Задача 67. Определить извлечение свинца в свинцовый концентрат, если производительность фабрики 10 000 т/сутки, масса получаемого концентрата 150 т/сутки, массовая доля металла в руде 1 %, в концентрате 55 %.

Ответ: 82,5 %.

Задача 68. Определить потери меди и цинка в хвостах, если извлечение меди и цинка в медном концентрате соответственно 90 и 5 %, а в цинковом - 6 и 85 %.

Ответы: 4 и 10 %.

Задача 69. Сколько тонн руды необходимо будет переработать для получения 1 000 000 т концентрата, если выход концентрата 10 %?

Ответ: 10 000 000 т.

Задача 70. Найти выход медного концентрата и извлечение меди в хвосты, если содержание меди в руде 0,8 %, а в концентрате 20,5 %, извлечение меди в концентрат составляет 79 %.

Ответы: 7,5 и 86,2 %.

Задача 71. Вычислить с какой массовой долей ценного компонента фабрика вырабатывает концентрат, если извлечение в концентрат компонента 85,55 %, массовая доля его в руде 2,5 %, а выход концентрата 6 %.

Ответ: 35,65 %.

Задача 72. Рассчитать извлечение полезного компонента в концентрат, если фабрика перерабатывает руду с содержанием полезного компонента 20 %, а получает концентрат с содержанием его 50 % и хвосты с содержанием 2 %.

Ответ: 93,75 %.

Задача 73. Определить извлечение металла в концентрат и массовую долю металла в хвостах, если производительность фабрики

ки 50 000 т/сутки, масса хвостов 48 500 т/сутки, массовая доля металла в руде 1,5 %, в концентрате 40 %.

Ответ: 80%; 0,31 %.

Задача 74. Рассчитать выход концентрата и извлечение в него полезного компонента, если из 1000 т руды с содержанием полезного компонента 0,8 % в процессе обогащения получено 13 т концентрата с содержанием полезного компонента 60 %.

Ответ: 1,3; 97,5 %.

Задача 75. Рассчитать, во сколько раз повысится содержание металла в концентрате, если при одном и том же выходе концентрата извлечение металла в концентрат повысилось в два раза.

Ответ: в два раза.

Задача 76. Установить, сколько тонн железного концентрата в сутки выдаст обогатительная фабрика, если её суточная производительность по руде 15 000 т, содержание железа в руде 28 %, в концентрате 63 %, Извлечение железа в концентрат 90 %.

Ответ: 6 000 т.

Задача 77. Сколько тонн металла можно дополнительно получить, если извлечение металла в концентрат увеличить с 90 до 95 %? Производительность фабрики 10 000 т/сутки, массовая доля металла в руде 2 %.

Ответ: 10 т.

Задача 78. Определить извлечение цинка в концентрат, если содержание цинка в руде 2,5 %, в концентрате 55 %, в хвостах 0,51 %.

Ответ: 80,35 %.

Задача 79. Вычислить выход концентрата, если извлечение металла 98 %, массовая доля его в исходной руде 2 %, а в концентрате 49 %.

Ответ: 4 %.

Задача 80. Рассчитать, сколько руды нужно переработать для получения 500 т концентрата, если его выход составляет 5 %.

Ответ: 10 000 т.

Задача 37. Сколько тонн руды нужно переработать для получения 1 000 т концентрата, если выход хвостов составляет 90 %.

Ответ: 10 000 т.

Задача 81. Вычислить потери меди с цинковым концентратом, если выход цинкового концентрата 5 %, а содержание меди в нем 2 %. Содержание меди в исходной руде 1,2 %.

Ответ: 8,3 %.

Задача 82. Вычислить массу меди и её массовую долю в суммарном концентрате, если фабрика получает концентрат после обогащения песковой и шламовой фракций руды. При обогащении песковой фракции получают в сутки 7 т концентрата с массовой долей меди 20 %, а при обогащении шламовой фракции - 3 т концентрата с массовой долей 18 %.

Ответ: 1,94 т, 19,4%

Задача 83. Рассчитать, сколько нужно переработать руды с содержанием меди 1 % для получения 100 т концентрата, содержащего 20 % меди. Содержание меди в хвостах 0,1 %.

Ответ: 2212 т.

Задача 84. Определить массовую долю молибдена в руде, если извлечение молибдена в концентрат 95 %, выход концентрата 0,25 %, массовая доля металла в концентрате 48,5 %.

Ответ: 0,15 %.

Задача 85. Определить содержание компонентов в хвостах, если извлечение его в концентрат 90 %, выход хвостов 95 %, содержание в исходном 1 %.

Ответ: 0,105 %.

Задача 86. Сколько тонн металла с концентратом отгружает обогатительная фабрика в сутки металлургическому заводу, если производительность фабрики по руде 10 000 т/сутки, массовая доля металла в концентрате 20 %, а выход хвостов составляет 95 %?

Ответ: 100 т/сутки.

Задача 87. Найти содержание металла в хвостах при обогащении монометаллической руды с содержанием металла 2,5 %, если извлечение в концентрат 94 % при выходе 3,0 %.

Ответ: 0,15 %.

Задача 88. Фабрика имеет производительность 10 000 т/сутки. Сколько потребуется в сутки 50-тонных вагонов для отгрузки концентрата и промпродукта, если фабрика сбрасывает хвостов 5 000 т/сутки, а выход промпродукта составляет 10 %?

Ответ: 80 и 20 вагонов.

Задача 89. Определить потери меди в цинковом концентрате, полученном при обогащении медно-цинковой руды с содержанием меди 1,0 %, если выход цинкового концентрата составил 4,5 % с содержанием меди в нем 4 %.

Ответ: 18 %.

Задача 90. Установить количество свинца, потерянного в хвостах при флотации 6000 т руды с содержанием свинца 4 %, если извлечение его в концентрат 85 %.

Ответ: 36 т.

Задача 91. Фабрика перерабатывает руду с массовой долей металла 2 % и имеет производительность 50 000 т/сутки. Каждые сутки на хвостохранилище отправляется 48 000 т продукта. Концентрат, получаемый на фабрике, имеет массовую долю 45 %. Определить извлечение металла в концентрат и хвосты.

Ответ: 90 и 10 %.

Задача 92. Найти содержание железа в концентрате, если при обогащении железной руды с содержанием железа 20 % выход концентрата 30 %, а извлечение 90 %.

Ответ: 60 %.

Задача 93. Производительность фабрики 10 000 т/сутки. Определить массовую долю металла в исходной руде, если фабрика отгружает концентрат с массовой долей металла в нем 20 % в количестве 100 т/сутки и получает хвосты с массовой долей 0,1.

Ответ: 0,299 %.

Задача 94. Определить извлечение и содержание золы в хвостах, если при обогащении извлечение золы в концентрат составляет 8 % при выходе их 68 %. Содержание золы в исходной руде 20 %.

Ответы: 92 и 57,5 %.

Задача 95. Сколько потребуется 60-тонных вагонов в сутки для отправки концентрата с обогатительной фабрики, если производительность фабрики 16 000 т/сутки. Массовая доля металла в исходной руде 3 %, в концентрате 20 %, а извлечение металла в хвосты 10 %.

Ответ: 36 вагонов.

Задача 96. Вычислить выход и извлечение  $P_2O_5$  в концентрат, который получают при обогащении апатитовой руды, содержащей

20 %  $P_2O_5$ , если содержание  $P_2O_5$  в концентрате 34,5 % и в хвостах 1 %.

Ответы: 56,7 и 97,8 %.

Задача 97. Определить, сколько тонн металла в сутки теряет обогатительная фабрика с хвостами, если она перерабатывает 10 000 т/сутки с массовой долей металла в руде 2 %. Извлечение металла в концентрат составляет 90 %.

Ответ: 20 т.

Задача 98. Определить содержание молибдена в концентрате, если при обогащении руды с содержанием молибдена 0,1 % выход концентрата 0,15 % при извлечении в него молибдена 80 %.

Ответ: 53,3 %.

Задача 99. Вычислить, сколько тонн металла в сутки теряет обогатительная фабрика с хвостами, если она перерабатывает 14 000 т/сутки с массовой долей металла в руде 1,5 %. В результате обогащения получают концентрат с массовой долей металла в нем 18 %, выход концентрата 5 %.

Ответ: 84 т.

Задача 100. На фабрике, перерабатывающей 10 000 т/сутки, получают концентрат, промпродукт и хвосты. Выход концентрата и хвостов 4 % и 90 % соответственно. Определить, сколько тонн промпродукта отгружает фабрика в сутки потребителю.

Ответ: 600 т.

## **Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Цель работы - ознакомление с методикой определения гранулометрического состава представительной пробы анализируемого материала методом ситового анализа.

### **Основные понятия и условные обозначения:**

*Гранулометрический состав* - распределение зёрен (кусков) материала по крупности в массивах горной породы, горной массы, почве или искусственном продукте, характеризующее выходом в процентах от массы или количества зёрен.

Гранулометрический состав различных видов руд устанавливается стандартами и техническими условиями, разрабатываемыми для конкретных потребителей данного вида сырья. В зави-

симости от цели исследования и размеров частиц гранулометрический состав определяется разными методами. Один из наиболее отработанных и надёжных методов – это ситовой анализ, т.е. рассев сыпучего материала на стандартных ситах с отверстиями различных размеров. Для ситового анализа применяют наборы стандартных сит с последовательно уменьшающимся (от верхнего к нижнему) размером ячеек.

*Представительная проба* – проба, выделенная по определенным правилам, с составом по крупности, аналогичным всей массе анализируемого материала.

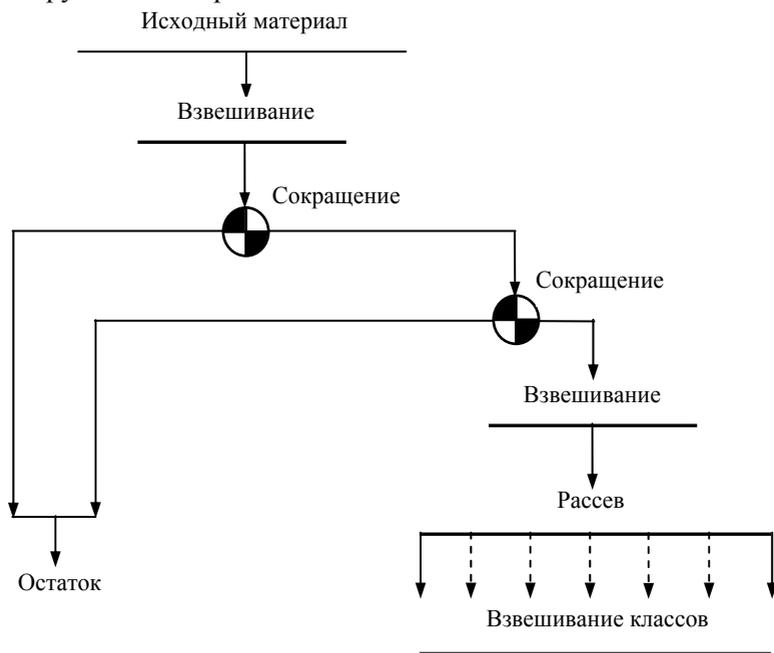


Рис.2. Схема ситового анализа

*Класс* – часть представительной пробы, полученная после рассева на ситах, включающая зерна с ограниченными размерами.

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

«Узкий» класс крупности – материал мельче чем сито с размером ячейки  $d_m$ , но крупнее, чем сито с размером ячейки  $d_n$ .

Модуль шкалы сит – отношение размеров отверстий двух смежных сит (большого к меньшему). Обычно это величина постоянная.

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

Крупность класса  $+d_n$  – крупность класса крупнее чем  $d_n$ . Например,  $+3$  мм означает, что материал крупнее 3 мм.

Крупность класса  $-d_n$  – крупность класса мельче чем  $d_n$ . Например,  $-3$  мм означает, что материал мельче чем 3 мм.

Крупность класса  $-d_n + d_m$  означает, что крупность материала мельче чем  $d_m$ , но крупнее, чем  $d_n$ . Например,  $-3 + 1$  мм означает, что материал мельче чем 3 мм, но крупнее, чем 1 мм.

**Аппаратура.** Механический встряхиватель с набором лабораторных сит; струйчатый делитель; технические весы.

**Исходный материал и схема опыта.** Навеска измельченного материала крупностью -1 мм, массой около 500 г. Схема проведения опыта приведена на рис.2. (Масса навески и крупность материала могут меняться по указанию преподавателя).

#### **Порядок выполнения работы.**

1. Взвешивают навеску исходного материала и определяют число сокращений пробы на струйчатом делителе для ее доведения до массы представительной пробы (например, для выделения пробы массой 100-150 г исходный материал, массой 500 г нужно сократить 2 раза).

2. Пробу сокращают необходимое число, раз до требуемой массы 100-150 г и взвешивают с точностью до 0,1 г на технических весах.

3. Составляют набор сит с последовательно уменьшающимися отверстиями, начиная с самого крупного (наверху). Нижнее сито вставляют в поддон.

4. Пробу, выделенную сокращением, высыпают на верхнее сито, закрывают крышкой, набор закрепляют в механическом встряхивателе и в течение 10 мин. проводят операцию отсева. (Время отсева может быть изменено по указанию преподавателя).

5. Через 10 мин. набор сит снимают, и полученные на ситах классы взвешивают с точностью до 0,1 г.

6. Определяют суммарную массу полученных классов. Если она отличается от массы исходной навески не более чем на 2%, то производят обработку результатов опыта. Если расхождение превышает 2 %, опыт переделывают.

### Анализ результатов.

1. По результатам взвешивания каждого класса определяют по формуле (1) их выходы с точностью до 0,01 %, результаты записывают в таблицу. Пример заполнения таблицы приведен в таблице 1.

*Таблица 1*

Пример заполнения таблицы

Крупность класса, мм	Масса, г	Выход, %	Суммарный выход по "+"		Суммарный выход по "-"	
			Крупность класса, мкм	Выход, %	Крупность класса, мм	Выход, %
+1,2	0	0	1,200	0,0	1,200	100,0
-1,2+1	5,1	4,24	1,000	4,24	1,000	95,8
-1+0,8	17,2	14,30	0,800	18,54	0,800	81,5
-0,8+0,63	18,1	15,05	0,630	33,69	0,630	66,4
-0,63+0,4	14,8	12,30	0,400	45,89	0,400	54,1
-0,4+0,2	16,0	13,30	0,200	59,19	0,200	40,8
-0,2+0,1	13,3	11,06	0,100	70,25	0,100	29,8
-0,1+0,071	14,1	11,72	0,071	81,97	0,071	18,04
-0,071+0,0	21,7	18,04	0,000	100,00	0,000	0,0
	120,3	100,00				

2. Определяют суммарный выход по плюсу, т.е. выход классов крупнее отверстий данного сита, и суммарный выход по минусу, т.е. выход классов мельче отверстий данного сита.

3. Строят на одном графике (рис.3) характеристики крупно-

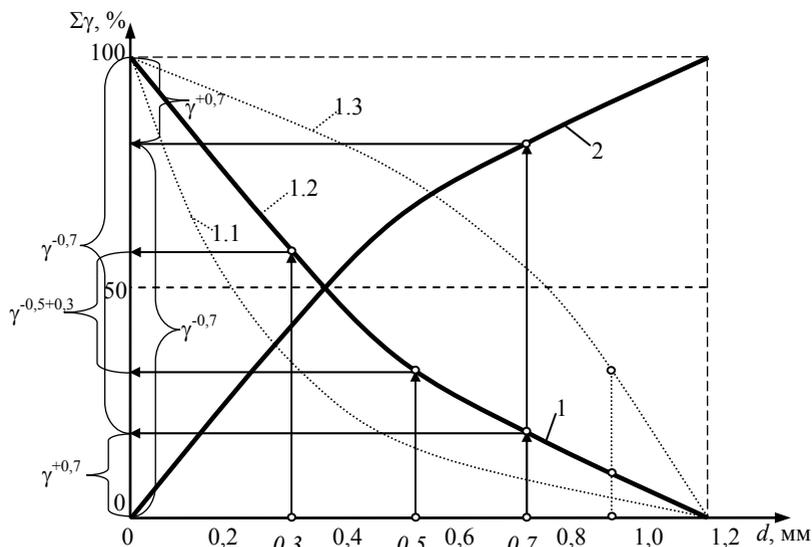


Рис. 3. Суммарные характеристики крупности.

1 – по «+», 2 – по «-»

сти по плюсу и по минусу в координатах: суммарный выход по плюсу или по минусу (по оси ординат) - размер отверстий сит (по оси абсцисс).

**Использование результатов опытов.** По виду кривой характеристики крупности можно судить о преобладании в материале зерен той или иной крупности. Вогнутая кривая (на рис. 2, кривая 1.1) говорит о преобладании мелких зерен, выпуклая кривая (на рис. 2, кривая 1.3) – о преобладании крупных зерен, близкая к прямой кривая (на рис. 2, кривая 1.2) – о равномерном распределении зерен.

Также, по суммарным характеристикам крупности можно определять выход (содержание) класса любой крупности и «узкого» класса крупности (рис.2). При ситовом анализе выход класса определенной 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.

Контролем правильности построения характеристик крупности (см. рис.2) являются их симметрия относительно оси 50 %.

Характеристика крупности по плюсу должна пересекать ось ординат в точке, соответствующей выходу 100 %, а ось абсцисс - в точке, соответствующей крупности максимальных кусков (1,2 мм). Характеристика крупности по минусу должна выходить из начала координат, а ее ордината, соответствующая максимальной крупности, равна 100 %.

Кривые по плюсу и по минусу должны пересекаться в точке, соответствующей суммарному выходу равному 50 %.

**Оформление отчета.** Отчет о работе оформляется индивидуально. Требования к отчету приведены во введении.

### РАБОТА 3. ОПЫТЫ ДРОБЛЕНИЯ

**Цель работы** - изучение конструкции и принципа действия щековой дробилки, определение ее производительности, степени дробления.

**Основные понятия.** Дробление – процесс уменьшения размеров кусков руды под действием внешних сил, преодолевающих внутренние силы сцепления частиц твердого вещества.

Основные способы дробления – раздавливание, раскалывание, удар, изгиб, истирание.

*Степень дробления (сокращения)* – отношение размера максимального куска полезного ископаемого до дробления к размеру максимального куска после дробления. Определяют ее по формуле:

$$S = D_{max} / d_{max} \quad (2.1)$$

или, что более правильно

$$S = D_{cp} / d_{cp} \quad (2.1)$$

где  $S$  - степень дробления;  $D_{max}$  – размер максимального куска до дробления, мм;  $d_{max}$  – размер максимального куска после дробления, мм;  $D_{cp}$ ,  $d_{cp}$  – соответственно, средневзвешенные размеры материала до и после дробления.

**Аппаратура.** Лабораторная щековая дробилка, секундомер, ситовой анализатор с набором сит, технические весы; совки; емкости для продуктов.

Размеры отверстий сит задаются преподавателем в зависимости от крупности исходного и дробленого материалов.

**Исходный материал для опыта.** Навеска руды массой примерно 1 - 2 кг. (Материал и масса навески могут уточняться преподавателем).

**Порядок выполнения работы.**

1. Проводят ситовой анализ исходной руды или пробы, отобранной из исходной руды (см. работу 2).

2. Из материала, находящегося на верхнем сите, визуально, выбирают три наиболее крупных куска.

3. Измеряют каждый кусок по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

4. Вычисляют средний размер каждого из кусков:

$$D_{\max}^1 = \frac{L_1 + W_1 + H_1}{3}; D_{\max}^2 = \frac{L_2 + W_2 + H_2}{3}; D_{\max}^3 = \frac{L_3 + W_3 + H_3}{3},$$

где,  $D_{\max}^i$  – соответственно максимальный размер первого, второго и третьего куска руды,  $L_i$ ,  $W_i$ ,  $H_i$  – соответственно длина, ширина и высота каждого из кусков.

Находят максимальный размер  $D_{\max}$  куска до дробления:

$$D_{\max} = \frac{D_{\max}^1 + D_{\max}^2 + D_{\max}^3}{3}$$

5. По данным ситового анализа определяют средневзвешенный диаметр материала  $D_{\text{ср}}$  до дробления. Для примера, ниже показано определение среднего диаметра материала, гранулометрический состав которого приведен выше, в таблице 2.

*Пример* (см. табл. 1). Вычисляем средние размеры узких классов крупности:  $(1,2+1)/2 = 1,1$ ,  $(1+0,8)/2 = 0,9$ , и т.д. Затем умножаем средний размер каждого узкого класса крупности на его выход, суммируем полученные произведения и делим полученную сумму на сумму выходов всех классов.

$$d_{cp} = \frac{1,1 \cdot 4,24 + 0,9 \cdot 14,3 + 0,715 \cdot 15,05 + 0,515 \cdot 12,3 + 0,3 \cdot 13,3 + 0,15 \cdot 11,06 + 0,0855 \cdot 11,72 + 0,0355 \cdot 18,04}{4,24 + 14,3 + 15,05 + 12,3 + 13,3 + 11,06 + 11,72 + 18,04} = 0,419 \text{ мм}$$

(Сумма выходов всех классов должна быть равна 100 %).

6. Включают дробилку и равномерно загружают исходный материал. Засекают время дробления.

7. Проводят ситовой анализ дробленого материала (или пробы, отобранной из дробленого материала).

8. Определяют максимальный размер кусков дробленого продукта  $d_{max}$  и средневзвешенный диаметр  $d_{cp}$  частиц дробленого материала  $d_{cp}$  так же, как и для исходного материала. Т.е. повторяют пп. 2 – 5.

9. Определяют степени дробления по двум формулам:

$$S = \frac{D_{max}}{d_{max}}$$

$$S = \frac{D_{cp}}{d_{cp}}$$

10. Рассчитывают производительность дробилки  $Q_{др}$  (кг/мин) по формуле:

$$Q_{др} = M/t,$$

где  $M$  – масса пробы, кг;  $t$  – время дробления, мин.

**Оформление отчета** - см. введение.

#### **Работа 4. ОПЫТЫ ГРОХОЧЕНИЯ**

**Цель работы** - ознакомление с принципом действия грохота и изучение влияния производительности грохота на эффективность грохочения.

**Основные понятия.** *Грохочение* – процесс разделения зернистых материалов по крупности на просеивающих поверхностях с калиброванными отверстиями.

Материал, поступающий на грохочение, называется *исходным*, остающийся (не просеявшийся) на просеивающей поверхности – *надрешетным* (верхним) продуктом, проваливающийся через отверстия просеивающей поверхности – *подрешетным* (ниж-

ним) продуктом.

Качество проведенной операции грохочения определяется эффективностью грохочения, выражаемой в долях единицы или процентах.

Важнейшим показателем процесса грохочения является его эффективность. *Эффективность грохочения* – величина, характеризующая полноту удаления тонких зерен из исходного продукта, подвергаемого грохочению. *Эффективность грохочения* – это отношение массы подрешетного продукта к массе материала мельче отверстий решета (отверстий просеивающей поверхности) в исходном питании.

На эффективность грохочения влияют много различных факторов один из которых – удельная производительность грохота (или удельная нагрузка на грохот).

Эффективность грохочения в процентах по зерну с размером  $d$  может быть рассчитана по формуле

$$E = \frac{(\beta_{\text{исх}}^{-d} - \beta_{+}^{-d})}{(100 - \beta_{+}^{-d})\beta_{\text{исх}}^{-d}} 10^4, \quad (4.1)$$

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

**Аппаратура.** Плоский подвижной грохот; струйчатый дельтатель; весы; секундомер; механический встряхиватель с набором сит; емкости для продуктов.

**Исходный материал и схема опыта.** Дробленый продукт крупностью  $-(3+5)$  мм массой около 8 кг. Масса исходной пробы для каждого опыта около 2 кг. Крупность материала и масса навески могут корректироваться преподавателем.

**Порядок выполнения работы.**

1. Дробленый продукт массой 8 кг делят на струйчатом дельтателе на четыре части (четыре навески). Схема опыта приведена на рисунке 4.

2. Три из четырех навесок (это будет навески для проведения опытов грохочения) взвешивают на технических весах для определения массы исходной навески  $M_i$  для каждого из тех опытов.

3. Из четвертой навески путем последовательного сокращения на струйчатом делителе выделяют пробу массой  $Q_{исх} = 150 - 200$  г. для ситового анализа исходного материала.

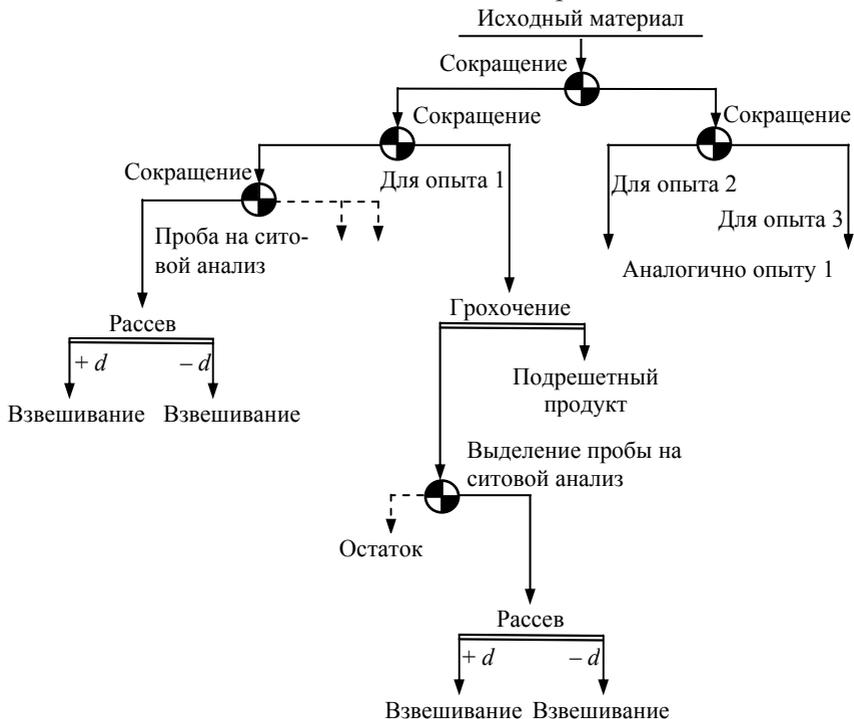


Рис.4. Схема опытов грохочения

Три навески пропускают последовательно через грохот при различной скорости подачи исходного питания. Регулировка скорости подачи осуществляется, например, установкой сменных питающих воронок с различным диаметром выпускного отверстия. Таким образом, проводят три опыта грохочения при разной удельной нагрузке на грохот (разной удельной производительности грохота).

4. При проведении каждого опыта фиксируют время прохождения материала по грохоту  $t_i$ , отмечая начало и конец подачи питания из воронки на грохот по секундомеру.

5. Параллельно опытам грохочения проводят ситовой анализ, по классу крупности, заданному преподавателем (например, 1 мм), пробы массой  $Q_{исх} = 150 - 200$  г, выделенной из четвертой навески. По полученным результатам рассчитывают  $\beta_{исх}^{-d}$ .

6. Из надрешетных продуктов, полученных в каждом из трех опытов, путем последовательного сокращения, выделяют навески массой  $Q_i = 150+200$  г для ситового анализа. Ситовой анализ проводят по тому же классу крупности, что и для исходного продукта. Затем рассчитывают  $\beta_+^{-d}$ .

7. Рассчитывают эффективность грохочения по формуле.

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

$$m_i = \frac{M_i \cdot 3600}{t_i \cdot S}$$

Полученные данные заносят в таблицу 2.

Таблица 2

### Результаты опытов грохочения

№ оп.	Масса пробы для опыта грохочения $M_i$ , г	Время загрузки материала на грохот $t_i$ , с	Удельная нагрузка на грохот $m_i$ , т/(ч м <sup>2</sup> )	Результаты ситового анализа			Эффективность грохочения $E_i$ , %
				Масса пробы для ситового анализа $Q_i$ , г	Масса класса $-d$ в пробе для ситового анализа $P_i$ , г	Содержание класса $-d$ в пробе анализа $\beta_i^{-d}$ , %	
1	$M_1$	$t_1$	Надрешетный продукт	$Q_1$	$P_1$	$\beta_{(+1)}^{-d}$	$E_1$
2	$M_2$	$t_2$		$Q_2$	$P_2$	$\beta_{(+2)}^{-d}$	$E_2$
3	$M_3$	$t_3$		$Q_3$	$P_3$	$\beta_{(+3)}^{-d}$	$E_3$
Исходный материал	-	-	-	$Q_{исх}$	$P_{исх}$	$\beta_{исх}^{-d}$	

где  $M_i$  - масса исходного материала для  $i$ -го опыта, г;

$t_i$  - время загрузки материала на грохот в  $i$ -м опыте, с;

$S$ - площадь рабочей поверхности грохота, м<sup>2</sup>.

**Использование результатов опытов.** По результатам опытов строится графическая зависимость эффективности грохочения  $E$  от удельной нагрузки на грохот  $m_i$  и формулируется вывод о зависимости эффективности от производительности.

**Оформление отчета** - см. введение.

## **Работа 5. ОПЫТЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ**

**Цель работы** - ознакомление с принципом действия шаровой мельницы и влиянием некоторых параметров ее работы на результаты измельчения.

**Основные понятия.** *Измельчение* (как и дробление) – это процесс разрушения материала под воздействием внешних сил.

На результаты измельчения влияет много параметров и важнейшим из них является время измельчения.

**Аппаратура.** Лабораторная шаровая мельница с поворотной осью; ситовой анализатор с набором сит; струйчатый делитель; шары; весы; емкости; противни для продуктов.

**Исходный материал и схема опыта.** Дробленый материал крупностью – (3+5) мм массой 1 – 2 кг. Крупность и масса материала могут корректироваться преподавателем.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Из исходного материала приготавливают путем сокращения на струйчатом делителе (с корректировкой после взвешивания на весах) четыре навески (одна резервная) массой  $Q_{исх} = 1 - 2$  кг.

2. Составляют шаровую смесь из шаров различного диаметра в рекомендуемой преподавателем пропорции. Общую массу шаровой загрузки принимают равной 7 кг.

3. Загружают в мельницу шары и навеску руды. Запускают мельницу. Время измельчения – 10, 15 и 20 мин, либо по указанию преподавателя.

4. Параллельно с опытами измельчения, из резервной навески выделяют пробу массой  $Q_i$  (обычно 150 – 200 г) и проводят ее ситовой анализ по классу (классам) крупности, задаваемому преподавателем, для определения содержания расчетного класса крупности в исходном материале  $\beta_{исх}^{-d}$ .

5. Через заданное время останавливают мельницу, разгружают измельченный продукт в емкость.

6. Из измельченного материала выделяют пробу массой  $Q_i$  (обычно 150 – 200 г) и проводят ситовой анализ по тому же (тем же) классу крупности, что и на исходном материале, для определения содержания расчетного класса крупности в измельченном продукте  $\beta_i^{-d}$ .

7. Измельчения повторяют на двух других навесках, меняя время измельчения.

8. Аналогично, из измельченных материалов выделяют пробы массой  $Q_i$  (обычно 150 – 200 г) и проводят ситовой анализ по тому же (тем же) классу крупности, что и на исходном материале, для определения содержания расчетного класса крупности в измельченном продукте  $\beta_i^{-d}$ .

9. Полученные данные заносят в таблицу 3.

Таблица 3

### Результаты опытов измельчения

№ опыта	Время измельчения, мин.	Результаты ситового анализа		
		Масса пробы для ситового анализа $Q_i$ , г	Масса класса – $d$ в пробе для ситового анализа $P_i$	Содержание класса – $d$ в пробе анализа $\beta_i^{-d}$ , %
1	$t_1$	$Q_1$	$P_1$	$\beta_1^{-d}$
2	$t_2$	$Q_2$	$P_2$	$\beta_2^{-d}$
3	$t_3$	$Q_3$	$P_3$	$\beta_3^{-d}$
Исходный:	0	$Q_{исх}$	$P_{исх}$	$\beta_{исх}^{-d}$

**Анализ результатов.** По результатам ситового анализа (табл.3) определяют содержание расчетного класса крупности в измельченных продуктах.

**Использование результатов опытов.** По результатам опытов строится графическая зависимость содержания расчетного класса в измельченном продукте от времени измельчения.

**Оформление отчета** - см. введение.

## **Работа 6. ОПЫТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ОТСАДКИ**

**Цель работы** - ознакомление с процессом отсадки и влиянием переменных параметров на результаты разделения минералов при отсадке.

**Основные понятия.** *Гидравлическая отсадка* – разделение руды преимущественно по плотности в вертикальных потоках воды (реже воздуха) пульсирующих в вертикальном направлении. Отсадка самый распространённый процесс гравитационного обогащения полезных ископаемых.

*Постель* - слой материала (естественного либо искусственного), расположенный непосредственно на решетке отсадочной машины.

**Аппаратура.** Лабораторная двухкамерная отсадочная машина; струйчатый делитель; ведра; секундомер; литровая фарфоровая кружка; резиновая груша; весы; противни для сушки; магнитный сепаратор.

**Исходный материал и схема опыта.** Смесь магнетита и кварца крупностью – 1 мм. Масса навески для одного опыта 2 кг. Для постели используют, например, полевой шпат крупностью –6 + 3 мм. (Тип исходного материала, его крупность и масса могут меняться по указанию преподавателя).

**Условия проведения опытов.** Постоянные условия: примерная производительность по питанию 2 кг/мин; общий расход воды 10 л/мин, в том числе с исходным питанием 4 л/мин и подрешетной (в каждую камеру) по 3 л/мин (в серии с переменной толщиной постели); длина хода и число ходов диафрагмы фактические.

Переменные условия: в серии «а» толщина постели 10, 20, 30 и 50 мм при высоте сливного порога в каждой камере соответственно 30, 40, 50 и 60 мм (регулируется установкой съемных прокладок); в серии «б» переменный расход подрешетной воды при постоянной толщине постели 20 мм (расход воды задается преподавателем).

**Порядок выполнения работы** (рис. 5).

1. В рабочие отделения машины укладывают на решетку постель заданной толщины из полевого шпата.

2. С помощью съемных прокладок устанавливают соответствующую высоту сливного порога в камерах.

Устанавливают заданный расход воды (сначала смывной 4 л/мин, потом к ней добавляют подрешетную воду в одной камере:  $4+3=7$  л/мин, затем подрешетную воду в другой камере;  $4 + 3 + 3 = 10$  л/мин). Расход воды регулируют кранами на трубках, подводящих воду в соответствующие места машины. При разгрузке продуктов воду можно не перекрывать.

3. Смачивают водой исходный материал.

4. Включают машину нажатием пусковой кнопки приводного механизма диафрагмы.

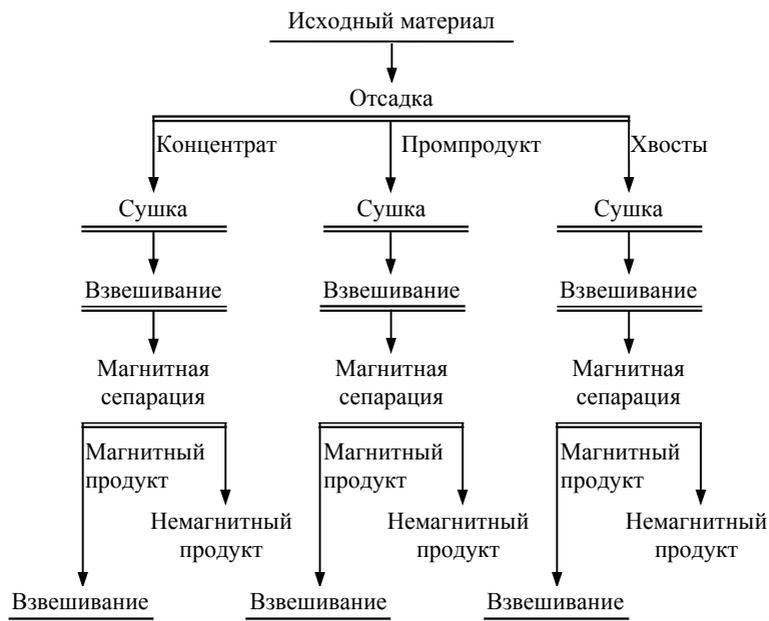


Рис.5. Схема опытов отсадки

5. Проводят непосредственно отсадку материала при установленной толщине постели, загружая равномерно материал в голову первой камеры (туда, куда подается смывная вода). По секундомеру необходимо следить за равномерной загрузкой материала, обеспечивающей заданную производительность машины (2 кг/мин).

6. После окончания загрузки в машину исходного материала дают некоторое время машине работать, чтобы оставшийся в каждой камере материал мог пройти под решето.

7. Машину останавливают, и полученные продукты разгружают в ведра. В результате каждого опыта получают три продукта: концентрат, промпродукт и хвосты.

8. Полученные продукты сушат на противнях и взвешивают. Массы продуктов записывают в таблицу результатов опытов (табл.4).

Таблица 4

Результаты отсадки

№	Толщина постели $H$ , мм	Продукт	Масса продукта $Q$ , г	Выход продукта $\gamma$ , %	Масса магнетита $P$ , г	Содержание магнетита, $\beta$ , %	Извлечение магнетита, $\epsilon$ , %
1	10	Конц. Пр. пр. Хвосты Итого:		100,0			100,0
2	20	Конц. Пр. пр. Хвосты Итого:		100,0			100,0
3	30	Конц. Пр. пр. Хвосты Итого:		100,0			100,0

**Анализ результатов.** Полученные при отсадке продукты анализируют на содержание в них магнетита при помощи магнитной сепарации продуктов разделения.

**Использование результатов опытов.** По полученным данным строят графическую зависимость содержания магнетита в концентрате и извлечения магнетита в концентрат от толщины постели отсадочной машины.

**Оформление отчета** - см. введение.

## Работа 7. ОПЫТЫ ОБОГАЩЕНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИОННОМ СТОЛЕ

**Цель работы** - ознакомление с работой концентрационного стола и с процессом обогащения на нем.

**Основные понятия.** Обогащение на концентрационном (качающемся) столе - разделение полезного ископаемого по плотности на продукты разного минералогического состава в потоках воды, текущих по слабонаклонной поверхности, которая совершает возвратно-поступательные несимметричные качания.

**Стол** - наклонная плоскость (ее называют декой), на которой через определенные расстояния набиты планки (нарифления), сходящие на нет к разгрузочному концу стола (рис. 6).

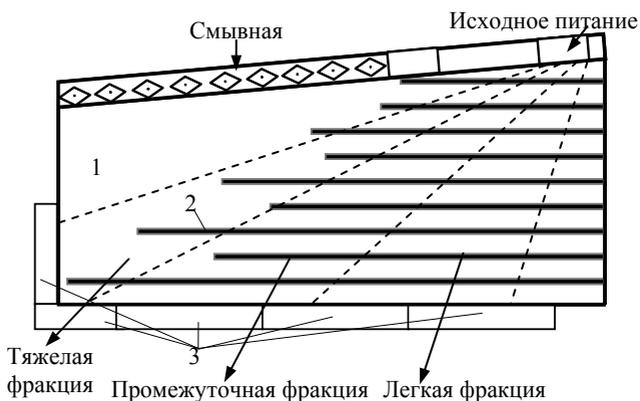


Рис. 6 Схема концентрационного стола  
1 – дека; 2 – нарифления; 3 – сборники продуктов

**Аппаратура.** Лабораторный концентрационный стол; лабораторный барабанный магнитный сепаратор со слабым полем; противни для сушки продуктов; фарфоровая чашка; резиновая груша.

**Исходный материал и схема опыта.** Искусственная смесь кварца (или любого другого немагнитного минерала) и магнетита крупностью  $-1+0,1$  мм. Содержание магнетита в исходном материале 10 % масса навески для опыта 2 – 3 кг. Схема опыта приведена на рис.7.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Пускают воду на стол в таком количестве, чтобы она спокойно, ровным слоем стекала по всему периметру стола (распреде-

ление смывной воды по деке стола регулируется соответствующим положением вертушек в желобе, по которому течет вода).

2. Включают приводной механизм стола.

3. Приготовленную навеску исходного материала (2 – 3 кг) смачивают водой.

4. Равномерно загружают материал в загрузочное отделение стола, откуда он через отверстия поступает на его поверхность. Регулируют работу стола так, чтобы на его поверхности образовался нормальный веер (была бы видна четкая граница между магнетитом и полевым шпатом). Этого добиваются, меняя угол наклона деки и количество подаваемой воды.



Рис.7. Схема опытов на концентрационном столе

5. После окончания регулировки материал из фарфоровой чашки возвращают снова в загрузочное отделение стола, куда непрерывно загружается также и исходный материал. Полученные продукты разгружают по периметру стола в соответствующие приемники. Согласно схеме (рис.7) выделяют три продукта.

6. По окончании загрузки исходного материала стол должен работать, пока его поверхность не освободится от материала.

7. Останавливают стол, закрывают воду и полученные при обогащении концентрат и промпродукт разгружают из приемников стола в противни, сушат и взвешивают. Массу концентрата и промпродукта записывают в таблицу результатов опыта (табл.5). Массу хвостов определяют по разности, зная массу исходной навески для опыта (например, 3 кг), хвосты, поэтому не сушат, а только разгружают из приемников стола на противень, где была приготовлена навеска исходного материала.

Таблица 5

**Результаты опытов обогащения на концентрационном столе**

№	Наименование продукта	Масса продукта $Q$ , кг	Выход продукта $\gamma$ , %	Масса магнетита в продукте $P$ , кг	Содержание магнетита $\beta$ , %	Извлечение магнетита в продукте $\epsilon$ , %
1	Исходный материал	3,0	100,0	300	10,0	100
2	Концентрат					
3	Промпродукт					
4	Хвосты					

**Анализ результатов.** Анализ на лабораторном барабанном магнитном сепараторе.

1. Сухие концентрат и промпродукт (раздельно) подвергают разделению на лабораторном магнитном сепараторе на магнитную и немагнитную фракции.

2. Магнитные фракции каждого продукта взвешивают и массу их записывают в табл.7. Массу магнитной фракции в хвостах определяют по разности, так, как количество магнетита в исходной навеске известно.

3. По формулам 1.1, 1.6, 1.7, приведенным во введении, подсчитывают выходы продуктов, содержание и извлечение магнетита в продукты. Результаты опыта записывают в табл.5.

**Оформление отчета** - см. введение.

## Работа 8. ОПЫТЫ МАГНИТНОГО ОБОГАЩЕНИЯ

**Цель работы** - ознакомление с процессом магнитного обогащения, конструкцией сепаратора с сильным полем и способом его регулировки.

**Основные понятия.** Сильное поле – неоднородное магнитное поле с индукцией поля в зазоре между полюсами 0,5-2 Тс, образующееся в замкнутых электромагнитных системах при прохождении электрического тока по катушкам системы. Напряженность такого поля равна 800-1600 кА/м.

**Аппаратура.** Лабораторный валковый сепаратор для сухого обогащения; технические весы; емкости для продуктов; сито с размером отверстия  $d$ .

**Исходный материал и схема опыта.** Искусственная смесь

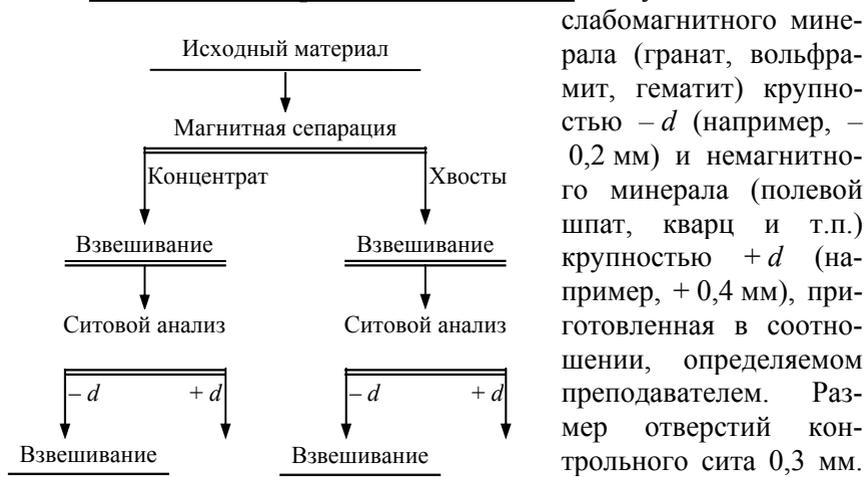


Рис.8. Схема опытов магнитной сепарации

слабомагнитного минерала (гранат, вольфрамит, гематит) крупностью  $-d$  (например,  $-0,2$  мм) и немагнитного минерала (полевой шпат, кварц и т.п.) крупностью  $+d$  (например,  $+0,4$  мм), приготовленная в соотношении, определяемом преподавателем. Размер отверстий контрольного сита  $0,3$  мм. Схема опыта приведена на рис.8.

**Условия проведения опытов.** Постоянные условия: производительность сепаратора, регулируемая размером выпускной щели загрузочной воронки, число оборотов вала, зазор между полюсами системы устанавливаются преподавателем до проведения опытов.

Переменные условия: напряженность (индукция) магнитного поля в промежутке между полюсами регулируется изменением силы тока в катушках системы; проводятся три опыта при различной силе тока в катушках. Сила тока задается преподавателем.

### Порядок выполнения работы.

1. Приводят во вращение валок сепаратора.
2. Включают ток в катушках сепаратора и с помощью и устанавливают необходимую силу тока.
3. Навеску исходного материала загружают в приемную воронку сепаратора и производят магнитное обогащение.
4. После прекращения подачи исходного материала в рабочую зону сепаратора выключают ток, подаваемый на катушки и устанавливают валок и питатель сепаратора. Получаемые при обогащении магнитные и немагнитные фракции взвешивают, массы их записывают в таблицу результатов опытов (табл.6).
5. После взвешивания обе фракции, магнитную и немагнитную, раздельно просеивают на контрольном сите с размером отверстия  $d$  ( $d = 0,3$  мм, если крупность слабомагнитного минерала составляет  $-0,2$ , а крупность немагнитного минерала  $+0,4$  мм) для выделения из каждой из них слабомагнитного минерала.
6. Нижний продукт после просеивания каждой фракции представляет собой полезный минерал и взвешивается. Массу полезного минерала в отдельных фракциях записывают в соответствующую графу табл.6.
7. Зная массу полученных при опытах магнитной и немагнитной фракций и массу содержащегося в них полезного минерала, для каждого опыта по формулам 1, 6, 7 рассчитывают технологические показатели: выходы фракций, содержание и извлечение в них полезного минерала.

Таблица 6

#### Результаты опытов обогащения на шлюзе

№	Сила тока, А	Продукт	Масса продукта $Q$ , г	Выход продукта $\gamma$ , %	Масс магнитного минерала $P$ , г	Содержание магнитного минерала $\beta$ , %	Извлечение магнитного минерала $\epsilon$ , %
1	$I_1$	Концентрат Хвосты <b>Итого:</b>		100			100
2	$I_2$	Концентрат Хвосты <b>Итого:</b>		100			100
3	$I_3$	Концентрат Хвосты <b>Итого:</b>		100			100

**Анализ результатов** Анализ осуществляется рассевом на контрольном сите с отверстиями, равными  $d$  (как указано выше).

**Использование результатов опытов.** По полученным данным строят графики зависимости извлечения слабомагнитного минерала в магнитный продукт и содержания расчетного минерала в магнитном продукте от напряженности магнитного поля:

$$\varepsilon_{M.фpp} = f(H) \text{ и } \beta_{M.фpp} = f(H)$$

**Оформление отчета** - см. введение.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Абрамов, А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов: Учебное пособие в 2 кн. Т.3. Книга 1. Рудоподготовка и Cu, Cu-Py, Cu-Fe, Mo, Cu-Mo, Cu-Zn руды [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва: Горная книга, 2005. — 575 с. <https://e.lanbook.com/book/3267>

2. Абрамов, А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов: Учебное пособие в 2 кн. Т.3. Книга 2. Pb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg- содержащие руды [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2005. — 470 с. <https://e.lanbook.com/book/3268>.

3. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Т. 1. Обогачительные процессы. - М.: Горная книга, 2018. - 420 с., и пред. издания 2006. (Печатный экземпляр).

4. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Т. 2. Технологии обогащения полезных ископаемых. - М.: Горная книга, 2017. - 312 с., и пред. издания 2006. (Печатный экземпляр).

5. 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. [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=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<>](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=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<>)

6. Обогащение полезных ископаемых: учеб. пособие / К.И. Лукина, В. П. Якушкин, А. Н. Муклакова. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 224 с. – (Высшее образование: Специалитет). <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=561064>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Работа 1. Определение технологических показателей обогащения .	3
Работа 2. Определение гранулометрического состава минерального сырья .....	20
Работа 3. Опыты дробления .....	25
Работа 4. Опыты грохочения .....	27
Работа 5. Опыты измельчения .....	31
Работа 6. Опыты гидравлической отсадки .....	33
Работа 7. Опыты обогащения на концентрационном столе.....	36
Работа 8. Опыты магнитного обогащения .....	39
Библиографический список .....	41