

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра обогащения полезных ископаемых

Составитель
Л. А. Суслина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ОБОГАТИМОСТЬ

Методические указания к самостоятельной работе

Рекомендованы учебно-методической комиссией
учебно-методической комиссии специальности 21.05.04 Горное
дело, специализации 21.05.04.06 Обогащение полезных ископаемых,
в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты

Рецензент: Бобровникова А. А., кандидат химических наук, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых, председатель учебно-методической комиссии специальности 21.05.04 Горное дело, специализации 21.05.04.06 Обогащение полезных ископаемых

Суслина Людмила, Алексеевна

Исследование полезных ископаемых на обогатимость : методические указания к самостоятельной работе для студентов специальности 21.05.04 Горное дело, специализации 21.05.04.06 Обогащение полезных ископаемых, всех форм обучения / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; кафедра обогащения полезных ископаемых ; составитель: Л. А. Суслина. – Кемерово, 2025. – 1 файл (793 Кб). – Текст : электронный.

Приведены темы для самостоятельной работы со ссылками на страницы рекомендуемой литературы, краткое содержание курса, домашние задания, вопросы для самопроверки и примерные оценочные средства для текущего контроля.

© Кузбасский государственный
технический университет имени
Т. Ф. Горбачева, 2025
© Суслина Л. А., составление,
2025

Содержание самостоятельной работы

Самостоятельная работа подразумевает получение новых знаний по изучаемой дисциплине. Всякое новое знание базируется на ранее изученном материале, поэтому перед изучением тем, выносимых на самостоятельную работу необходимо изучать лекции, учебную литературу, готовиться к практическим занятиям, для чего ниже даны ссылки на литературу, по темам лекций и практических занятий.

Ссылки на литературу по темам лекций

Тема занятия	[Литература: страницы]			
	[3]	[1]	[4]	
1. Этапы промышленного освоения месторождений. Стадии исследования руд на обогатимость				
Общая схема исследований руд на обогатимость	7-8			[5: 5-7]
Этапы промышленного освоения месторождений. Стадии исследования руд на обогатимость			8-9	
Тема занятия	[Литература: страницы]			
	[3]	[1]	[4]	
2. Методы изучения элементного, минерального состава руд и технологические исследования обогатимости полезных ископаемых				
Виды проб полезного ископаемого	12		81	
Способы опробования месторождений	13-19		82	[5:7-17]
Подготовка пробы к исследованию. Масса представительной пробы	25-43; 58-64	4-14	83-96	[7: 11-13] [5: 17-27]
Схема изучения состава и обогатимости полезных ископаемых. Физико-химические методы изучения элементного и фазового состава руды	65-201		96-113	[5: 43-81]
Методы исследования структуры и текстуры руды, гранулометрического состава	201-222; 281-303		114-143	[6: 39-52]
Классификация минеральных включений по размерам и способы их извлечения из руд	203-215			[6: 9-24]
Методы измерения и расчета разделительных признаков частиц, их физико-химических свойств (плотности, удельной магнитной восприимчивости, диэлектрической проницаемости и т. д.)	224-281			
Особенности лабораторных испытаний по плотности, по флотуемости и магнитным свойствам	456-465; 507-527; 543-580	50-106	268-282	
Исследование поверхностных свойств минералов.	527-543			
Анализ жидкой фазы пульпы. Исследование жесткости воды. Определение щелочности пульпы.			254-256	[5:224-227]
Исследование обогатимости углей. Фракционный состав		50-65		[6:52-57]
Специальные методы исследования обогатимости углей				[6:106-135]

Тема занятия	[Литература: страницы]			
	[3]	[1]	[4]	
3. Оценка обогатимости полезных ископаемых				
Обогатимость минералов гравитационными, магнитными и электрическими методами. Выбор метода обогащения. Шкалы обогатимости			9-15	
Выбор технологической схемы. Сравнение вариантов технологических схем.				[6:183-219]
Химико-металлургические операции в схемах обогащения руд			17-19	[7:71-99]
4. Выбор и испытание технологических схем разделения				
Испытание технологических схем. Виды испытаний. Особенности технологических испытаний				[7:5-7]
Полупромышленные испытания				[7:7-13]
Методика проведения испытаний руд на обогатимость в тяжелых суспензиях на полупромышленной установке				[7:25-32]
Основные операции обогащения с использованием химико-металлургических методов на примере золото-содержащих руд				[7:125-138]
Цианирование. Методы сорбционного выщелачивания с использованием ионообменных смол				[7:130-131;134-136]

Ссылки на литературу по темам самостоятельной работы

Тема	[Литература, стр.]		
	[3]	[4]	
1. Особенности флотации тонких частиц и крупнозернистого материала	576–580, 564–575		
2. Определение оптимальных значений факторов при флотации руды. Исследование флотуемости чистых минералов		226-242	
3. Испытания флотационных реагентов		242-253	
4. Изучение взаимодействия флотационных реагентов с поверхностью минералов		268-282	
5. Особенности исследований сырья на обогатимость гравитационными методами: разделение минеральных зерен в несущих потоках малой толщины	490–496		
6. Особенности пневматического гравитационного обогащения	496–499		
7. Составление и решение задач на тему исследования обогащения полезных ископаемых с применением методов математической статистики	618–631		
8. Влияние особенностей типоморфизма промышленных минералов на обогатимость			[9:224–237]
9. Исследование на обогатимость железных руд			[10]
10. Исследование на обогатимость полиметаллических руд			[5:447–462]
11. Испытания отдельных способов обработки руд. Методики полупромышленных испытаний (дробление, промывка, обесшламливание, сортировка и т.д.)			[7:14–70]
12. Технические средства контроля полупромышленных испытаний для контроля массы, гранулометрического состава, плотности пульпы, расхода пульпы и содержания в ней твердой фазы и др.			[7:216–225].
13. Оценка эффективности технологических операций. Оценка эффективности технологических схем		19-26	

Ссылки на литературу по темам лабораторных работ

Тема занятия	[Литература, стр.]	
	[3]	[1]
1. Составление принципиальных схем сокращения пробы руды до требуемой массы	44-56	4-16
2. Определение раскрываемости минералов. Построение зависимостей раскрытия минералов от продолжительности измельчения руды	345-347	31-38

Темы для индивидуальных заданий и написания рефератов

1. Макроскопическое и микроскопическое исследование углей. Литотипы и мацералы.
2. Структура и текстура минералов.
3. Промышленное освоение месторождений.
4. Отбор и приготовление проб. Методы исследований.
5. Пробоотбиратели.
6. Химические методы изучения элементного состава руды: гравиметрический; титриметрический; полярографический; потенциометрический и хроматографический методы.
7. Спектральные методы изучения элементного состава руды: атомно-абсорбционный анализ; эмиссионный спектральный анализ; масс-спектрометрический.
8. Спектральные методы изучения элементного состава руды: фотометрический метод; рентгеновский флуоресцентный анализ; активационные методы анализа.
9. Физико-химические методы изучения фазового состава руды: рентгенографический количественный фазовый анализ; инфракрасная спектроскопия; химический фазовый анализ.
10. Физико-химические методы изучения фазового состава руды: термический анализ; магнитометрический; люминесцентный; электронная и оптическая микроскопия.
11. Исследования гранулометрического состава руды: планиметрический метод; ситовый анализ; микроскопический анализ.
12. Определение гранулометрических характеристик седиментационными методами разделения: метод отбора весовых проб; методы седиментации в центробежном поле.
13. Определение гранулометрических характеристик седиментационными методами разделения: метод отмучивания (седиментации и декантации); метод классификации и другие методы.

14. Методы измерения и расчета информационного сигнала при методах рудоразборки: авторадиметрическом, фотонейтроном, нейтронно-активационном.
 15. Методы измерения и расчета информационного сигнала при методах рудоразборки: гамма- и нейтронно-абсорбционном, радиорезонансном, рентгенорадиометрическом.
 16. Методы измерения и расчета информационного сигнала при методах рудоразборки: люминесцентном, фотометрическом, оптическом.
 17. Методы измерения и расчета плотности кусков сравнительно большого объема; отдельных небольших зерен при погружении их в растворы тяжелых жидкостей; плотности порошковых материалов пикнометрическим способом.
 18. Методы измерения и расчета удельной магнитной восприимчивости. Пондеромоторный метод измерения магнитной восприимчивости.
 19. Методы измерения и расчета диэлектрической проницаемости, электрического заряда и удельной проводимости минеральных частиц.
 20. Методы оценки флотуруемости минеральных частиц.
 21. Методы измерения и расчета растворимости минеральных частиц.
 22. Методы измерения разделительных признаков частиц: обжиг, спекание, плавление, восстановление магнитной восприимчивости, воздействие реагентов и т. д.
 23. Фракционный анализ углей по плотности. Методы разделения в тяжелых жидкостях.
 24. Исследование петрографического состава углей.
 25. Исследование действительной и насыпной плотности угля, плотности органической массы угля.
 26. Определение угла трения углей, коэффициента трения, степени измельчения углей, размокаемости горных пород.
 27. Характеристика шлама. Определение осаждаемости и флокулируемости шлама, содержания твердой фазы в пульпе.
 28. Характеристика шлама. Определение флотуруемости шлама.
 29. Характеристика качества воды: жесткость, pH, бактериальное загрязнение. Методики определения характеристик.
 30. Оценка обогатимости полезных ископаемых гравитационным, магнитным, электрическим методом при помощи шкал обогатимости.
 31. Оценка обогатимости полезных ископаемых флотационным методом обогащения. Вспомогательные флотационные шкалы.
- Химико-металлургические операции в схемах обогащения руд: выщелачивание, разделение труднообогатимых руд с помощью ионообменных смол и т. д.

32. Критерии оптимизации при исследовании на обогатимость. Расчет выходов и извлечений по балансу металлов. Выбор технологических схем разделения.
33. Оценка эффективности технологических операций. Товарный баланс. Технологический баланс.
34. Испытание технологических схем. Виды испытаний. Укрупненные лабораторные испытания. Испытание технологических схем. Виды испытаний. Промышленные и полупромышленные испытания. Задачи испытаний.
35. Особенности технологических испытаний: дробление и грохочение, промывка, радиометрическая, фотометрическая сепарация, магнитное обогащение, электрическое обогащение.
36. Особенности технологических испытаний: гравитационное обогащение, флотация, сгущение, фильтрование.
37. Полупромышленные установки для испытания руд на обогатимость.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

Введение

Исследования полезных ископаемых на обогатимость выполняют с целью подготовки к освоению вновь открытых месторождений, получения необходимых данных для проектирования обогатительных фабрик, совершенствования технологии обогащения на действующих предприятиях, решения вопросов теории обогащения.

Этапы промышленного освоения месторождений

Исследования полезных ископаемых на обогатимость выполняют *при разведке месторождений* и утверждении запасов. Эта работа выполняется в несколько этапов. На этапе *поисково-оценочных работ* устанавливается категория руд: тип, сорт, обогатимость. Результаты используются геологами для составления технико-экономических соображений (ТЭС) о возможном промышленном значении месторождения и необходимости перехода ко второму этапу – исследованию руд на стадии *предварительной разведки*. На этом этапе в лабораторных условиях определяются детально вещественный состав и технология переработки с определением технологических показателей обогащения. Данные по технологической оценке сырья используются для составления технико-экономического доклада (ТЭД), содержащего вывод о промышленной ценности месторождения. На первых этапах используются для исследований малые технологические пробы. По результатам исследований производят геолого-технологическое картирование месторождения с выделением технологических типов и сортов. Разработанные технологии проверяют проведением укрупненных лабораторных исследований. Последний этап исследования – *детальная разведка руд*. Это более полная и детальная разработка технологических схем и режимов отдельных операций. Руды исследуют в лаборатории с последующей обязательной проверкой технологии в полупромышленных условиях. Полученные технологические показатели используют при проектировании обогатительных фабрик.

На *эксплуатируемых месторождениях* также проводятся исследования полезных ископаемых на обогатимость. Исследуются нижние горизонты или новые участки, т. е. проводится *до-разведка месторождения* и *эксплуатационная разведка* с опре-

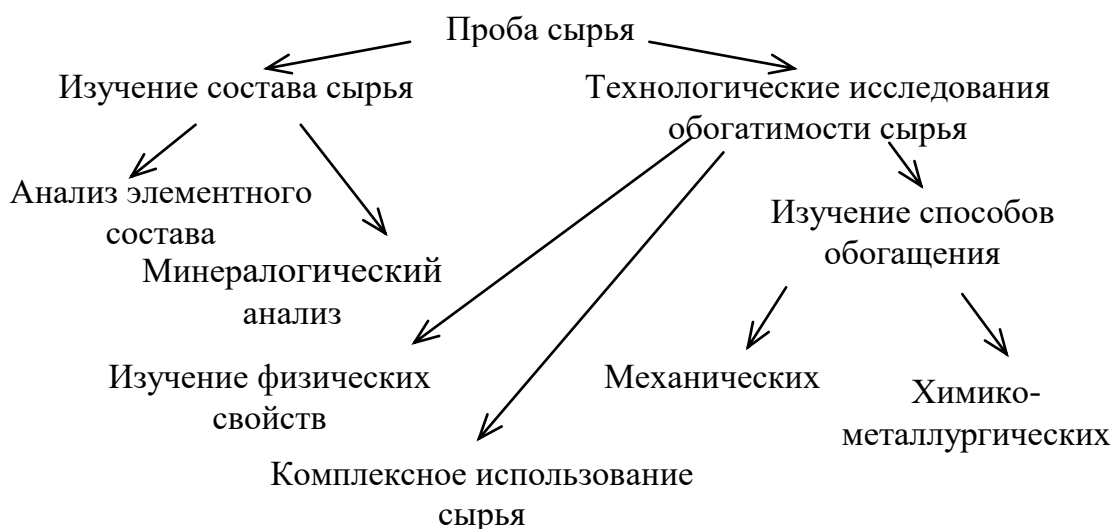
делением вещественного состава и технологических свойств руды в процессе обогащения с целью оперативного управления качеством продуктов и планирования результатов переработки.

На предприятиях и научно-исследовательских институтах проводятся исследования с целью *разработки новых способов, схем обогащения и режимов обработки сырья, новых реагентов и аппаратов.*

Общая схема исследований руд на обогатимость

1. Отбор технологической пробы.
2. Подготовка технологической пробы.
3. Изучение вещественного состава.
4. Изучение физических свойств.
5. Обзор и анализ априорной информации.
6. Обоснование и выбор методик экспериментов.
7. Выполнение опытов в лаборатории (определение вещественного состава и изучение технологических свойств).
8. Составление вариантов технологической схемы или режимов.
9. Техничко-экономические оценки вариантов.
10. Испытания технологической схемы или режимов в полупромышленных и промышленных условиях.
11. Составление отчета на основе технико-экономических показателей исследований.

Схема изучения состава и обогатимости сырья



Стадии исследования руд на обогатимость

Предварительные исследования, включающие минералогический, гранулометрический, фракционный анализы, определение физических свойств минералов, позволяют наметить схему исследования полезных ископаемых на обогатительных аппаратах. Все исследование на обогатимость можно разбить на ряд последовательных стадий. Каждая стадия преследует самостоятельную цель, хотя и взаимосвязанную с другими стадиями. На *первой стадии* осуществляется выделение максимального количества пустой породы каким-либо простым и дешевым способом при малой степени измельчения. Эта стадия обусловлена содержанием в добытой горной массе значительного количества породы, практически не содержащей ценных минералов. Чаще применяют гравитационные методы обогащения (обогащение в тяжелых суспензиях, отсадка и т. д.), иногда магнитную сепарацию, коллективную флотацию сульфидов, бактериальное выщелачивание и др. Целью *второй стадии* (иногда она бывает первой) является подготовка сырья к последующему обогащению. Подготовительная стадия кроме измельчения может включать магнетизирующий, сульфатизирующий или другой вид обжига, кондиционирование пульпы перед флотацией и т. д. При этом ставятся задачи максимально раскрыть зерна ценных минералов с учетом возможности применения тех или иных методов обогащения, а также уменьшить потери с тонкими классами. На *третьей стадии* исследования необходимо определить оптимальный режим обогащения для получения чернового концентрата с максимальным извлечением всех ценных компонентов. *Четвертая стадия* – определение вида и режима доводочных операций с целью получения кондиционного концентрата. Выясняется необходимость и возможность использования химических и металлургических методов переработки промпродуктов. На *пятой стадии* отрабатывается технологическая схема: выбирается количество перечистных и контрольных операций. Эти исследования проводят в основном на полупромышленных установках или действующих фабриках. *Шестая стадия* – технико-экономическое исследование: сравнение вариантов по технологическим и экономическим показателям. На этой стадии целесообразно привлечение широкого круга специалистов для консультации, изучение опыта переработки руд аналогичного

состава и анализ различных методов переработки минерального сырья.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА И ОБОГАТИМОСТИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ Отбор проб для исследований

Подвергают исследованию химические, минералогические, гранулометрические и технологические пробы полезного ископаемого. Проба должна сохранять все качества изучаемого материала (содержание компонентов, гранулометрический состав, обогатимость). В зависимости от размеров месторождения и характера залегания полезных ископаемых применяются различные способы опробования месторождений: бороздовый, керновый, валовый, точечный и т. д. отбор пробы включает перемешивание, сокращение и дробление пробы в замкнутом цикле с грохотом. Перемешивание и сокращение пробы проводится по специальным методикам, например, квартования или квадратования. Масса представительной пробы q определяется по формуле

$$q = kd^a,$$

где k и a – эмпирические коэффициенты, d – диаметр максимальной частицы.

Минимальная масса пробы зависит от крупности и формы кусков, плотности материала, равномерности распределения зерен полезного компонента, содержания полезного компонента и требуемой точности опробования и от цели исследования.

Физико-химические методы изучения вещественного состава руды

Методы изучения элементного состава руды

Определение массовой доли элементов в пробах выполняется с помощью элементного анализа.

Химические методы предполагают полное растворение навески в специфических растворах с последующим анализом по тщательно разработанным методикам. Наиболее известны:

- *гравиметрический анализ* (весовой метод) состоит в определении массы продуктов или ее изменения в результате химической реакции (пробирный метод);

- *титриметрический анализ* (объемный метод) состоит в установлении количества растворенного реагента;

- *полярографический метод* (инверсионная вольтамперометрия) основан на определении зависимости между силой тока в цепи электролитической ячейки и напряжением поляризации при электролизе раствора. Предельный диффузионный ток находится в функциональной зависимости с концентрацией деполяризатора (исследуемого вещества);

- *хроматографический метод* – анализ вещества по скорости инъекции концентрационных зон через слой сорбента;

- *потенциометрический метод* основан на измерении электродных потенциалов.

Спектральные методы предполагают сжигание или растворение навески изучаемого материала. Используются методы

- *атомно-абсорбционный анализ* основан на измерении резонансного поглощения излучения определенной длины волны;

- *эмиссионный спектральный анализ* состоит в изучении спектров испускания ионизированных атомов исследуемого материала;

- *масс-спектрометрический анализ* – метод исследования вещества путем определения масс ионизированных атомов, изменяющих траектории движения под воздействием электрических и магнитных полей;

- *фотометрический метод* состоит в измерении оптической плотности раствора в определенной области длин волн;

- *рентгеновский флуоресцентный анализ* – основан на измерении интенсивности линий вторичных спектров флуоресценции;

- *активационные методы анализа* – заключаются в облучении пробы потоками радиоактивных частиц и измерения энергетического спектра вторичного излучения.

Физико-химические методы изучения фазового состава руды

В процессе минералогического изучения пробы создается представление о руде как объекте обогащения, диагностируются слагающие руду минералы, определяется их количество, форма и размер зерен, изучается характер срастания минералов, наблюдаемый макро- (структура) и микроскопически (текстура). По размерам выделяют три типа структур и текстур:

- макро-: 20–200 мм – весьма крупные;
2–20 мм – крупные;
- микро-: 0,2–2 мм – мелкие;
0,02–0,2 мм – тонкие;
0,002–0,02 мм – весьма тонкие (эмульсионные);
0,0002–0,002 мм – субмикроскопические;
- коллоидно-дисперсные: $< 0,0002$ мм – неразличимые в оптическом микроскопе.

По форме минеральные агрегаты бывают:

- *идиоморфные*, имеющие кристаллическую огранку;
- *гипидиоморфные* – зерна, в очертаниях которых частично проявлены их кристаллические признаки;
- *аллотриоморфные* (ксеноморфные) – форма зерен определяется конфигурацией соприкасающихся минералов;
- *колломорфные* (неправильной формы) – натечные агрегаты, скопления со сферическим, скорлуповатым или концентрически зональным строением;
- *осколки и глина трения* – продукты дробления и смятия минеральных зерен;
- *обломки и пески* – продукты выветривания (щебневые и гравийные формы).

Для идентификации минералов применяют ряд инструментальных методов, позволяющих определить их физические и химические свойства, такие как отражательная способность, цвет в отраженном свете, явление поляризации, внутренние рефлексии, твердость, магнитная восприимчивость и электропроводность, растворимость химическими реактивами и установление химического состава с помощью микрохимических реакций и люминесценции. Некоторые используемые аппаратные методы диагностики:

– *рентгенографический количественный фазовый анализ* обеспечивает диагностику всех кристаллических минеральных фаз в пробе с размерами кристаллов более 0,01 мкм и массовой долей более 0,5 %, путем анализа интерференционной картины, полученной рассеянными от плоскостей кристалла дифракционными лучами;

– *инфракрасная спектроскопия* позволяет идентифицировать аморфные материалы, а также кристаллические с меньшими, чем 0,01 мкм, размерами кристаллов;

– *химический фазовый анализ* применяется для количественного определения массовой доли минеральных фаз, предварительно установленных или диагностированных каким либо другим методом, путем избирательного растворения фаз;

– *термический анализ* применяется для диагностики термоактивных минеральных фаз, т. е. фаз, в которых с изменением температуры протекают реакции, связанные с изменением энтальпии (испарение, сублимация, перестройка кристаллической структуры фазы, дегидратация, разложение, окисление, восстановление, плавление и т. д.);

– *магнитометрический анализ* позволяющий определять массовую долю магнетита в пробе;

– *люминесцентный анализ* позволяющий выделить зерна люминесцирующих минералов;

– *электронная и оптическая микроскопия* позволяет выяснить состав, размеры рудных компонентов, их взаимное произрастание, объемное или массовое содержание полезного компонента.

В ряде случаев приходится использовать комбинации обогачительных, химических и физических методов анализа для выделения мономинеральных фракций.

**Технологические исследования обогатимости
полезных ископаемых**

*Гранулометрический состав руды и выбор
разделительного признака*

Фракционная характеристика руды по крупности называется гранулометрической характеристикой. Используют следующие методы определения величины классов крупности в зависимости от диапазона крупности кусков:

- для кусков > 100 мм – *планиметрический* (состоит в выделении на поверхности изучаемого массива квадратной площади со сторонами 2 м, проведении через каждые 100 мм по поверхности линий и измерении на этих линиях размеров отдельных кусков);

- для кусков $100 \pm 0,045$ мм – *ситовый* ручной или механический;

- для кусков $0,045 \pm 0,005$ мм – *седиментационный* метод разделения за счет различия в скоростях падения в тех или иных средах. При этом возможны три варианта измерения: отмучивания, классификация, взвешивание осадка. Возможно для этого класса определение гранулометрических характеристик с использованием ситового анализа на ситах «микромеш» и «микроплат».

Для изучения гранулометрического состава руды используют также *микроскопический анализ* пробы руды.

Для построения общей схемы обогащения выделяют технологические классы крупности. Для этого строят характеристики гранулометрического состава и раскрытия руды. В процессе горных работ происходит разубоживание руды, измеряемое величинами $5 \div 20$ %. Поэтому в схемах обогащения должен быть цикл, позволяющий убирать эту породу в максимально большой крупности в первом цикле. Во втором цикле выделяется крупная порода, если она раскрывается раньше, чем полезный минерал. В третьем цикле следует разделить пустую породу, богатый крупнозернистый концентрат и бедные сродки. В четвертом цикле следует разделять породу, среднезернистый концентрат и рядовые сродки. В этом цикле возможно присоединение породы к сродкам или концентрата к сродкам. В пятом цикле разделяют породу и мелкозернистый концентрат, объединенный с богатыми сродками. Необогащаемый класс полезно выделять в каждом из

циклов обогащения, т. к. мелкие классы (шламы) затрудняют процессы дробления, грохочения и обогащения любого класса. Такое строение имеют фабрики, обогащающие алмазы, асбестовые, хромитовые, оловянные, сурьмяные, бериллиевые и флюоритовые руды. Однако другие фабрики могут иметь схемы, даже приблизительно не укладывающиеся в эту.

Известно, что различные разделительные признаки эффективнее всего использовать в определенных диапазонах крупности кусков руды. На рис. 1 приведены наиболее приемлемые диапазоны крупности (жирные линии), в которых используются шесть основных разделительных признаков: информационный сигнал I при рудоразборке, плотность кусков ρ , удельная магнитная восприимчивость χ , электрические свойства q (заряд, электропроводность, диэлектрическая проницаемость), флотуемость θ (краевой угол смачивания), растворимость p . Пунктиром показаны известные случаи расширения этих диапазонов.

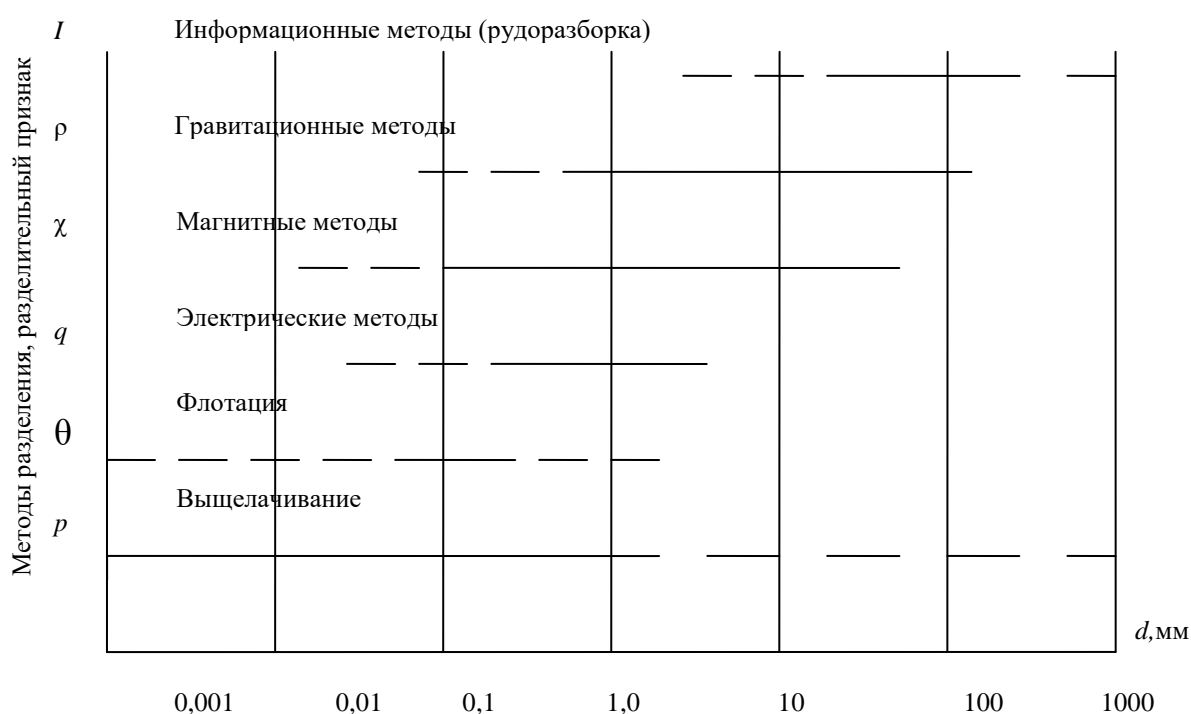


Рис. 1. Диапазоны классов крупности кусков, обогащаемых с помощью шести основных разделительных признаков

Основные разделительные признаки.

Методы измерения и расчета

Основные разделительные свойства чистых минералов – известные табличные величины. Физические свойства сростков можно определить экспериментально.

Информационный сигнал

Используется при методах рудоразборки: авторадиметрическом, фотонейтронном, нейтронно-активационном, гамма- и нейтронно-абсорбционном, радиорезонансном, рентгенорадиометрическом, люминесцентном, фотометрическом, оптическом и т. д. Первые три метода состоят в том, что получаемый сигнал J (интенсивность) пропорционален массовой доле ценного компонента α

$$I = k\alpha.$$

Абсорбционные методы имеют более сложную связь интенсивности с массовой долей ценного компонента

$$I = I_0 e^{-\mu \rho d},$$

где I_0 – интенсивность падающего на частицу луча; μ – массовый коэффициент поглощения; ρ – плотность; d – размер частицы.

Четыре последних метода объединяет то, что сигнал связан с наличием ценного минерала на поверхности куска, т. к. пропускная способность даже рентгеновского излучения составляет десятые доли миллиметра. Поэтому связь интенсивности с массовой долей ценного компонента может быть в этих методах только корреляционной.

Плотность

Плотность кусков сравнительно большого объема определяется путем погружения в воду. Расчетная формула

$$\delta = \frac{q_k}{V_k} = \frac{q_k}{q_k - q_{kv}} \delta_g,$$

где q_{kv} и q_k – масса куска в воде и воздухе; δ_g – плотность воды.

Плотность отдельных небольших зерен определяется гидростатическим способом при погружении их в растворы тяжелых жидкостей.

Плотность порошковых материалов определяется пикнометрическим способом по формуле

$$\delta = \frac{q_2 - q_1}{(q_3 - q_1) - (q_4 - q_2)} \delta_{\text{в}},$$

где q_1 – масса пикнометра; q_2 – масса пикнометра с навеской; q_3 – масса пикнометра с водой; q_4 – масса пикнометра с водой и навеской; $\delta_{\text{в}}$ – плотность воды.

Удельная магнитная восприимчивость

Удельная магнитная восприимчивость сростков при отсутствии ферромагнитных включений

$$\chi = \sum_i \alpha_i \chi_i,$$

где χ_i – удельная магнитная восприимчивость; α_i – массовая доля i -го минерала.

При наличии ферромагнитных включений, в частности, магнетита

$$\chi = \frac{\delta_{\text{м}}}{\delta_{\text{ср}}} \left(\frac{\alpha_{\text{м}}}{72,4} \right)^2 \chi_{\text{м}},$$

где $\delta_{\text{м}}$ – плотность магнетита; $\delta_{\text{ср}}$ – плотность сростка; $\alpha_{\text{м}}$ – массовая доля железа в сростке в форме магнетита, %; $\chi_{\text{м}}$ – удельная магнитная восприимчивость магнетита, м³/кг.

$$\chi_{\text{м}} = (1800 \div 12800) 10^{-6}.$$

Экспериментально удельная магнитная восприимчивость определяется пондеромоторным методом.

Диэлектрическая проницаемость

Диэлектрическая проницаемость сростка, состоящего из диэлектриков (при слоистом расположении частей сростка перпендикулярно направлению электрического поля)

$$\varepsilon = \sum_i \alpha_i \varepsilon_i,$$

где ε_i – диэлектрическая проницаемость i -го минерала; α_i – массовая доля i -го минерала.

Экспериментально диэлектрическую проницаемость определяют, помещая пластинку исследуемого сростка между пластинами конденсатора.

Удельная проводимость

Удельная проводимость $\gamma_{y\partial}$, 1/(Ом·м), определяется с использованием закона Ома. Сначала определяется сопротивление цепи R , Ом.

$$R = \frac{U}{I}.$$
$$\gamma_{y\partial} = \frac{l}{RS}.$$

Здесь U – напряжение, приложенное к частице; I – сила тока, проходящая через нее; S – площадь сечения частицы; l – ее длина. Проводимость порошковых проб крупностью 0,15–0,4 мм определяют, помещая пробу в стеклянный цилиндр и сжимая ее между электродами.

Флотируемость

Флотируемость определяется краевым углом смачивания θ , предопределяющим силу сцепления частицы с пузырьком. Экспериментально угол θ определяют прямым геометрическим измерением при проецировании нанесенной на минерал капли воды.

Другой характеристикой флотируемости является скорость флотации, определяемая из уравнения кинетики флотации

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = k(1 - \varepsilon)^n.$$

Для уравнения первого порядка ($n = 1$) решение

$$\lg \frac{1}{1 - \varepsilon} = k_1 t.$$

Выражение

$$\lg \frac{1}{1 - \varepsilon} = -\lg(1 - \varepsilon)$$

характеризует скорость процесса.

Растворимость

Растворимость минералов характеризуется скоростью растворения k_p , которая определяется по кривой кинетики растворения

$$C = C_n(1 - e^{-k_p t_p}),$$

где C_n – концентрация насыщенного раствора, мг/л; C – текущая концентрация, мг/л; t_p – продолжительность растворения, с.

Отсюда

$$k_p = \frac{1}{t_p} \ln \left(1 - \frac{C}{C_n} \right).$$

Методы изменения разделительных признаков частиц

Известно, что значения разделительных признаков минералов могут в определенных пределах меняться. Способы изменения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Способы варьирования свойств руды изменением
фазового состава

Способ	Изменяемые свойства	Примеры
Обжиг	Плотность, удельная магнитная восприимчивость, растворимость	Вермикулит, кальцит, сидерит, гематит, каолинит, медно-цинковые руды
Спекание	Растворимость	Бокситы, алуниты
Плавление	Флотируемость	Медно-никелевые руды
Восстановление	Магнитная восприимчивость	Железные руды до Fe_3O_4 либо до металлического железа, никелевые руды
Воздействие реагентов при повышенных температурах либо давлении	Растворимость	Ильменит, редкометалльные минералы

Объемные разделительные признаки: естественное или искусственное излучение, плотность, удельная магнитная восприимчивость, диэлектрическая проницаемость и т. д. с изменением физического состояния или химического состава минерала становятся другими.

Поверхностные разделительные признаки изменить можно, не изменяя физического либо химического состояния объема металла (табл. 2).

Таблица 2

Способы варьирования свойств руды изменением
состояния поверхности тела

Способ	Изменяемые свойства	Примеры
Воздействие реагентов	Флотируемость	Все минералы
	Электрическое сопротивление	Все минералы
	Растворимость	Снятие пленок с минералов, затрудняющих растворение
Распушка, раскалывание, избирательное дробление, декрипитация	Объемная плотность	Асбест
	Форма	Слюда

Исследование обогатимости углей

Исследование углей на обогатимость проводится в три стадии:

1. Исследование гранулометрического и фракционного состава углей.

2. Исследование петрографического состава углей, флотируемости шламов, фильтруемости флотационных концентратов, осаждаемости шламов, флокулируемости отходов флотации и другие исследования свойств продуктов и процессов обогащения.

3. Обработка полученных данных, их изучение, составление теоретических балансов продуктов обогащения, разработка технологической схемы, выбор оборудования, рациональных режимов, обеспечивающих получение конечных продуктов заданного качества и составление отчета.

Фракционный анализ углей

При исследовании обогатимости углей проводится фракционный анализ по плотности для каждого технологического класса крупности методом деления в тяжелых жидкостях:

– неорганических (растворы хлористого цинка, хлористого кальция) и

– органических (жидкости Туле, Сушина–Рорбаха, тетрабромэтан, бромформ и др.). Расслоение производят в спе-

циальных бачках. Каждая проба перед расслоением обесшламливается.

Зольность углей распределяется примерно пропорционально их плотности из-за наличия в общей массе кусков угля, породы и сростков.

Исследование петрографического состава углей

Сущность метода заключается в определении органических микрокомпонентов и минеральных примесей в углях различных марок, их количественного соотношения и размеров. Для этого определенным образом приготавливается аншлиф-брикет, шлифуется и полируется, исследуется под микроскопом точечным методом в отраженном свете с применением масляной иммерсии.

Исследование действительной и насыпной плотности

Плотность органической массы угля зависит от стадии метаморфизма и петрографического состава и определяется по формуле

$$\delta_0 = \frac{100\delta^c - 2700A^c}{100 - A^c},$$

где δ_0 – плотность органической массы угля, кг/м³; δ^c – плотность сухого угля, определенная в пикнометре, кг/м³; 2700 – условно принятая средняя плотность минеральных примесей в угле, кг/м³; A^c – зольность угольной пробы на сухую массу, %.

Действительная плотность кусков угля (монолита, без пор), кг/м³, определяется по формуле

$$\delta = \frac{1000 \cdot q}{q - q_1},$$

где q – масса куска в воздухе; q_1 – масса куска в воде.

Насыпную плотность мелкого материала определяют методом режущего цилиндра и подсчитывают по формуле

$$\delta_n = \frac{Q_2 - Q_1}{V},$$

где Q_1 – масса пустого цилиндра; Q_2 – масса цилиндра с материалом; V – объем цилиндра.

Насыпную плотность сухого материала подсчитывают по формуле

$$\delta_c = \frac{\delta_n}{1 - W},$$

W – влажность исследуемого материала в долях единицы.

Определение пористости

Пористость материала определяется по формуле

$$m = \frac{\delta - \delta_n}{\delta},$$

где δ – действительная плотность кусков, кг/м³; δ_n – насыпная плотность материала, кг/м³.

Определение угла трения углей, коэффициента трения

Статический угол трения определяется на приборе, рабочая часть которого представляет собой шарнирно закрепленный трибометр. Измеряется угол α , при котором начинается движение куска угля при опускании трибометра вниз. Коэффициент трения рассчитывается по формуле

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha.$$

Определение степени измельчения углей

Исследование угля на измельчаемость в процессе переработки и транспортирования проводят по простой методике ящичного сбрасывания. Измельчаемость определяют в долях единицы как разность между средними содержаниями угля (из трех проб) крупностью менее 6 мм в измельченной $\bar{\beta}_u$ и исходной $\bar{\beta}$ пробах.

$$u = \bar{\beta}_u - \bar{\beta}.$$

Иногда, степень измельчения определяют по формуле

$$u = \frac{d - d_u}{d_u},$$

где d, d_u – средневзвешенный диаметр угля до и после измельчения.

Определение размокаемости горных пород

Для определения размокаемости используются стандартные барабаны. После обработки проб определяют содержание в них шлама крупностью менее 0,5 мм, которое и характеризует размокаемость угля.

По методике УкрНИИУглеобогащения предложена особая методика, учитывающая определение общего показателя шламо-

образования по классу менее 0,5 мм. На фабрике производится опробование рядового угля и всех конечных продуктов обогащения, оборотной воды и сбросов по всей технологической схеме. Составляется баланс и определяется показатель шламообразования

$$k = \frac{\gamma_c - \gamma_0}{\gamma_c},$$

где γ_c – суммарный выход шлама крупностью менее 0,5 мм во всех продуктах, включая исходный; γ_0 – выход шлама в исходном продукте.

Определение содержания твердой фазы в пульпе

Быстрый способ: отбор мерной кружкой пульпы, взвешивание и сравнение с заранее изготовленной шкалой. Более точный метод учитывает накопление солей в оборотной воде. Содержание твердой фазы в пульпе определяется по формуле

$$P = P_{oc} - (P_n - P_{oc})C,$$

где P_n – масса пульпы до выпаривания, г; P_{oc} – масса отфильтрованного и выпаренного осадка, г; C – содержание выпаренного осадка в долях единицы.

Определение осаждаемости шлама

Осаждаемость шлама определяется на стандартном приборе. Показатель осаждаемости определяют по формуле

$$k = \frac{100 - \rho}{100},$$

где ρ – содержание твердого в сливе, г/л.

Если $k = 0$ – нет осаждения;

$k = 1$ – идеальная осаждаемость;

$k > 0,5$ легкая осаждаемость;

k близко к нулю – трудная осаждаемость шлама.

Определение флокулируемости шлама

В цилиндр заливают суспензию, добавляют флокулянт и измеряют время осаждения.

Определение флотуруемости шлама

По результатам флотационных опытов строят кривые обогатимости. Задаваясь зольностью концентрата из анализа кривых

флотирuemости можно определить время флотации, зольность продуктов обогащения.

Определение pH среды

$$pH = -\lg C_{H^+},$$

где C_{H^+} – концентрация ионов водорода, моль/л.

Измерение pH среды производится потенциометрическим или колориметрическим методами.

Если $pH < 4,5$, это означает, что среда очень кислая;

$pH = 4,5–6,0$ – слабокислая среда;

$pH = 6,0–8,0$ – почти нейтральная среда;

$pH = 8,0–10$ – слабощелочная среда;

$pH > 10$ – сильнощелочная среда.

Определение жесткости воды

Жесткость воды – совокупность свойств, обусловленная наличием в ней Ca^{2+} и Mg^{2+} . Жесткость воды имеет большое значение при флотации и флокуляции шламов углей. Жесткость воды определяют титриметрическим способом.

Классификация воды по жесткости:

очень мягкая	– $< 1,4$ мг-экв/л;
мягкая	– $1,4–2,8$ мг-экв/л;
средняя	– $2,8–4,2$ мг-экв/л;
достаточно жесткая	– $4,2–6,4$ мг-экв/л;
жесткая	– $6,4–10,7$ мг-экв/л;
очень жесткая	– $> 10,7$ мг-экв/л.

Оценка обогатимости полезных ископаемых

Для выбора метода обогащения можно воспользоваться шкалами обогатимости, которые несут информацию по физическим свойствам минералов. Благодаря этой информации можно определять технологические свойства минералов, а значит и основные методы обогащения полезных ископаемых: гравитационные, магнитные, электрические. Флотационный метод обогащения, благодаря своей универсальности, не имеет подобной шкалы, тем не менее, возможно построение вспомогательных флотационных шкал. Химико-металлургические операции в схемах обогащения руд основаны на способности различных минералов выщелачиваться щелочами, кислотами и другими растворителя-

ми, на методах селективного осаждения ионов из растворов, а также разделение их с помощью ионообменных смол. Эти методы позволяют обогащать труднообогатимые руды, извлекать ценные компоненты из шахтных вод, очищать сточные воды.

Критерии оптимизации при исследовании обогатимости сырья

Примерами простейших технологических критериев являются:

γ – выход концентрата;

ε – извлечение полезного компонента в концентрат;

β – содержание полезного компонента в концентрате;

θ – содержание полезного компонента в отходах;

α – содержание полезного компонента в исходном материале;

i – степень сокращения:

$$i = \frac{100}{\gamma};$$

l – степень обогащения:

$$l = \frac{\beta}{\alpha}, \quad l = \frac{\varepsilon}{\gamma}.$$

Расчет выходов и извлечений по балансу металлов

Баланс масс

$$100 = \gamma + \gamma_{отх}.$$

Баланс по полезному компоненту

$$100\alpha = \beta\gamma + (100 - \gamma)\theta;$$

$$\varepsilon\alpha = \beta\gamma.$$

Особенности фракционирования по разделительным признакам

Для любого разделительного признака может быть получена фракционная характеристика в виде гистограммы

$$\gamma_i = f_{\gamma}(\xi_i).$$

и зависимость массовой доли полезного компонента во фракции от величины разделительного признака ξ

$$\alpha_i = f_{\alpha}(\xi_i).$$

По этим характеристикам можно рассчитать выход и качество концентрата и хвостов для сепаратора с идеальной сепарационной характеристикой.

*Сепарационные характеристики
промышленных аппаратов и процессов*

Сепарационная характеристика промышленного аппарата или процесса может быть задана:

а) уравнением

$$\varepsilon = f(\xi);$$

б) крутизной

$$\frac{d\varepsilon}{d\xi} = f(\xi);$$

в) вероятным отклонением, связанным со среднеквадратичным отклонением так:

$$E_p \approx \frac{2\sigma_\xi}{3}.$$

Допустимые погрешности воспроизводимости результатов аппаратуры, например, для информационных методов обогащения 5–10 %. Это означает, что такая аппаратура позволяет различать куски, с отклонениями массовой доли $\pm 5\text{--}10\%$.

Важной характеристикой является эффективность разделения Θ

$$\Theta = \frac{\sum_j \left| \frac{\alpha_i}{\alpha} - 1 \right| \gamma_j}{\sum_i \left| \frac{\alpha_i}{\alpha} - 1 \right| \gamma_i},$$

где α_i – массовая доля компонента в куске; γ_i – массовая доля куска в пробе; α_j – массовая доля компонента, определенная с помощью какого-либо информационного сигнала; γ_j – выход фракции; α – среднее значение массовой доли компонента в продукте.

Из последнего уравнения ясно, что если α_i и α_j – одни и те же числа, то разделение по информативному сигналу будет эквивалентно разделению по массовой доле. В соответствии с этим введены оценки эффективности признака разделения Θ , характеризующие сепарационную характеристику разделительного аппарата:

$\mathcal{E} > 0,9$ – эффективность высокая;
 $\mathcal{E} = 0,8-0,9$ – хорошая;
 $\mathcal{E} = 0,7-0,8$ – удовлетворительная;
 $\mathcal{E} = 0,5-0,7$ – низкая;
 $\mathcal{E} < 0,5$ – неэффективная.

Знаменателем вышеописанного уравнения является величина M – показатель контрастности руды. Хорошие показатели можно получить лишь на руде, подготовленной к такому разделению. Поэтому введены оценки контрастности руды:

$M > 1,5$ – руда особоконтрастная;
 $M = 1,1-1,5$ – высококонтрастная;
 $M = 0,7-1,0$ – контрастная;
 $M = 0,5-0,7$ – низкоконтрастная;
 $M < 0,5$ – неконтрастная.

ВЫБОР И ИСПЫТАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ

Выбор технологических схем разделения

При выборе технологической схемы следует руководствоваться следующими принципами:

- 1) предусмотреть обогащение всех классов крупности;
- 2) при наличии трудностей технической реализации найти варианты их преодоления;
- 3) учитывать в каждом технологическом цикле выделение максимально возможного числа концентратов, в том числе из минералов породы.

Сравнение вариантов технологических схем основывается на сопоставлении приведенных затрат по технологиям

$$Z = (C + E_n K) Q_z,$$

где C – себестоимость переработки 1 т руды; K – удельные капитальные затраты на обогащение 1 т руды; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; Q_z – производительность, т/год.

Оценка эффективности технологических операций

Для оценки эффективности технологических схем важно знать эффективность отдельных операций, которая связана с качеством концентрата. Например, по Т. Г. Фоменко, эффективность процессов обогащения угля можно рассчитать по формуле

$$E = \frac{\varepsilon \varepsilon_n}{100},$$

где ε – извлечение горючей массы в концентрат; ε_n – извлечение не полезного компонента в хвосты.

При флотации руд критерием оценки является относительная скорость флотации, которая определяется по формуле

$$L_1 = \frac{\lg(1 - \varepsilon)}{\lg(1 - \varepsilon_n)}$$

или в некоторых случаях по формуле

$$L_2 = \frac{\varepsilon(1 - \varepsilon_n)}{\varepsilon_n(1 - \varepsilon)}.$$

Товарный баланс. Технологический баланс

Баланс продуктов обогащения является одной из форм отчетности по испытанию руд или их обогащению.

Технологический баланс составляется по данным весового учета исходного материала и химического анализа сырья и продуктов обогащения и рассчитывается по балансовым уравнениям

$$100\alpha = \beta\gamma + (100 - \gamma)\theta;$$

$$\varepsilon = \gamma \frac{\beta}{\alpha},$$

где α – содержание полезного компонента в исходном продукте, %; γ – выход концентрата, %; β – содержание полезного компонента в концентрате, %; θ – содержание полезного компонента в отходах, %.

Товарный баланс составляется по данным весового учета переработанного материала и отгруженных продуктов обогащения с учетом оставшихся в незавершенном производстве продуктов, породы и потерь сырья в процессе обогащения.

$$Q\alpha + Q_n\alpha_n - Q_k\alpha_k = Q_m\beta_m + Q_x\beta_x + Q_m\beta_m,$$

где Q – количество исходного материала, поступившего за отчетный период, т; Q_n , Q_k – остаток продуктов незавершенного производства на начало и конец отчетного периода, в тоннах; α , α_n , α_k – средневзвешенное содержание полезного компонента в выпеленных продуктах, %; Q_m , Q_x , Q_m – количество товарного концентрата, хвостов и механических потерь, т; β_m , β_x , β_m – средневзвешенное содержание полезного компонента в концентрате, хвостах и механических потерях, %.

Испытание технологических схем

Виды испытаний:

- укрупненные лабораторные;
- полупромышленные;
- промышленные.

Укрупненные лабораторные испытания – испытания, проводимые в непрерывном режиме по полной схеме обогащения, на лабораторном оборудовании. Производительность такого оборудования не превышает 100 кг/ч. В результате испытаний состав-

ляют товарный баланс полезных компонентов, оценивают качество хвостов с целью дальнейшего их использования и т. д. На основании результатов укрупненных лабораторных испытаний составляют технологический регламент или технологическое задание для подготовки к последующим полупромышленным испытаниям.

Полупромышленные испытания являются контрольными. Они проводятся в непрерывном режиме с полным воспроизводством рекомендуемой технологической схемы, в том числе водооборота и очистки воды и воздуха. Производительность установки превышает 100 кг/ч. Результатом является технологический регламент для проектирования промышленных горно-обогатительных комбинатов.

В нашей стране созданы опытные установки для переработки всех видов минерального сырья: Наро-Фоминская экспериментальная база производительностью 2 т/ч для переработки проб массой 3–20 т, Тульская экспериментальная база для переработки проб массой 15–25 т, Африкандская экспериментальная база для переработки проб массой 60–120 т, Воскресенская экспериментальная база для переработки проб фосфатного сырья, Кировская экспериментальная база (г. Кировск Мурманской обл.) для переработки апатитовых руд и ряд других.

Промышленные испытания применяют для отработки и проверки технологии нетрадиционных видов минерального сырья, нового технологического оборудования, а также уточнения технологического регламента для проектирования предприятий освоенного промышленностью минерального сырья. Производительность промышленных установок составляет 50–150 т/ч исходного сырья.

Особенности технологических испытаний

Пусконаладочные работы начинают с проверки работы оборудования с использованием воды, устраняя механические неисправности, течи и т. п. Затем подают нагрузку, уточняя производительность установки.

Дробление и грохочение. Регулировка сводится к оценке производительности для обеспечения суточного запаса дробленной руды в бункерах отделения измельчения.

Промывка. Подвергают материал крупностью до 10 мм. Облегчает последующую промывку предварительное замачивание руды, а иногда и предварительная подсушка.

Радиометрическая, фотометрическая сепарация. Проводят на материале крупностью 250–25 мм, настраивая сепаратор по эталонным пробам и получая зависимость массовой доли ценных компонентов в хвостах от условий сепарации.

Гравитационное обогащение. Целесообразно сначала испытание отсадкой в крупности $-8+3$ мм. При получении положительных результатов испытывают гравитационное обогащение в классах $-25+4$ мм или $-50+4$ мм. Хвосты додрабливают до класса $-2(0,5)+0$ мм и обогащают на других гравитационных аппаратах, либо присоединяют к классу $-3+0$ мм, полученному при грохочении руды. Класс $-0,5+0,2$ мм обогащают на концентрационном столе, классы меньше 0,074 мм – на шлюзах. При этом создают схемы с контрольными операциями и перечистками. Хвосты гравитационного обогащения классов крупнее 0,5 мм обычно доизмельчают до $-0,5$ мм. Класс $-0,013$ мм гравитационными методами не обогащают.

Магнитное обогащение. При крупности $-25(40)$ мм применяют сухую магнитную сепарацию для выделения отвальных хвостов из сильномагнитных руд. Желательна классификация на классы $+6$ мм и $-6+0$ мм. Получение концентратов обычно проводят при меньшей крупности $-3(-0,5)$ мм в несколько стадий. Слабомагнитные руды обогащают в крупности $-3(0,5)$ мм. С помощью обжига можно изменить фракционную характеристику для использования сепараторов со слабым полем, но этот вариант более дорогой.

Электрическое обогащение. Материал, нагретый до 323–870 К (чаще 350–390 К) и разделенный на узкие классы, обогащают в крупности $-2(3)$ мм. Схема испытаний должна содержать 3–4 перечистки в связи с плохой сепарационной характеристикой. Необходимо подобрать оптимальные условия разделения.

Флотация. Применяют на материале крупностью менее 0,2 мм. Установление конкретной крупности является предметом специальных, предваряющих флотацию испытаний. Далее проводится поиск оптимальных условий флотации: подбор типа и расхода флотационных реагентов, содержание твердого, время флотации и т. п., а также поиск схемных решений в связи с плохой сепарационной характеристикой.

Сгущение. Фильтрование. Испытания обычно проводятся отдельно. В простых случаях проводят опыт по сгущению в цилиндре, после чего рассчитывают диаметр сгустителя, увеличив расчетную площадь сгущения на 20–30 % для учета неравномерности нагрузки. В сложных случаях при отсутствии четкой границы между оседающей фазой и сливом площадь сгущения нужно выбирать по допустимым потерям твердого в сливе, для чего нужно провести опыты с измерением этих потерь.

Показатели фильтрования подсчитывают на основании опытов с фильтровальной воронкой методом присасывания или налива.

Полупромышленные испытания руд на обогатимость

Задачи полупромышленных испытаний:

- получение исходных данных для проектирования обогатительных фабрик;
- обоснование запасов на разведанном месторождении;
- расчет промышленных кондиций.

Ко времени проведения полупромышленных испытаний на месторождении должны быть выявлены и оконтурены (с использованием методики технологического опробования и картирования) технологические типы и сорта руд; детально изучены их вещественный состав, физико-механические свойства; разработаны технологические схемы их переработки с учетом комплексного использования сырья.

Исследование отдельных операций обогащения

Проведение испытания руд на обогатимость в тяжелых суспензиях предназначено для крупнокускового материала от 5 до 150 мм. Поскольку мелкие классы труднее разделяются, перед обогащением в тяжелых суспензиях их удаляют. Отмывают руду

от тонких шламов и глинистых частиц, нарушающих реологические свойства тяжелой суспензии. Предварительная оценка возможности обогащения в тяжелых суспензиях производится с помощью определения плотности образцов, их пористости и контрастности. Регулирование процесса обогащения в тяжелых суспензиях несложно изменением плотности и вязкости суспензии. В ЦНИГРИ создана и испытана установка для обогащения руды в тяжелых суспензиях производительностью 0,3 т/ч, которая по своим технологическим и конструктивным параметрам может быть отнесена к полупромышленным.

В полупромышленных условиях проводятся исследования руд и другими методами обогащения такими, например, как сортировка, флотация, магнитная сепарация, электростатическое обогащения или обогащение с использованием химико-металлургических методов: цианирование, сорбционное выщелачивание с использованием ионообменных смол или активированных углей, кучное бактериальное выщелачивание и др. При испытании руд драгоценных металлов часто используют комбинированные схемы. Примером обогащения с применением комбинированных схем являются испытания окисленной золотой руды по гравитационной схеме с последующим сорбционным выщелачиванием золота из хвостов гравитации с использованием ионообменных смол, а также испытания окисленной золотосеребряной руды по схеме прямого цианирования по иловому процессу.

Технологический регламент (задание) на проектирование

Технологическое задание является основным технологическим документом, на основании которого разрабатывается проект обогатительной фабрики.

Содержание технологического задания:

1. Основание для разработки.
2. Исходные материалы и технические требования к ним.
3. Утонченный сортамент на основе потребности в данном виде продукции.
4. Технические требования к конечной продукции и условия поставки.
5. Описание технологического процесса, включающее: подготовительные, вспомогательные и основные технологические

операции, рекомендации по требованиям заказчика и с учетом специфики производства.

6. Метрологическое обеспечение технологического процесса:

- перечень контролируемых параметров с указанием точек замера в технологической схеме;

- диапазон и периодичность измерений;

- технологически допустимые пределы погрешности измерений и предел запаздывания информации по каждому параметру;

- рекомендуемые способы измерений.

7. Рекомендации по автоматизации технологического процесса.

8. Экологическая оценка включающая:

- характеристику и количество выбросов и отходов технологии: состояние (твердое, жидкое, газообразное), физико-химическую характеристику, состав дымовых газов, сточных вод, и твердых отходов, количество вредных соединений, образующихся на отдельных стадиях технологии;

- предложения по использованию отходов.

9. Требования безопасности, включающие

- данные о соответствии требованиям безопасности труда предлагаемого технологического процесса;

- данные о наличии опасных и вредных производственных факторов, их уровни, качественные и количественные показатели, источники возникновения;

- рекомендации по предотвращению или снижению воздействия опасных и вредных факторов до уровней, не превышающих установленной нормы.

10. Перечень использованных источников, в том числе патентов.

Разработанное технологическое задания согласовывается с заказчиком, для которого оно выполнено, и с проектной организацией.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Компьютерное тестирование

Примеры заданий

1. Назовите этап промышленного освоения месторождений, который завершается составлением ТЭД (технико-экономического доклада).

- a) Поисково-оценочные работы
- b) Предварительная разведка
- c) Детальная разведка
- d) Эксплуатационная разведка
- e) Доразведка месторождений

2. На какой стадии исследования обогатимости ПИ предлагается выделить максимального количества пустой породы?

- a) Первая
- b) Вторая
- c) Третья
- d) Четвертая
- e) Пятая

Контрольные вопросы к лабораторному практикуму

Лабораторная работа №1. Составление принципиальных схем сокращения пробы руды до требуемой массы.

- 1. От чего зависит масса технологической пробы?
- 2. Какие операции необходимо провести при подготовке технологических проб?
- 3. Какие операции необходимо провести для разработки схемы сокращения пробы руды до требуемой массы?
- 4. Каким образом определяется минимальная масса пробы?
- 5. Какой массы требуются пробы для элементного и фазового анализов?

6. Какой массы требуются лабораторные технологические пробы при планировании исследования на обогатимость методом флотации?

Лабораторная работа №2. Определение раскрываемости минералов. Построение зависимостей раскрытия минералов от продолжительности измельчения руды.

1. Для чего необходимо знать раскрываемость минералов?
2. Какое время измельчения необходимо выбрать для оценки руд по раскрываемости?
3. Чему численно равен коэффициент раскрытия минералов и при каком времени измельчения?
4. В каких единицах измеряется коэффициент раскрытия минералов?

Вопросы к зачету по дисциплине

«Исследование полезных ископаемых на обогатимость»

1. Этапы промышленного освоения месторождения.
2. Стадии исследования полезных ископаемых на обогатимость.
3. Виды проб полезного ископаемого. Способы опробования месторождения.
4. Подготовка пробы к исследованию. Масса представительной пробы.
5. Примерная схема изучения состава и обогатимости полезного ископаемого.
6. Химические методы анализа элементного состава.
7. Спектральные методы анализа элементного состава минералов.
8. Физико-химические методы изучения фазового состава руды. Фазовый (пробирный) анализ руды.
9. Методы изучения фазового состава руды: оптико- и электронно-микроскопический; люминесцентный анализ.
10. Комбинированные методы минералогического анализа.
11. Методика проведения ситового анализа. Методика анализа на ситах «микромеш» и «микроплат».
12. Седиментационный анализ. Границы применимости. Применяемые методики. Метод отбора весовых проб.
13. Связь метода обогащения и крупности кусков.

14. Методы измерения и расчета разделительных признаков минералов: плотность.

15. Методы измерения и расчета разделительных признаков минералов: удельная магнитная восприимчивость, диэлектрическая проницаемость, удельная проводимость.

16. Методы измерения и расчета разделительных признаков минералов: флотуемость, растворимость, информационный сигнал.

17. Методы изменения разделительных признаков минералов.

18. Методика проведения фракционного анализа. Минимальная масса пробы для определения фракционного состава углей. Применяемые среды. Построение кривых обогатимости углей.

19. Определение петрографического состава углей.

20. Определение действительной плотности угля. Определение действительной плотности отдельных кусков угля. Расчет органической массы угля.

21. Определение действительной плотности угля. Определение плотности шламов, пыли, мелкого угля.

22. Определение насыпной плотности угля. Определение насыпной плотности мелкого материала методом режущего цилиндра. Определение насыпной плотности крупного материала.

23. Определение плотности жидкости и жидкости содержащий шлам.

24. Определение угла трения углей. Динамический угол естественного откоса. Статический угол.

25. Определение степени измельчения углей и руд.

26. Определение размокаемости горных пород.

27. Определение содержания твердой фазы в пульпе.

28. Определение pH среды. Характеристика воды по концентрации водорода. Методики определения pH среды.

29. Определение жесткости воды. Общая жесткость воды. Классификация воды по жесткости. Методика определения жесткости воды.

30. Определение пористости угля. Бактериальное загрязнение воды, классификация.

31. Определение осаждаемости шлама.
32. Определение флокулируемости шламов.
33. Определение флотуруемости шламов. Кривые флотуруемости угля.
34. Обогащаемость минералов гравитационными методами. Шкала обогащаемости гравитационными методами.
35. Обогащаемость минералов магнитными методами. Шкала обогащаемости магнитными методами.
36. Обогащаемость минералов электрическими методами. Шкала обогащаемости электрическими методами.
37. Обогащаемость минералов флотационными методами. Классификация минералов по флотуруемости.
38. Перспективные направления исследования флотационного процесса.
39. Химико-металлургические операции в схемах обогащения руд.
40. Критерии оптимизации при исследовании на обогащаемость. Расчет выходов и извлечений по балансу металлов. Степень сокращения. Степень обогащения. Технологический баланс.
41. Товарный баланс.
42. Оценка эффективности технологических операций.
43. Испытание технологических схем. Виды испытаний.
44. Особенности технологических испытаний.
45. Полупромышленные испытания технологических схем. Методика проведения исследований руд на обогащаемость в тяжелых суспензиях.
46. Операции обогащения с использованием химико-металлургических методов. Методы химического обогащения на примере золотосодержащих руд: цианирование, сорбционное выщелачивание с использованием ионообменных смол.

**Учебно-методическое
и информационное обеспечение дисциплины**

Основная литература

1. Суслина, Л. А. Исследование обогатимости сырья: учебное пособие к практическим занятиям для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» (<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90408&type=utchposob:common>) / Л. А. Суслина ; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2009.

2. Суслина, Л. А. Исследование обогатимости сырья : материалы к лекционному курсу для студентов очной и заочной формы обучения специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» / Л. А. Суслина. – Электрон. дан. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); зв.; цв.; 12 см. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 95; (CD-ROM-дисковод); мышь. – Загл. с экрана.

Дополнительная литература

3. Леонов, С. Б. Исследование полезных ископаемых на обогатимость: учеб. пособие / С. Б. Леонов, О. Н. Белькова. – Москва : Интермет инжиниринг, 2001.

4. Митрофанов, С. И., Исследование полезных ископаемых на обогатимость / Л. А. Барский, В. Д. Самыгин – Москва : Недра, 1974.

5. Митрофанов, С. И. Исследование полезных ископаемых на обогатимость / С. И. Митрофанов. – Москва : ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1962.

6. Фоменко, Т. Г. Исследование углей на обогатимость / В. С. Бутовецкий, Е. М. Погарцева. – Москва : Недра, 1978.

7. Бергер, Г. С. Полупромышленные испытания руд на обогатимость / Г. С. Бергер, М. А. Орел, Е. Л. Попов. – Москва : Недра, 1984.

8. Зеленов, В. И. Методика исследования золотосодержащих руд / В. И. Зеленов. – Москва : Недра, 1978.

9. Юшко, С. А. Методы лабораторного исследования руд / С. А. Юшко. – Москва : Недра, 1984.

10. Методы минералогических исследований: справочник / под ред. А. И. Гинзбурга. – Москва : Недра, 1985.

11. Яковлев, Д. И. Угলেখимические лаборатории / Д. И. Яковлев. – Москва : Углетехиздат, 1953.

12. Батанов, А. И. Обогащение руд черных металлов / А. И. Батанов – Москва : Госгортехиздат, 1961.

13. Обогащаемость железных руд: справочное пособие / И. П. Богданова, Н. А. Нестерова, В. С. Федорченко [и др.]. – Москва : Недра, 1989.

14. Практикум по обогащению полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / под ред. Н. Г. Бедрань. – Москва : Недра, 1991.

15. <http://www.74rif.ru/Gremyaha.html> (обогащение титаномагнетитовых руд)

16. http://www.ntpo.com/patents_extraction/extraction_1/extraction_234.shtml (способ обогащения вольфрамсодержащих руд)

Программное обеспечение

КузГТУ обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения.

Интернет-ресурсы

Информацию обо всех имеющихся электронных ресурсах можно получить в аудитории 1211 (зал электронных ресурсов) и на сайте библиотеки <http://library.kuzstu.ru> в том числе по разделам:

- тематический указатель периодических изданий
- учебные пособия, изданные в КузГТУ
- информационная система «Технонорматив»
- ресурсы Интернет по профилю КузГТУ

(<http://elib.kuzstu.ru>)

Можно воспользоваться сайтами ведущих фирм – производителей оборудования для переработки полезных ископаемых: <http://www.lmzip.com>; <http://www.new-technologies.spb.ru>; <http://www.sdormash.ru>; <http://www.dromash.ru>; <http://www.hartl.ru>; <http://www.drobilki.com>; <http://www.andritz.com/ep> и др.

Полезно воспользоваться поисковыми системами Яндекс, Rambler, Yahoo, Google, MSN.