

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»)**

ПРАКТИКУМ ПО ОБОГАЩЕНИЮ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебное пособие

Чита
ЗабГУ
2014

УДК 622.7

ББК

Печатается по решению Ученого совета
Забайкальского государственного университета

Ответственный за выпуск

Л.Г.Никитина, доцент кафедры «Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья», зам.декана по учебной работе горного факультета ЗабГУ

Рецензенты:

О.Л. Долгих, канд.техн. наук, инженер ОАО «Читагеологоразведка»

Т.В.Никоненко, заведующая группой обогатительного отдела Забайкальского филиала ООО «ТОМС – инжиниринг»

Практикум по обогащению полезных ископаемых: учеб. пособие / А.В.Фатьянов, Л.Г. Никитина, К.К.Размахнин, А.А. Тетерин; Забайкал.гос.ун-т. – Чита: ЗабГУ, 2014. – 244с.: ил.

В учебном пособии изложены методические основы, даны практические рекомендации для проведения лабораторных и практических работ и выполнения технологических расчетов по обогащению полезных ископаемых. Описаны основное лабораторное оборудование и схемы аппаратного оформления экспериментальных установок. Приведены методики выбора и расчета качественно-количественных схем, технологического оборудования по флотационным методам обогащения. Рассмотрены новые технологии переработки различных типов руд металлических полезных ископаемых и нерудного сырья.

Предназначено для студентов обучающихся по специальности 21.05.04 – Горное дело, специализация – Обогащение полезных ископаемых

УДК 622.7

ББК

@ ЗабГУ, 2014

Предисловие

Учебное пособие «Практикум по обогащению полезных ископаемых» подготовлено в соответствии с требованиями учебных программ комплекса дисциплин по специальности 21.02.04 – Горное дело, специализация – Обогащение полезных ископаемых.

Учебное пособие предназначено для более глубокого изучения дисциплин специальности и закрепления теоретических знаний при выполнении студентами лабораторных работ, практических упражнений, курсового проектирования. В пособии подробно разработаны темы практических занятий, приведены примеры расчета для самостоятельного решения задач.

Используя в пособии методики, студент сможет выбрать тип флотомашин и рассчитать количество камер для каждой операции флотации. Рассчитать реагентный режим разных по составу минеральных комплексов. Обсуждены преимущества современных флотационных машин.

Кратко изложены темы лекций по дисциплинам: «Флотационные методы обогащения», «Магнитные, электрические и специальные методы обогащения».

В пособии использованы научные исследования и труды в области обогащения полезных ископаемых известных зарубежных ученых и России, использованы материалы по лабораторным и практическим курсам В.И. Брагиной и В.И. Брагина Сибирского Федерального Университета. Материалы пособия прошли рецензирование сотрудниками филиала ЗАО «ТОМС инжиниринг» и ОАО «Читагеологоразведка», которые рекомендовали к изданию, отметив, что разработанные материалы по практическим занятиям позволяют проводить промежуточную аттестацию как одну из форм контроля качества образовательной программы.

Раздел I Флотационные методы обогащения

Введение

Дисциплина «Флотационные методы обогащения полезных ископаемых», являясь базовой для студентов, обучающихся по специальности 21.05.04 – Горное дело специализации – Обогащение полезных ископаемых. Выполнение лабораторных и практических работ позволят, студентам закрепить теоретические, и получить практические навыки для выбора и расчета флотационных схем. Приведены методики выбора и расчета качественно-количественных схем, технологического оборудования при курсовом проектировании. Рассмотрены новые технологии переработки различных типов руд металлических полезных ископаемых и нерудного сырья

Флотация является одним из основных и наиболее распространенных физико-химических методов обогащения руд цветных, редких и благородных металлов. Роль флотации в современном производстве характеризуется большими масштабами ее промышленного применения. С ее применением связано получение в промышленных масштабах примерно 70 % химических элементов Периодической системы Д.И. Менделеева.

Флотационными процессами обогащения называются процессы разделения минералов, основанные на различной способности этих минералов закрепляться на межфазной поверхности. Разная способность минералов удерживаться на межфазовой поверхности определяется неодинаковыми значениями их удельной поверхностной энергии, зависящей от химического состава и строения кристаллической решетки минералов.

Применение различных флотационных реагентов позволяет искусственно изменять значение свободной удельной поверхностной

энергии минералов в требуемую сторону и создавать условия для избирательного их закрепления на пузырьках воздуха.

Большое разнообразие флотационных реагентов и возможности направленного изменения свойств минеральной поверхности и водной среды позволяет считать флотацию универсальным методом, применимым для разделения любых минеральных комплексов, независимо от их гравитационных, магнитных или электрических свойств.

Изучение дисциплины «Флотационные методы обогащения» сопровождается циклом практических занятий, целью которых является приобретение навыков в решении теоретических и практических задач, выбора и расчета основных исполнительных аппаратов цеха флотации.

Глава 1 Краткое содержание лекционного курса по флотационным методам обогащения

Тема 1 Флотация. Разновидность флотационных процессов

1. Флотационными процессами называются процессы разделения минералов, основанные на различной способности этих минералов закрепляться на междофазовой поверхности.

При флотации используются различия в удельных поверхностных энергиях, или различия в свойствах поверхностей разделяемых минералов, наиболее существенными из которых являются смачиваемость водой и способность к взаимодействию с реагентами и газами.

Флотация происходит в соответствии со вторым законом термодинамики: «Всякая система при постоянной температуре и объеме самопроизвольно стремится перейти в такое состояние, при котором её свободная энергия будет наименьшей, если на пути перехода нет энергетического барьера, или если системе будет сообщена энергия, достаточная для преодоления этого барьера».

Разновидности флотационных процессов

I) Флотационное разделение минералов на поверхности раздела жидкость-газ

1. Пленочная флотация
2. Пенная флотация
 - а) обычная пенная флотация
 - б) вакуумная флотация
 - в) флотация кипячением
 - г) химическая (газовая) флотация
 - д) электрофлотация
 - е) пенное фракционирование
 - ж) ионная флотация
3. Пенная сепарация

II) Флотационное разделение минералов на поверхности раздела жидкость-жидкость

1. Масляная флотация
2. Грануляционный процесс
3. Обогащение алмазов на жировых плоскостях
4. Флотация при автоклавной плавке серных концентратов
5. Флотация при амальгамировании

III) Флотационные процессы на поверхности раздела твердое - жидкость и твердое – газ.

1. Флотация твердой стяжкой (ультрафлотация)
2. Коагуляция минеральных частиц в пульпе (агломерационная флотация)
3. Явление слипания твердых частиц в аэрозолях и дымах

Тема 2 Основы теории минерализации пузырьков при флотации

Понятие об элементарном акте флотации. Суть гипотез элементарного акта флотации:

1. Гипотеза избирательной адсорбции кислорода воздуха
2. Электростатическая гипотеза
3. Адсорбционная гипотеза Белоглазова К.В
4. Гипотеза смачивания

По гипотезе смачивания: понятие о смачиваемости, краевой угол смачивания, зависимость между величиной краевого угла смачивания и удельными поверхностными энергиями на границах соприкасающихся фаз, когезионно-адгезионные явления, понятие о работе когезии и адгезии, трехфазный периметр смачивания.

Вывод уравнения равновесного краевого угла смачивания:

$$\cos\theta = \frac{\delta_{гт} - \delta_{тжс}}{\delta_{гжс}}, \text{ где}$$

θ – равновесный краевой угол смачивания;

$\delta_{гт}$, $\delta_{тжс}$, $\delta_{гжс}$ – соответственно поверхностные энергии на границе раздела фаз газ-твердое, твердое-жидкость, газ жидкость.

Термодинамический анализ возможности элементарного акта флотации с выводом формул для показателя флотируемости $F = \delta_{гжс}(1 - \cos\theta)$. Кинетика разрушения прослая воды между пузырьком и частицей при элементарном акте флотации с обоснованием механизма минерализации пузырьков воздуха.

Физические основы флотации. Уравнение равновесия частицы на плоской поверхности раздела газ жидкость при пленочной флотации:

$$P_k = \Pi \cdot \delta_{гжс} \cdot \sin\theta - v \cdot g \cdot (\delta_{т} - \delta_{жс}), \text{ где}$$

P_k - критическая сила отрыва частицы;

Π - периметр смачивания;

v – объем частицы;

δ_m и $\delta_{жс}$ – плотности твердого и жидкого;

g – ускорение силы тяжести.

Уравнение Фрумкина – Кабанова, определяющее прочность прилипания пузырька газа к твердой поверхности:

$$\pi_a \cdot \sin\theta = v_n \cdot \delta_{жс} g + \frac{\pi \cdot a^2}{4} \left(\frac{2 \cdot \delta_{жс}}{R} - h \cdot \delta_{жс} g \right), \text{ где}$$

$\pi_a \cdot \sin\theta$ – флотационная сила;

$\frac{\pi \cdot a^2}{4}$ – площадь прилипания пузырька с поверхностью;

$\frac{2 \cdot \delta_{жс}}{R}$ – капиллярное давление;

$h \cdot \delta_{жс} g$ – гидростатическое давление.

Общая схема сил, действующих при закреплении частицы на пузырьке воздуха в условиях флотации. Уравнение Матвееенко – уравнение равновесия частицы на пузырьке воздуха в условиях пенной флотации:

$$\sigma_{жс} \cdot \sin\theta = \frac{kd^2}{\pi\psi} (\delta_t - \delta_{жс}) \cdot c + \frac{\psi d}{4} \left(2 \frac{\sigma_{жс}}{R} - hq\delta_{жс} \right), \text{ где}$$

K – безразмерный коэффициент пропорциональности между кубом диаметра частицы (d) и ее объемом (v);

Ψ – безразмерный коэффициент, характеризующий отношение диаметра площади контакта к диаметру частицы.

Кинетика флотации и методы определения скорости флотации.

Тема 3. Флотационные реагенты и механизм их действия на границе раздела фаз

Двойной электрический слой на поверхности раздела минерал – раствор, его структурные особенности минералов, влияющие на их поведение при флотации:

1. Неоднородность поверхности минералов;
2. Изоморфные и механические примеси в минералах;

3. Совместное нахождения минералов;
4. Взаимное срастание минералов;
5. Вторичные изменения минералов.

Основные формы закрепления реагентов на минеральной поверхности.

Понятия о физической и химической адсорбции.

Виды химической адсорбции: хемосорбция, гетерогенная химическая реакция, молекулярная адсорбция электролитов, ионная: обменная адсорбция электролитов, адсорбция потенциал-определяющих ионов.

Формы взаимодействия и описания процессов, влияющих на флотацию.

Флотационные реагенты и механизм их действия на поверхности раздела фаз.

Общая классификация реагентов:

1. Пенообразователи.
2. Собиратели.
3. Регуляторы (модификаторы):
 - Депрессоры (подавители);
 - Активаторы;
 - Регуляторы среды.

Строение молекул и классификация реагентов собирателей. Реагенты пенообразователи, депрессоры и регуляторы среды. Основные механизмы их взаимодействия при флотации.

Тема 4 Флотационные машины

Классификация флотационных машин по способу аэрации:

1. Механические
2. Пневмомеханические

3. Пневмогидравлические
4. Пневматические
5. Вибрационные
6. Флотационные машины с изменяемым давлением
7. Электрофлотационные
8. Комбинированные.

Рассмотрение примеров конструкции флотационных машин по каждому виду классификации.

Тема 5 Перспективы развития флотационного процесса

Факторы влияющие на флотацию:

1. Характер минерального сырья
2. Крупность флотируемого материала
3. Аэрированность пульпы
4. Дисперсность воздушных пузырьков
5. Равномерность распределения пузырьков в объеме пульпы.
6. Плотность пульпы
7. Скорость потока пульпы
8. Продолжительность флотации
9. Температура пульпы
10. Реагентный режим
11. Интенсивность съема пены

Перспективы развития флотации:

1. Основные направления развития технологии:
 - на основе анализа существующего положения на обогатительных фабриках возникает проблема повышения эффективности флотации на основе нетрадиционных физико-химических средств и методов управления флотацией;

- разработка новых методов раскрытия тонкоизмельченных сростков вплоть до микро- и наноразмеров ;
- создание экологически безопасных процессов комплексной переработки труднообогатимых руд на основе комбинированных схем обогащения, пиро- и гидрометаллургии;
- создание и внедрение новых процессов и аппаратов для повышения контрастности свойств минералов на основе энергетических воздействий;
- разработка технологии обогащения сырья техногенных месторождений.

2. Разработать научно-обоснованные принципы построения технологических схем:

- обеспечить концентрирование ценных компонентов на всех уровнях горного дела;
- использовать химические и ядерно-физические методы разделения материалов;
- комплексное использование сырья;
- экологически чистые и безотходные технологии;
- разработка технологии извлечения редкоземельных элементов из всех типов руд;
- создать методику разработки технологических схем.

3. Основные практические задачи по разработке флотации:

- Научиться обогащать тонкие классы 5-10 мкм;
- Применение новых реагентных режимов направленного действия;
- Изучение и регулирование структуры дисперсионной среды;
- Создать новые конструкции флотомашин в виде закрытого полностью автоматизированного аппарата;
- Обеспечить внедрение комбинированных схем;

- Внедрение экспрессных методов анализа продуктов флотации.

Рекомендуемый библиографический список

1. Глембоцкий В.А. Флотационные методы обогащения [Текст]: Учебник для ВУЗов / В.А. Глембоцкий, В.И. Классен. М.: Недра, 1981. 304с.
2. Абрамов, А.А. Флотационные методы обогащения [Текст]: Т.4. учебник для ВУЗов / А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2008. 707с.
3. Хан Г.А. Флотационные реагенты и их применение [Текст] / Г.А. Хан, Л.И. Габриелова, Н.С. Власова. М.: Недра, 1986. 272с.
4. Разумов К. А. Проектирование обогатительных фабрик [Текст]: Учебник для ВУЗов / К. А. Разумов, В. А. Перов. М.: Недра, 1982. 518с.
5. Митрофанов С.И. Исследование полезных ископаемых на обогатимость [Текст] / С. И. Митрофанов, Л. А. Барский, В. Д. Самыгин. М.: Недра, 1974. 494с.
6. Тихонов О.Н. Справочник по проектированию обогатительных фабрик [Текст]: книга 1 / О.Н. Тихонов, В.В. Рыбаков, В.Ф. Баранов. М.: Недра, 1988. 375с.
7. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Обогатительные процессы и аппараты [Текст]: Т. 1. Учебник для ВУЗов / А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2001. 470с.
8. Фатьянов А.В. Проектирование обогатительных фабрик [Текст]: учебное пособие / А.В. Фатьянов. Чита: ЧитГТУ, 2003. 300с.
9. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Технология обогащения полезных ископаемых [Текст]: Т. 2. Учебник для ВУЗов / А.А. Абрамов, М.: МГГУ, 2004. 510с.

10. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов [Текст]: учебное пособие / А.А. Абрамов. М.: МГТУ, 2005. 510с.

11. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов [Текст]: книга 1. Т. 3. Учебное пособие для ВУЗов / А.А. Абрамов, М.: МГТУ, 2005. 575с.

16. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов [Текст]: книга 2. Т. 3. Учебное пособие для ВУЗов / А.А. Абрамов, М.: МГТУ, 2005. 471с.

Глава 2 Лабораторный практикум по флотационным методам обогащения

Общие правила по технике безопасности при проведении лабораторных работ

1. Приступить к лабораторной работе только после прохождения инструктажа по технике безопасности.
2. Проводить лабораторные работы только после ознакомления с данными методическими указаниями.
3. Включать оборудование только в присутствии преподавателя.
4. Не заходить за панели и не трогать ручки настройки, выведенные на лицевые стороны стендов, если это не диктуется потребностями проведения работ.
5. При работе с флотореагентами необходимо помнить, что некоторые из них ядовиты и при попадании на кожу или слизистую оболочку вызывают ожоги. Пораженное место при работе с ксантогенатами, дитиофосфатами необходимо тщательно промыть водой, а при работе с кислотами и щелочами сделать примочку: из 5 %-ного раствора соды (в случае ожога кислотой) или 5 %-ного раствора уксусной или борной кислотой (в случае ожога щелочью).
6. После окончания работы необходимо привести в порядок рабочее место, тщательно вымыть руки.

После ознакомления с правилами техники безопасности и записи о прохождении инструктажа в соответствующем журнале студенты могут быть допущены к выполнению лабораторных работ.

Лабораторная работа № 1

Основные виды флотации

Цель работы - ознакомиться с видами флотационного разделения минералов на различных поверхностях раздела.

1.1 Теоретическое введение

Флотация - основной процесс обогащения полезных ископаемых. Несмотря на то, что это сравнительно молодой процесс, возникший более 100 лет назад, применяется при обогащении 95% добываемых руд цветных металлов, а неметаллических (фосфат, графит, тальк) и мелких классов углей - почти 100%.

Такое широкое применение этого процесса объясняется тем, что флотация позволяет извлекать ценные компоненты наиболее полно и комплексно при необходимом качестве концентратов, а также обогащать тонко вкрапленные, бедные руды, которые не могут быть переработаны другими процессами.

Флотация - английское слово (flotation) - означающее в буквальном переводе - всплывание.

Флотация состоит в том, что компоненты измельченного полезного ископаемого разделяются на основе различной их способности удерживаться на границе раздела двух фаз жидкость - жидкость или жидкость - газ. Закрепление минеральных частиц происходит избирательно. Одни частицы прилипают к фазе и всплывают, отделяясь от других частиц, поверхность которых не способна к прилипанию. Флотация проводится обычно в водной среде (одна фаза) другой фазой служит воздух и редко масло (иногда вместо воздуха применяют другой газ). Флотация подчиняется второму закону термодинамики.

С момента открытия процесса флотации и первого применения его в промышленности, он претерпел значительные изменения, причем со временем изменялась сама сущность метода.

Очень кратко рассмотрим основные этапы развития флотационного процесса.

Еще в глубокой древности было известно свойство масла покрывать металлические частицы, о чем упоминается в сочинениях Геродота (400 лет до н. э.). По этим описаниям девушки одного острова смазывали жиром перья птиц, опускали их в ил озера и извлекали частицы золота. Это изобретение древних девушек нашло применение через 2000 лет, когда в 1860 году англичанин Вильям Хайнц предложил способ разделения сульфидных минералов и минералов пустой породы при обработке их маслом. При этом сульфиды обволакивались маслом и отделялись от пустой породы, которая падала на дно.

Этот процесс еще не был истинной флотацией, но все - таки был предшественником флотационного процесса, получившим в дальнейшем названия «масляной флотации».

Позднее в 1885 году этот процесс был несколько усовершенствован (американкой Эверсон) добавкой кислоты. Это позволило впервые осуществить этот процесс на практике для обогащения золотосодержащих руд.

Таким образом, процесс масляной флотации основан на различной способности минералов закрепляться на поверхности раздела жидкость-жидкость, а именно, на поверхности раздела вода-масло. При масляной флотации гидрофобные частицы прилипают к каплям диспергированного в пульпе масла и всплывают наверх, а гидрофильные частицы остаются в пульпе во взвешенном состоянии. Если плотность масла меньше единицы, то его капельки вместе с

закрепившимися частицами всплывают на поверхность пульпы, образуя слой минерализованного масла.

Процесс масляной флотации вследствие большого расхода масла (10- 20% от веса руды) широкого промышленного применения не получил.

Флотационное разделение может также осуществляться на поверхности жир-вода. Примером такого разделения может служить обогащение алмазов на жировых поверхностях.

В 1892 году была открыта пленочная флотация, при которой тонко измельченная руда осторожно вносилась на поверхность воды. Частицы, смачиваемые водой, осаждались, а не смачиваемые оставались на поверхности воды и снимались в виде концентрата.

Процесс пленочной флотации малопроизводителен, весьма чувствителен к технике проведения, и в настоящее время ограничен в применении, так как различие во флотационных свойствах разделяемых минеральных частиц должно быть значительное. В связи с этим пленочная флотация не нашла широкого применения в практике обогащения, кроме как при доводке золото- и алмазосодержащих руд. Ее принцип используется в процессе флото-гравитации.

В 1877 г. в Дрездене братьями Бессель была предложена пенная флотация, в которой использовали газ для всплывания частиц графита. Флотация осуществлялась пузырьками водяного пара, получаемого при кипячении воды.

Первое существенное достижение в области применения флотации относится к началу 20 века (1901 г) когда Поттер использовал этот метод в промышленном масштабе в Австралии на руднике Брокен-Хилл. Пузырьки газа получались в результате реакции, происходящей при воздействии H_2SO_4 на карбонаты. Процесс - экзотермический, температура пульпы повышалась до 80...90 °C и выделялись пузырьки

CO₂, к которым прилипали частицы минералов. На этом руднике были переработаны старые отвалы и получены концентраты с содержанием Zn = 45...50%. Расход серной кислоты составлял 2,5 % от веса руды. Фромент в Италии 1902 году взял патент на флотацию сульфидных руд (применялось 1...1,5% масла), а газ получали действием кислоты на известняк, который для этого загружали в пульпу.

Впоследствии здесь же был применен процесс вакуумной флотации. Под действием вакуума выделялся воздух, растворенный в пульпе.

В 1906 году Салман, Пиккар, Балло предложили непосредственное введение газа в пульпу с помощью вращающегося импеллера. Так возник современный процесс пенной флотации.

Флотационное разделение минералов, происходящее на криволинейной поверхности раздела жидкость-газ (на поверхности пузырьков газа, образующихся в пульпе), называется пенной флотацией. В этом случае гидрофобные частицы прилипают к вводимым в пульпу пузырькам воздуха или газа и поднимаются с ними вверх, образуя минерализованную пену, а гидрофильные частицы остаются взвешенными в объеме пульпы.

Пенная флотация в зависимости от способа насыщения пульпы пузырьками воздуха имеет несколько разновидностей: вакуумная (выделение воздуха из раствора), компрессионная (насыщение воды воздухом под повышенным давлением), химическая (образование пузырьков газа вследствие химического взаимодействия), флотация кипячением (образование пузырьков пара и выделение растворенного в воде воздуха при кипячении пульпы), электрофлотация (образование пузырьков газа в результате электролиза воды) и др.

При обычной пенной флотации в качестве газа используется засасываемый или подаваемый под давлением воздух, который

диспергируется в пульпе на мелкие пузырьки с помощью различных устройств.

1.2. Оборудование и материалы Смеси чистых минералов крупностью $-0,2 + 0,074$ мм; кварца-серы (1:1), кварца-свинцового блеска (1:1); технические весы с разновесами, фарфоровые чашки ($\phi=50$ мм); сушильный шкаф, шпатели, предметные стекла, пробирки, химические стаканы емкостью 250...500 см³, штатив, бюретка, тигли, пипетки, флотационные реагенты: 0,1%-ый раствор бутилового ксантогената, сосновое масло, машинное масло или нефть.

1.3. Порядок проведения работы

1.3.1. Пленочная флотация. В химический стакан с водой всыпьте навеску минеральной смеси кварца и серы (1:1) массой 2г. Загрузку смеси необходимо производить осторожно, с небольшой высоты, легким встряхиванием и одновременным наклоном стеклянной пластинки, на которой помещена навеска, чтобы минеральная смесь попала на поверхность воды тонким слоем. Одновременно в стакан из бюретки подведите тонкую струю воды. Воду со слоем несмачивающихся минеральных частиц из стакана через носик слейте в подставленную фарфоровую чашку. Утонувший минерал подвергните обезвоживанию, сушке и взвешиванию. После взвешивания материал перенесите в тигель и прокалите в печи в течение 15 минут при $t=300...400$ °С. Дайте остыть и взвесьте. По разнице весов определите состав хвостов.

Пример расчета

В расчетах принимаем следующие обозначения:

Q – вес навески, г;

γ_k, γ_x – выход соответственно концентрата и хвостов, г или %;

γ_x' – вес хвостов после прокаливании, г;

β_k, β_x - содержание серы соответственно в концентрате и хвостах %;

ϵ_k, ϵ_x - извлечение серы соответственно в концентрате и хвостах %;

α - содержание серы в исходном питании, % ($\alpha = 50\%$).

Пусть в результате опыта:

$$Q = 2 \text{ г}, \gamma_x = 1.3 \text{ г}, \gamma_x = 65 \%, \gamma_x' = 0.97 \text{ г}.$$

Отсюда:

$$\beta_x = \frac{(1,3 - 0,97) * 100}{1,3} = 25,385 \%$$

$$\epsilon_x = \frac{\beta_x * \gamma_x}{\alpha} = \frac{25,385 * 65}{50} = 33\%$$

Определив β_x и ϵ_x , находим показатели для концентрата:

$$\epsilon_k = 100 - \epsilon_x = 100 - 33 = 67 \%$$

$$\gamma_k = 100 - \gamma_x = 100 - 65 = 35 \%$$

$$\beta_k = \frac{\epsilon_k * \alpha}{\gamma_k} = \frac{67 * 50}{35} = 95,714 \%$$

1.3.2. Масляная флотация. В пробирку, до половины наполненную водой, насыпьте 2 г смеси, например, кварца и свинцового блеска (1:1). Пробирку закройте пробкой и несколько раз встряхните. Затем добавьте в пробирку 1...2 мл машинного масла или нефти и снова встряхните. Дайте отстояться и через 3...5 минут слейте слой масла, содержащий свинцовый блеск. Оставшийся в пробирке материал перенесите в фарфоровую чашку и просушите. После охлаждения хвосты взвесьте, перемешайте, поместите на стеклянную пластинку, просмотрите под микроскопом и дайте примерную оценку содержания свинцового блеска в хвостах.

1.3.3. Пенная флотация. В пробирки, наполненные водой, насыпьте в первую 2 г смеси кварца и серы (1:1), во вторую - смеси кварца и свинцового блеска (1:1). Пробирки закройте и несколько раз встряхните. Затем добавьте в пробирки $0,5 \div 1 \text{ см}^3$ 0,1%-ного раствора

бутилового ксантогената и по 1 капле соснового масла, пробирки закройте и энергично встряхните. Дайте отстояться и через 35 минут слейте пену и большую часть воды из обеих пробирок. Остатки перенесите в фарфоровые чашки, высушите, взвесьте. Осадок первой пробирки перенесите в тигель, прокалите в печи 15 минут. Дайте остыть и взвесьте. По разнице весов определите состав хвостов. Осадок второй пробирки перемешайте, поместите на стеклянную пластинку с помощью микроскопа оцените содержание свинцового блеска в хвостах.

1.4. Меры безопасности

Работая с растворами кислот и сернистого натрия необходимо соблюдать осторожность, чтобы они не попали на кожу рук. При попадании слабых растворов реагентов на руки необходимо обмыть руки водой под водопроводным краном.

Необходимое количество реагента определяют либо с помощью мерного цилиндра, либо пипеткой, на конце которой надета груша. Нельзя отбирать требуемое количество реагента пипеткой через рот.

По окончании работы необходимо вымыть руки.

Перед включением весов и сушильного шкафа необходимо убедиться в их исправности и наличии заземления.

Фарфоровые чашки из сушильного шкафа необходимо доставать только щипцами.

1.5 Оформление работы

По каждому виду флотации подсчитать выход, содержание, извлечение серы или свинцового блеска в продукты обогащения. Свести данные в таблицу (табл. 1.1).

Сопоставить результаты опытов по различным видам флотации, сделать вывод об эффективности.

Таблица 1.1

Результаты пленочной, масляной и пенной флотации

Вид флотации	Минерал	Продукт флотации	Выход,		Содержание, %	Извлечение, %
			г	%		
Масляная						
Пленочная						
Пенная						

1.6. Контрольные вопросы

1. Какие существуют разновидности флотационных процессов разделения минералов?
2. Какой вид флотации используется при флотогравитации?
3. Для каких руд применяется процесс пенной сепарации?

Рекомендуемый библиографический список

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Обогащительные процессы и аппараты: [Текст]: Т.1. Учебник для вузов/А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2004.С.307 - 310.
2. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Обогащительные процессы и аппараты [Текст]: Т.1. Учебник для вузов/А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2001.С.303 - 307, 338 - 339.
3. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Технология обогащения полезных ископаемых [Текст]: Т. 2.Учебник для ВУЗов /А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2004.С.94 - 150.
4. Абрамов А.А.Технология переработки и обогащения руд цветных металлов [Текст]:Книга 2 Т. 3 Учебное пособие для ВУЗов / А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2005.С.173 - 236.

Лабораторная работа № 2

Изучение пенообразующих свойств вспенивателей

Цель работы - Сравнить пенообразующую способность различных вспенивателей в зависимости от концентрации реагента.

2.1 Теоретическое введение

Большая поверхность раздела газ-жидкость воздушных пузырьков, на которой происходит закрепление минеральных частиц, и необходимая прочность минерализованной пены на поверхности пульпы, обеспечивается при флотации применением пенообразователей или вспенивателей. Основным назначением реагентов-пенообразователей является увеличение дисперсности и стабилизации пузырьков воздуха в пульпе и повышение устойчивости пены, насыщенной частицами флотируемого минерала. Кроме основного действия пенообразователи замедляют всплывание пузырьков, а иногда влияют на собирательное действие реагентов и прочность прилипания частиц к пузырькам.

Реагенты-пенообразователи представляют собой поверхностно-активные вещества (ПАВ), способные самопроизвольно адсорбироваться на поверхности раздела вода - воздух.

Адсорбция ПАВ - ориентированная, с нахождением полярной группы в воде, а гидрофобного радикала - на поверхности пузырька.

Широко применяют реагенты с гидроксильной полярной группой (содержащие терпинеол, различные спирты). Эта группа реагентов слабо закрепляется на минералах, что благоприятно влияет на избирательность флотации.

Присутствие в молекуле пенообразователя одной - двух полярных групп вполне достаточно для их активного действия.

Свойства пенообразователей во многом зависят от строения и размеров гидрофобного радикала.

Молекулы пенообразователя, адсорбируясь на пузырьке воздуха, повышают устойчивость гидратных слоев оболочек пузырьков благодаря тому, что гидрофильная группировка атомов обращена в жидкую фазу и активно взаимодействует с молекулами воды. Это приводит к увеличению механической стойкости оболочек пузырьков и препятствует разрушению их при столкновении. Пенообразователи, молекулы которых содержат карбоксильные полярные группы, обладают значительным собирательным действием и называются реагентами пенообразователями-собираателями.

Действие пенообразователей зависит прежде всего от состава и строения их молекул, а также от концентрации этих реагентов в воде.

Величина pH среды влияет на степень диссоциации пенообразователей в воде. Вспенивающее действие сильнее при наименьшей диссоциации. Пенообразователи, обладающие основными свойствами, лучше вспенивают в щелочной среде, кислотными свойствами - действуют активнее в кислой среде.

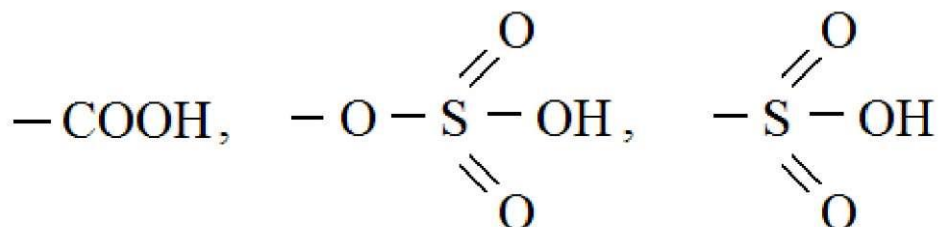
Температура пульпы значительно влияет на действие пенообразователей: с повышением температуры вспенивание возрастает. Это более заметно для реагентов, растворимость которых в воде зависит от температуры.

В практике флотации часто используют сочетание пенообразователей. В США около половины медных руд флотируют таким образом. Применение сочетания пенообразователей позволяет регулировать свойства пены в разных точках флотационного процесса. В большинстве случаев в качестве пенообразователей применяют различные побочные продукты химической, нефтехимической промышленности.

Строение и физико-химические свойства пенообразователей

В качестве реагентов-пенообразователей наиболее широко применяются поверхностно-активные вещества, содержащие полярную (водо-активную) и неполярную (воздушно-активную) части. Вещество такого типа способно адсорбироваться на границе раздела вода-воздух, ориентируясь своей полярной группой к воде, а неполярной к воздушной фазе. Чистые жидкости аполярного (керосин) и полярного (вода) строения прочной пены не образуют.

Полярные группы пенообразователей могут быть не ионизирующиеся или слабоионизирующиеся, такие как $-\text{OH}$, $=\text{C}=\text{O}$, $-\text{CONH}_2$; ионизирующиеся анионные, например:



ионизирующиеся катионные: $-\text{NH}_3^+$, $=\text{N}^+$.

Аполярная часть молекулы может быть представлена алкильным или арильным радикалом. Молекулы пенообразователей содержат обычно один углеводородный радикал и одну или небольшое число полярных групп.

Адсорбция пенообразователя сопровождается изменением поверхностной энергии границы раздела вода-воздух. Поверхностная активность (α), равна тангенсу угла наклона. Зависимость между свободной поверхностной энергией (σ) и концентрацией пенообразователя в растворе (c), характеризуется соотношением:

$$\alpha = d\sigma/dc, \text{ эрг/см}^2/\text{моль/л}$$

Поверхностная активность зависит от характера полярной группы и строения углеводородного радикала.

Например, при одинаковом радикале карбоновые кислоты обладают большей поверхностной активностью, чем спирты. Однако для практических нужд лучше пользоваться спиртами с не ионизирующимися полярными группами - OH, чем карбоновыми кислотами, полярная группа которых может ионизироваться с изменением pH, резко изменяя пенообразующую способность, а также взаимодействовать с поверхностью многих минералов, изменяя их флотируемость. Эти недостатки карбоновых кислот присущи и другим пенообразователям с ионизирующимися полярными анионными и катионными группами.

При увеличении длины углеводородной цепи на одну группу CH_2 поверхностная активность пенообразователей увеличивается по правилу Траубе, примерно в 3 раза. Причем лучшими пенообразующими свойствами обладают соединения с неразветвленной углеводородной цепью. Используемые на практике пенообразователи содержат, как правило, от 5 до 13 атомов углерода в цепи, а их растворимость составляет обычно 5,0...0,2 г/л. Гетерополярные вещества с меньшим числом атомов углерода в радикале не применяются из-за малой их поверхностной активности, а с большим числом атомов углерода в радикале из-за чрезмерно малой их растворимости.

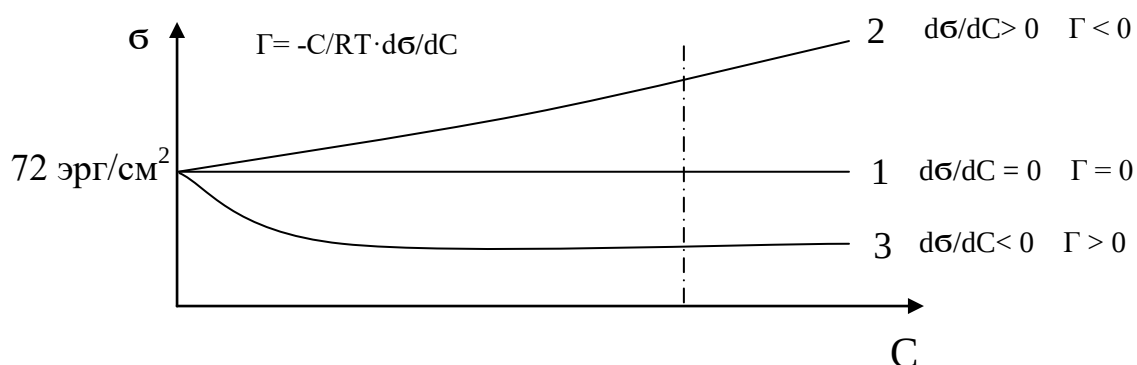


Рис. 2.1 Влияние концентрации на поверхностное натяжение
 1 - чистая вода - адсорбции нет; 2- инактивная адсорбция;
 3- активная адсорбция

Кривая 1 - чистая вода - адсорбции нет.

Кривая 2 - инактивная адсорбция. Можно вместо соснового масла применить ZnSO_4 или H_2SO_4 , они тоже дадут пену, но расход их будет очень большой. Почти все вещество (ZnSO_4 или H_2SO_4) находится в растворе (в объеме, а не на поверхности раздела), а на поверхности пузырька образуется пленка ориентированных молекул воды.

Кривая 3 - активная адсорбция - при введении весьма малого количества ПАВ, поверхностное натяжение резко меняется. Почти все вещество находится на межфазной границе.

Для получения наибольшей устойчивости пены не обязательна полная монослойная пленка. Наибольшая устойчивость получается за долго до ее образования (рис. 2.2).

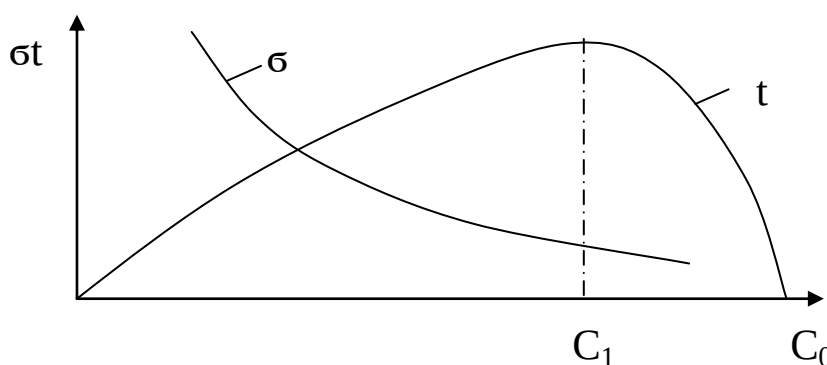


Рис. 2.2 Влияние концентрации пенообразователя на устойчивость пены (t - устойчивость пузырька во времени)

Точка C_0 соответствует полному монослою с наиболее плотной упаковкой.

Механизм действия пенообразователей

1. Молекулы его создают адсорбционный слой из молекул воды, препятствуя коалесценции воздушных пузырьков, сохраняют их в течение достаточно длительного времени в дисперсном состоянии.

В отсутствии ПАВ пузырьки мгновенно коалесцируют. Особенно снижается коалесценция при малых (обычных) концентрациях пенообразователя.

2. Адсорбционный слой пенообразователя в оболочке пузырька, состоящий из гидратированных молекул увеличивает сопротивляемость оболочек пузырьков воздействию внешних сил, т.е. механическую прочность.

3. Возникновение адсорбционных слоев на оболочке пузырьков снижает скорость их движения в пульпе (за счет сферичности). Вследствие этого увеличивается продолжительность соприкосновения пузырьков с частицами и создаются условия для минерализации пузырьков.

4. Адсорбируясь вспениватель уменьшает σ , а при увеличении объема пузырька увеличивает σ т.е. делает пузырек устойчивей.

Каждой полярной группе соответствует своя определенная длина радикала.

Для пенообразователей, имеющих одну и ту же полярную группу, радикал является определяющим в формировании пузырьков максимальной устойчивости. С увеличением или уменьшением радикала (против оптимального) эффективность пенообразователей уменьшается: при уменьшении радикала, это обусловлено чрезмерно быстрым выравниванием плотности адсорбционного слоя на поверхности пузырьков вследствие увеличения подвижности молекул пенообразователя, а также неспособностью их значительно изменить поверхностные натяжения в связи с уменьшением поверхностной активности пенообразователей с меньшим размером радикала; при увеличении радикала - это обусловлено уменьшением растворимости пенообразователей, снижением концентрации и подвижности молекул пенообразователя в пульпе.

Для каждого пенообразователя существует своя оптимальная концентрация, при которой обеспечивается наиболее эффективная стабилизация пены. Значение ее отвечает оптимальной скорости

выравнивания плотности адсорбционного слоя в зоне растяжения после деформации пузырька. При высоких концентрациях пенообразователя скорость выравнивания плотности будет чрезмерно высокой а "эластичность" пузырьков очень низкой; поэтому насыщенные растворы вообще не пенятся. При очень низких концентрациях пенообразователя недостаточная эластичность пузырьков и прочность пены обусловлена тем, что поверхностное натяжение раствора мало отличается от поверхностного натяжения чистой воды и изменение его, при растяжении пузырька не может быть значительным. Кроме того при малой плотности адсорбционного слоя полярные группы молекул пенообразователя удерживают меньшее количество молекул воды.

Температура и pH влияют на действие пенообразователя вследствие изменения растворимости, концентрации и подвижности его молекул. Вспенивающее действие сильнее при наименьшей диссоциации. Пенообразователи, обладающие основными свойствами, лучше вспенивают в щелочной среде. Фенольные пенообразователи, обладающие кислотными свойствами, действуют активнее в кислой среде. Действие ОПСБ, ОПСМ, Э-1, ТЭБ, ИМ-68 почти не зависит от pH среды и они называются нейтральными.

С повышением температуры вспенивание возрастает.

Повышение прочности закрепления пузырька на частице происходит за счет:

- а) повышения гидрофобности частицы;
- б) образования с собирателем, закрепившегося на поверхности, комплексов, способствующих прикреплению частиц к пузырьку;
- в) уменьшения $\sigma_{ж-г}$ и капиллярного давления;
- г) повышения степени дисперсности собирателя.

Стабилизирующее влияние частиц тем больше, чем они гидрофильнее. Кроме того устойчивость пены повышается более мелкими частицами, имеющими плоскую форму.

Если присутствуют микроскопические гидрофобные взвеси, то устойчивость пены снижается, так как эти частицы, налипая на поверхность пузырька уменьшают их гидратированность.

Сочетание собирательных и пеннообразующих свойств у одного и того же реагента, например, у карбоновых кислот, может затруднять регулировку процесса.

Пенообразователи с гидроксильной полярной группой (ОН) - не обладают собирательными свойствами (это их достоинство!).

Характеристика применяющихся пенообразователей

Сосновое масло получается в результате перегонки с водяным паром древесины (пней) с фракционной разгонкой. В России оно получается из скипидара - сырца.

Масло прозрачное, желтого цвета с запахом скипидара. Удельный вес 0,915...0,935, $t_{\text{кип}}$ - 170°C. Основная часть - ароматические спирты, терпеновые спирты и терпинеол, а также борнеол и фенхильный спирт.

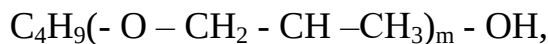
Содержание терпеновых спиртов колеблется от 40 до 60%. Пенообразующее действие соснового масла связано прежде всего с терпинеолом.

Сосновое масло обладает очень небольшим собирательным действием. Расход его 0,025...0,100 кг/т.

Терпинеол - $C_{10}H_{17}OH$. В техническом содержании 40...60%, в чистом - 90% терпинеола. Он может проявлять собирательные свойства, например, для касситерита при pH 5,5÷6,5.

Если в предельных углеводородах заместить два атома водорода на гидроксильные группы, получим 2-х атомные спирты или гликоли, например, моноэфиры полигликолей (ОПСБ, ОПСМ).

ОПСБ - смесь монобутиловых эфиров полипропиленгликолей:

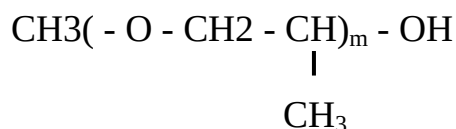


где $m = 3, 4, 5$.

Расход ОПСБ 10-50 г/т.

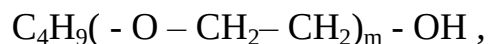
ОПСБ хорошо действует даже в присутствии аполярных масел.

ОПСМ - смесь метиловых эфиров полипропиленгликолей:



где $m = 3, 4$.

Э-1-смесь монобутиловых эфиров полиэтиленгликолей:



где $m = 2, 3, 4$.

ДС - детергент советский - смесь алкиларилсульфонатов натрия.

Получается из нефтяных продуктов (сульфированных керосиногазойливых фракции). Хорошо растворим в воде. Нетоксичен.

Наиболее активен с алкильной цепью C_5-C_{11} .

Низшие жирные кислоты $-R-CO_2H$,

где $R-C_7-C_9$,

Они обладают слабым вспенивающим действием.

ОП-7, ОП-10, ОП-20:

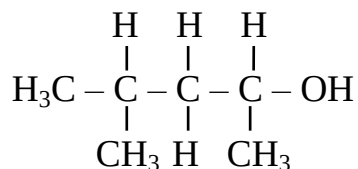


где R - алкильный радикал C_8-C_{10} , $n = 7, 10, 20$.

Применяются при флотации железных руд. Реагенты ОП-7 и ОП-10 являются хорошими диспергаторами собирателей при флотации несulfидных минералов.

Д-3 - сложный эфир фталевой кислоты, производящийся в большом количестве.

МИБК - вторичный гексиловый спирт, имеющий структурную формулу:



Обладает высокой селективностью, повышает качество концентрата и извлечение в них полезных компонентов. Расход МИБК составляет 10...50 г/т.

Т- 92 - смесь различных веществ, преимущественно одноатомных спиртов пиранового и диоксанового ряда, а также некоторых гликолей. Является в России одним из основных пенообразователей (вследствие постоянного состава, не токсичности).

Сейчас для устойчивого ведения технологического процесса применяют смесь пенообразователей, отходы производств.

Роль пенообразования при флотации заключается в том, что в зависимости от устойчивости пены будет изменяться извлечение ценного минерала в концентрат. Пена не должна быть слишком устойчивой и не должна быстро разрушаться.

Пена - это концентрированная эмульсия газа в жидкости. Содержание жидкости в пене – 2...13%. Пена имеет ячеистую структуру и состоит из деформированных воздушных пузырьков, между которыми сохраняется тонкая плёнка воды с ПАВ.

При флотации получают пены различного строения:

1. Пленочно-структурные

а) крупность пузырьков воздуха в верхних слоях пены больше чем в нижних;

б) толщина прослоек воды уменьшается при приближении к поверхности пены;

в) слой пены имеет большую высоту (5...20см);

д) крупные пузырьки деформированы.

В ней содержится большое количество воды, подвижность весьма значительна.

2. Агрегатные пены - состоят из крупных частиц скрепленных множеством пузырьков, размеры которых небольшие. Содержат небольшое количество воды, являются достаточно устойчивыми, но при падении в желоб легко разрушаются.

3. Пленочные пены - имеют небольшую высоту, минеральные частицы очень крупные. Обычно сильно гидрофобные.

Образование агрегатной и пленочной пены наблюдается при флотации хорошо флотируемых полезных ископаемых. Крупное зерно флотируется рядом пузырьков, так как подъемная сила одного пузырька недостаточна.

Пена хрупкая, быстро разрушается в машине, снижает извлечение. А слишком устойчивая - не транспортабельна, плохо перекачивается насосами. Попадая в сгуститель образует пленку, полезный компонент теряется со сливом сгустителя.

С чрезвычайно устойчивой пеной можно бороться следующими способами:

1. Орошением водой в желобах, однако если с водой захватывается воздух, то объем пены увеличивается.

2. Применением предельных углеводородов типа керосин, трансформаторное масло. Эти вещества вытесняют с межфазной границы ПАВ или образуют вторую жидкую фазу на границе жидкость-воздух. Поверхностное натяжение (б) станет постоянным, так как керосин не является ПАВ.

3. Использованием электролитов (возможно слияние пузырьков).
4. Применением органических веществ (например, СЦЩ).
5. Гашением пены другой пеной, образованной другим вспенивателем (противоположного знака).
6. Использованием ультразвука.
7. Применением горячего пара.
8. Использованием вакуума.
9. Применением различных механических устройств и аппаратов.

Вторичное обогащение концентратов в пенном слое

Содержание флотируемого минерала по высоте пенного слоя значительно изменяется. Верхние слои пены содержат меньшее количество частиц пустой породы, чем нижние, так как они выпадают из пены как менее прочно прикрепленные к пузырькам и увлекаемые стекающими потоками воды. Поэтому верхние слои пенного слоя содержат наиболее чистый концентрат. Если снимать только верхнюю часть пены, то содержание флотируемого минерала в концентрате будет максимальным.

Флотационная пена должна удерживать всплывшие с пузырьками частицы флотируемых минералов. Опытами установлено, что значительная часть сфлотированного материала (около половины) выпадает из пены обратно в пульпу, в результате чего резко замедляется флотация и снижается извлечение. В пене должно происходить дополнительное обогащение концентрата вследствие избирательного выпадения частиц пустой породы. Пена не должна слишком быстро разрушаться и не должна быть слишком устойчивой. Недостаточная устойчивость пены приводит к снижению извлечения ценных минералов в концентрат вследствие разрушения пены прямо в камере, так как пеногон не успевает сбросить ее в желоб. Чрезмерная устойчивость пены затрудняет транспортировку, снижает

селективность перемешивающих операций, ухудшает процесс сгущения, приводит к механическим потерям со сливом сгустителей. Оптимальные свойства пены создаются правильным подбором вспенивателя и его расхода, что достигается путем постановки опытов с применением разных расходов различных вспенивателей. Такие опыты суммарно оценивают все свойства пенообразователя.

Для изучения свойств пенообразователя (изменение объема и устойчивости пены) применяют два метода: статический и динамический.

Статический метод, заключается в наблюдении за скоростью разрушения пены в заданных условиях. Для этой цели в лабораторной флотационной машине или в стакане с мешалкой создают пену и наблюдают время ее разрушения.

Динамический метод, заключается в измерении объема и времени существования пены. Сильные пенообразователи создают устойчивую и обильную пену и применяются при флотации крупных частиц, а слабые при селективной флотации.

2.2. Оборудование и материалы

Мерные цилиндры - емкостью 500 см³ с пробками, секундомер, линейка, пенообразователи: сосновое масло, Т-66, Т-80, ОПСБ, уксусная кислота.

2.3. Порядок проведения работы

В мерный цилиндр налейте раствор испытываемого вспенивателя. Цилиндр закройте пробкой и энергично встряхните. Линейкой измерьте высоту слоя пены, с помощью секундомера определите время жизни пены.

Таким же образом проведите опыты и определите высоту слоя пены, время ее существования для пенообразователей различных концентраций.

Концентрации вспенивателей: сосновое масло, Т-66, Т-80, ОПСБ принять следующие 1:100, 1:1000, 1:10000; концентрацию уксусной кислоты 1: 10, 1:100, 1:1000.

2.4.Меры безопасности

Работать в халате и перчатках.

Работая с растворами уксусной кислоты необходимо соблюдать осторожность, чтобы они не попали на кожу рук. При попадании слабых растворов реагентов на руки необходимо обмыть руки водой под водопроводным краном.

Необходимое количество реагента определяют либо с помощью мерного цилиндра, либо пипеткой, на конце которой надета груша. Нельзя отбирать требуемое количество реагента пипеткой через рот.

2.5. Оформление работы

Дать краткое описание хода работы, рассчитать в каждом опыте для всех продуктов выход и извлечение металла.

Привести полученные результаты в виде таблицы 2.1.

Сопоставить результаты опытов по флотации с измерениями устойчивости и объема пены.

Сделаете выводы, постройте графики зависимости времени существования пены, высоты столба и скорости разрушения пены от концентраций пенообразователей.

Таблица 2.1.

Результаты опытов

№	Наименование	Концентрация	Время существования пены, с	Высота слоя пены, см	Скорость разрушения пены, см/с	Примечание

2.6. Контрольные вопросы

1. С какой целью используются пенообразователи?
2. Какие пенообразователи лучше применять при флотации крупных, мелких частиц и в цикле селекции?
3. Чем объясняется экстремальный характер зависимости устойчивости пены от концентрации пенообразователя?
4. Как снизить объем и устойчивость пены?
5. Как определить оптимальный расход пенообразователя?
6. Какими свойствами должна обладать хорошая пена?

Рекомендуемый библиографический список

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Обогащительные процессы и аппараты [Текст]: Т.1. Учебник для вузов/А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2004.С.322-332.
2. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Обогащительные процессы и аппараты [Текст]: Т.1. Учебник для вузов/А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2001.С. 339-349.
3. Абрамов А.А.Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Технология обогащения полезных ископаемых МГГУ [Текст]: Т. 2.Учебник для ВУЗов /А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2004.С.114 -150.
4. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов [Текст]: Книга 2 Т. 3 Учебное пособие для ВУЗов / А.А. Абрамов. М.: МГТУ, 2005.С.100-122.

Лабораторная работа № 3

Определение влияния аэрации пульпы на результаты флотации

Цель работы - Изучить влияние скорости вращения импеллера флотационной машины на показатели обогащения сульфидной руды. Ознакомиться с конструкцией и работой лабораторной флотационной машины.

3.1 Теоретическое введение

Аэрированность пульпы является одним из главных факторов, определяющих эффективность работы флотационных машин. Она зависит от количества вводимого воздуха, степени его диспергирования, распределения в объеме пульпы, типа и расхода реагента-пенообразователя.

Эффективность работы флотационной камеры непосредственно определяется ее аэрируемым объемом, величина которого в различных типах флотационных машин различна. Содержание воздуха в аэрируемом объеме может изменяться от 0 до 30%.

В промышленных условиях аэрация характеризуется количеством воздуха, проходящего в единицу времени через единицу площади горизонтального сечения флотационной камеры ($\text{л/м}^2\cdot\text{мин}$) или через единицу объема пульпы ($\text{л/м}^3\cdot\text{мин}$). В различных типах флотационных машин она изменяется обычно от 600 до $1300 \text{ л/м}^2 \text{ мин}$. С увеличением аэрации скорость флотации, как правило, возрастает.

Дисперсность воздушных пузырьков зависит от типа аэратора, концентрации и типа пенообразователя. В механических флотационных машинах она возрастает с повышением интенсивности перемешивания пульпы импеллером. Однако очень сильное перемешивание приводит не только к увеличению дисперсности пузырьков и труднорастворимых в воде реагентов, аэрированности пульпы и вероятности столкновения частиц, но и к увеличению сил отрыва частиц от пузырьков,

уменьшению вероятности флотации крупных зерен, к увеличению расхода электроэнергии. На практике известны случаи, когда уменьшение скорости вращения импеллеров флотационных машин (например, на Кировской апатито-нефелиновой обогатительной фабрике) улучшает технологические и экономические показатели работы фабрики.

Равномерность распределения пузырьков в объеме пульпы, определяющая коэффициент полезного использования флотационной камеры, зависит от интенсивности перемешивания пульпы и типа машины.

Плотность пульпы, характеризуемая на практике процентным содержанием твердого в единице объема пульпы или соотношением весов твердой (Т) и жидкой (Ж) фаз в пульпе (соотношение Т:Ж), оказывает большое влияние на целый ряд параметров и показателей флотации.

С увеличением плотности пульпы (при постоянной производительности фабрики) увеличивается время пребывания пульпы (Т) во флотационной машине и концентрация (c_p) в ней реагентов при условии постоянства их расхода на единицу твердого в пульпе (Рис 3.1).

Содержание полезных компонентов в пенном продукте (β) с увеличением плотности пульпы, наоборот, непрерывно падает. Основными причинами этого являются: механический вынос минералов пустой породы; уменьшение флотируемости крупных зерен (W_{ϕ}^k) из-за возрастающего воздействия со стороны окружающих частиц и увеличения вероятности их отрыва от пузырьков; увеличения флотируемости мелких частиц (W_{ϕ}^m) не только флотируемых минералов, но и пустой породы вследствие увеличения вероятности их столкновения с пузырьками. Количество шламов при повышении

плотности пульпы может возрастать за счет увеличения истираемости особенно хрупких минералов.

Максимальные значения удельной производительности (g_p) и минимальное значение удельного расхода электроэнергии по твердому (e_p) наблюдается при некоторых оптимальных значениях плотности пульпы.

Извлечение полезных компонентов в концентрат (ϵ) и аэрированность (a) также имеют экстремальную зависимость от содержания твердого в пульпе. Наиболее высокое извлечение (ϵ) и максимальная аэрация (a), обусловленная лучшей диспергированностью и наиболее равномерным распределением воздушных пузырьков, наблюдаются обычно при плотностях пульпы, равных 20...30% твердого.

Выбор значений плотности пульпы на практике определяется, главным образом, крупностью и плотностью флотируемого минерала, назначением операции флотации, требуемым качеством продуктов флотации. Плотности пульпы возрастают до 35...40% твердого с увеличением крупности и удельного веса флотируемого материала и уменьшаются до 10...15% твердого при большом содержании шламов и малой плотности обрабатываемого материала.

С целью снижения потерь в хвостах в операциях основной и контрольной флотации используются более плотные пульпы, содержащие 25...40% твердого. В операциях перерешетки концентратов, цель которых состоит в повышении их качества, применяют более разбавленные пульпы, содержащие обычно 10...25% твердого.

При флотационном обогащении руд по сложным схемам для поддержания оптимальной плотности пульпы в каждой операции приходится иногда применять специальные меры по разбавлению (например, концентратов перед их перерешеткой) или сгущению

продуктов (например, промпродуктов или коллективных концентратов) перед дальнейшей их флотационной переработкой.

Аэрация пульпы необходима для образования воздушных пузырьков. В процессе аэрации в зонах с повышенным давлением (впереди лопаток импеллера) часть воздуха растворяется (в соответствии с законом Генри). В зонах с пониженным давлением (позади лопаток импеллера) растворенный воздух выделяется в виде мелких зародышевых пузырьков, которые облегчают закрепление частиц на более крупных «транспортирующих» пузырьках.

Если t_1 - время флотации, необходимое для достижения определенного извлечения при аэрации a_1 , а t_2 - время флотации, необходимое для достижения того же извлечения при аэрации a_2 , то

$$\sqrt{\frac{t_2}{t_1}} = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}}$$

Если $a_2 = 2a_1$, то

$$t_2 = t_1 \sqrt{\frac{a_1}{2a_2}} = t_1 \sqrt{\frac{1}{2}} = 0,7t_1$$

Таким образом, аэрация влияет на скорость флотации. С увеличением аэрации скорость флотации возрастает.

В механических флотационных машинах аэрация зависит от интенсивности перемешивания пульпы (скорости вращения импеллера). Чем интенсивнее перемешивание, тем больше аэрация. Однако сильное перемешивание приводит к увеличению сил отрыва частиц от пузырьков воздуха и увеличению расхода энергии. Слабое перемешивание также ухудшает процесс флотации вследствие осаждения крупных частиц на дно камеры. Поэтому скорость вращения импеллера должна быть достаточной, чтобы препятствовать выпадению твердых частиц, обеспечивать хорошую аэрацию и равномерное

распределение пузырьков воздуха по всему объему нижней зоны камеры.

На эффективность работы флотационных машин оказывает влияние большое число обычно взаимосвязанных параметров.

Влияние плотности пульпы на показатели флотации можно проиллюстрировать рисунком 3.1.

Оптимальная плотность пульпы устанавливается опытным путем. В развитых схемах флотации для регулировки плотности пульпы пользуются разбавлением или сгущением.

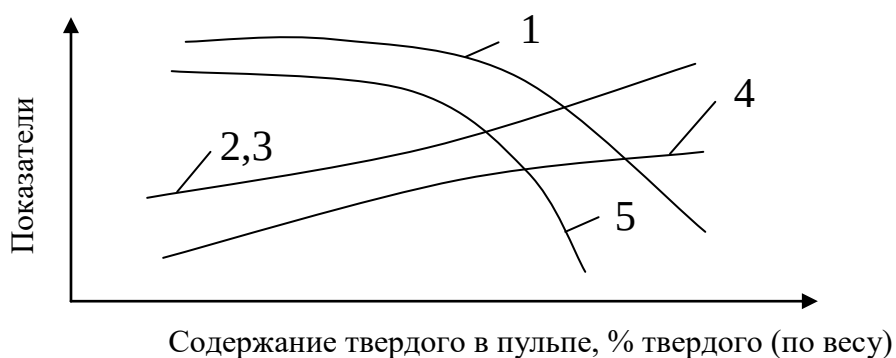


Рис. 3.1 Влияние плотности пульпы на работу флотационных машин: 1- аэрированность; 2-объемная концентрация реагентов; 3-время пребывания пульпы в машине; 4-флотируемость мелких зерен; 5-флотируемость крупных зерен

Крупность флотируемого материала определяет, при прочих равных условиях, эффективность работы флотационных машин. Ранее было показано, что условия эффективной флотации тонких и крупных зерен различны и требуют для своей реализации специальных конструкций машин. По этой причине использование одного типа машин при переработке материала широкого диапазона крупности приводит к тому, что основные потери полезных минералов в хвостах обогатительных фабрик происходят из- за плохой флотации или крупных, или тонких зерен, или из-за плохой флотации и тех и других. Вследствие этого представляется целесообразным при обогащении руд

по сложным схемам, включающим циклы флотации крупно- и тонкоизмельченных продуктов, применять различные типы флотационных машин. Это позволяет достигать в каждом цикле максимально возможные технологические показатели, обеспечивать высокую скорость и низкую стоимость флотации.

Стремление создать наиболее благоприятные условия флотации крупных и тонких частиц выражается во все большем распространении в настоящее время на обогатительных фабриках схем с отдельной флотацией песковой и шламовой частей флотируемого материала.

Скорость потока пульпы оказывает существенное влияние на эффективность работы флотационных машин. Это влияние обусловлено продольным перемешиванием в них пульпы. В процессе такого перемешивания часть зерен флотируемого материала выносится в хвосты и потери извлечения за счет этого не могут быть компенсированы более длительным пребыванием в пульпе других частиц. Вследствие этого изменение концентрации флотируемого минерала по фронту флотации зависит от соотношения скоростей флотационного извлечения частиц и продольного перемешивания пульпы.

В пневматической или аэролифтной машинах, в ванне которых пульпа перемешивается относительно слабо, эти скорости сопоставимы и концентрация полезного компонента плавно убывает от головы к разгрузочному концу машины. Однако время флотации, необходимое для получения хвостов с одинаковым содержанием в них извлекаемого компонента (t), в этих машинах (t_2) будет больше, чем в машине периодического действия (t_1), кинетика флотации, в которых не осложняется перемещением частиц с потоком пульпы.

В импеллерной машине перемешивание настолько сильное, что концентрация полезного компонента в пульпе каждой камеры

практически постоянна и меняется скачкообразно при переходе пульпы из одной камеры в другую. Вследствие этого для получения в хвостах того же содержания извлекаемого компонента (t) необходимо большее время флотации (t_3 и t_4), чем в предыдущих случаях. При этом необходимое время флотации тем больше, чем больше объем камеры флотационной машины (t_4 больше t_3).

Влияние продольного перемешивания и скачкообразности изменения концентрации полезного компонента по фронту флотации можно уменьшить, увеличивая скорость потока пульпы, проходящего через флотационные машины.

В практических условиях это достигается обычно заменой параллельного включения машин на последовательное или уменьшением размера камер. Увеличение скорости потока и числа камер за счет увеличения скорости флотации сокращает необходимое время флотации, а притом же времени флотации несколько повышает извлечение.

Оптимальная скорость потока пульпы зависит от конструктивных особенностей флотационных машин. Для машин механического типа она составляет около двух объемов пульпы на один объем камеры в минуту, для машин пневмомеханического типа - несколько больше. Это особенно важно для операций основной и контрольной флотации, через которые проходят основные потоки пульпы на флотационной фабрике.

Продолжительность флотации влияет на ее технологические показатели. Качество концентрата с увеличением времени флотации непрерывно уменьшается, а извлечение - возрастает. Руды, требующие для своей флотации 5...10 минут, считаются легкофлотируемыми; 15...20 минут - среднефлотируемыми; более 25 минут - труднофлотируемыми. Время флотации в пересчетных операциях обычно не превышает 10 минут.

Интенсивность съема пены также оказывает влияние на технологические показатели и может послужить средством оперативного регулирования флотационного процесса при отсутствии на фабрике надежных систем автоматизации.

За счет разрушения пузырьков и выпадения зерен пустой породы, механически увлеченных в пену, верхние слои получаются богаче нижних. Изменяя высоту удаляемого слоя пены можно регулировать качество концентрата и извлечение флотируемого минерала.

При удалении только верхнего слоя пены качество концентрата и селективность флотации повышаются, но извлечение падает в связи с тем, что часть зерен флотируемого минерала будет выпадать из пенного слоя и переходить в пульпу. При более полном и интенсивном съеме пены будет наблюдаться обратная зависимость: ухудшение качества и повышение извлечения флотируемого минерала.

Интенсивность удаления пены зависит от назначения операции: она больше в операциях основной и контрольной флотации и гораздо меньше в операциях перечистки концентратов. При механическом пеносъеме скорость удаления пены регулируется числом оборотов и количеством лопастей пеносъемника, высотой уровня пульпы; при самотечном удалении - расходом воздуха, изменением уровня пульпы. Для повышения качества пенного продукта В.А. Малиновским предложен адгезионный съем пены, по которому сфлотированные зерна из пены подхватываются и транспортируются поверхностью полупогруженного в пульпу барабана, с которого они удаляются затем в желоб очищающим скребком.

3.2. Оборудование и материалы

Флотационная машина, сульфидная руда крупностью - 0,1 мм; флотационные реагенты: бутиловый ксантогенат, сосновое масло; секундомер, фильтровальная бумага, ножницы, технические и

аналитические весы с разновесами, часовое стекло, резиновые груши, приемники для продуктов флотации, сушильный шкаф, кисточки, шпатели, клеенка.

3.3 Порядок проведения работы

3.3.1. Изучение конструкции флотомашины.

Флотационная машина ФМ-2 (рис. 3.2) состоит из станины 1, камеры 2, блока азратора 3, электрического привода 4, пеносьемника 5, винта крепления 6, регулятора скорости вращения импеллера 7, приспособления для регулирования подачи воздуха 8. Блок азратора состоит из вертикального вала 9 с насаженным на него импеллером 10. Последний представляет собой слегка конический диск с радикальными лопатками 11. Вал вращается от электродвигателя через текстропную передачу внутри трубы 12, в результате чего осуществляется перемешивание пульпы импеллером. Воздух, поступающий через трубу в надимпеллерный стакан, диспергируется на мелкие пузырьки. К нижней расширяющейся части трубы крепится статор 13, гасящий крупные вихри так, что верхняя часть пульпы остается достаточно спокойной. Вертикальные ребра уменьшают вращение пульпы в камере. В верхней части камеры осуществляется минерализация воздушных пузырьков и их всплывание в восходящих ламинарных потоках в пенный слой. Верхняя часть камеры имеет отстойник 14, в котором происходит дообогащение. Зерна сростков и механически увлеченной пустой породы высвобождаются из пенного слоя и через отверстие 15 возвращаются в нижнюю часть камеры. Включение и выключение пеногона производится при помощи тумблера 16. Пеногон имеет кривошип 17 с шарнирно закрепленной лопаткой 18. К станине прикреплен столик 19, на котором устанавливается приемник для пенного продукта.

В неработающей машине уровень пульпы должен находиться на верхнем крае отстойника, так как при включении двигателя импеллера и открытии патрубка, подающего воздух в камеру, объем пульпы увеличивается, что может привести к переливу ее через пенный порог. Если при подаче воздуха уровень пульпы окажется низким, в машину добавляют воду в таком количестве, чтобы пена слегка переливалась через пенный порог. Съём пены во время опыта производится включением пеногона.

3.3.2. Приготовление и дозировка реагентов.

В лабораторных условиях реагенты могут подаваться в процесс в сухом виде, в виде растворов и каплями. При подаче реагентов следует учитывать их активность. В сухом виде подаются иногда известь и сода. Чаще всего применяют растворы флотационных реагентов концентраций 0,5...5%.

Очень разбавленные растворы применять не следует, т.к. это приводит к дозировкам больших объемов реагентов. Наоборот, при подаче очень малых количеств концентрированных растворов нарушается точность дозировки реагентов.

Навеску для приготовления раствора взвешивают на аналитических весах и растворяют в дистиллированной воде. Если реагент не образует истинного раствора (известь) или представляет собой эмульсию (сосновое масло), то перед употреблением емкость с раствором следует взбалтывать.

При подаче реагентов каплями (сосновое масло, керосин и др.) следует определить вес капли для данной капельницы. Для этого на взвешенное часовое стекло помещают 10...20 капель реагента, взвешивают на аналитических весах и, вычтя вес стекла, делят общий вес реагента на количество капель. Если нужно подать в пульпу меньше одной капли реагента, то готовят маленький кусочек

фильтровальной бумаги и капают на него одну каплю реагента. Бумагу держат горизонтально и дают капле равномерно растечься. Затем отрезают ножницами нужную часть капли и опускают ее в пульпу. Однако этот метод не точен, поэтому такие реагенты можно подавать в процесс в виде разбавленной эмульсии.

Расчет необходимого объема реагента, подаваемого в виде раствора в камеру флотомашины, определяют по формуле

$$V = \frac{Q \cdot g}{100 \cdot C \delta}$$

где V - объем раствора реагента, мл.; Q - навеска флотируемого материала, г; g- удельный расход реагента, г/т; C - концентрация раствора реагента, %; δ - плотность реагента, г/см³.

3.3.3. Выполнение флотационных опытов.

С помощью регулятора 7 флотомашины установить скорость вращения импеллера, равную 500 об/мин. Навеску сульфидной руды крупностью минус 0,1мм засыпать в камеру флотомашины, залить водой (Т : Ж = 1 : 3), включив привод импеллера, перемешать пульпу в течение 2 мин при закрытом воздухосборном патрубке.

В перемешиваемую пульпу подать реагенты: бутиловый ксантогенат в количестве 100 г/т и сосновое масло в количестве 50 г/т руды. Сначала подать собиратель, продолжительность перемешивания с ним 2 мин., затем пенообразователь (сосновое масло) с продолжительностью перемешивания 1 мин.

После контактирования с реагентами открыть кран воздухозаборного патрубка, отрегулировать подачу воздуха и включить привод пеносъемника. Уровень пульпы в камере поддерживать добавлением воды грушей. Флотацию вести до полного исчезновения минерализованной пены или в течение заданного времени. Продолжительность флотации фиксировать. Во время флотации

необходимо вести наблюдения за изменением характера пены (степени минерализации, места, размера пузырьков, их устойчивости); результаты наблюдений записать в отчет.

По окончании опыта открыть пробку в дне флотокамеры и при работающем двигателе выпустить камерный продукт в приемник. Тщательно промыть камеру и промытую воду выпустить в тот же приемник.

В приемники с пенными и камерными продуктами положить этикетки, подписанные карандашом, в которых указать наименования продукта, дата выполнения опыта, индекс группы и фамилия.

После отстаивания продуктов удалить из них излишки воды и продукты поставить в сушильный шкаф. Высушенные продукты взвесить и методом квадратования отобрать пробу на химический анализ. Пробу разделить, положить в пакет и сдать преподавателю. Таким же образом проделать опыты при 1500 и 2000 оборотах вращения импеллера.

3.4 Меры безопасности

3.4.1 Необходимо соблюдать правила работы с реагентами и на флотомашинах;

3.4.2 Перед включением флотомшины необходимо убедиться в наличии и надежности закрепления заземляющих установку проводов, проверить исправность оборудования, наличие ограждений движущихся частей, отсутствие в аппарате или машине посторонних предметов и материалов предыдущих опытов.

3.4.3 При выполнении лабораторных работ запрещается во время работы машин и механизмов регулировать на ходу (если это не предусмотрено специальным устройством) частоту вращения флотомашин

3.4.4 Запрещается также касаться вращающихся частей механизмов, снимать и поправлять ограждения, оставлять работающие механизмы без присмотра.

3.4.5 В помещении лаборатории нельзя курить, принимать пищу.

3.4.6 По окончании опытов, убирают рабочее место и обязательно моют руки.

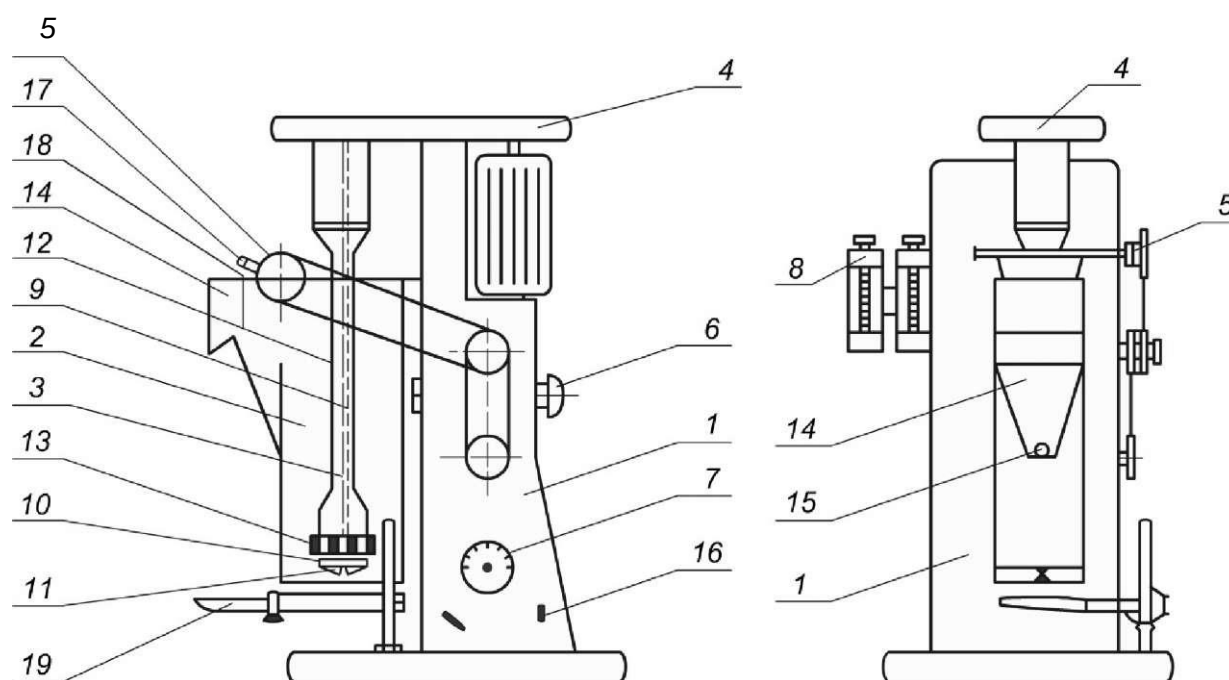


Рис. 3.2 Лабораторная флотационная машина

3.5 Оформление работы

После получения результатов химического анализа продуктов флотации провести расчет основных технологических показателей и составляют баланс металлов. Различие баланса опытов может получиться за счет неточного взвешивания продуктов, неправильного отбора средней пробы для анализа, неточности химического анализа, механических потерь руды или продуктов флотации во время проведения опыта, завышенной температуры сушки продуктов флотации. Полученные результаты оформить в виде таблицы 4.1.

Таблица 4.1

Результаты опыта

Наименование продукта	Число оборотов в мин.	Выход,		Содержание, %	Извлечение, %	Примечание
		г	%			
Концентрат						
Хвосты						
Исходная руда						

На основании полученных результатов построить график зависимости извлечения и содержания ценного компонента в концентрате от числа оборотов вращения импеллера флотомашин.

Вычертить эскиз флотационной машины. Сделать выводы по работе.

3.6. Контрольные вопросы

1. В чем заключается аэрация пульпы?
2. Как регулируется аэрация пульпы в механических и пневмомеханических флотационных машинах?
3. Как влияет аэрация на показатели флотационного обогащения?

Рекомендуемый библиографический список

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Обогащительные процессы и аппараты [Текст]: Т.1. Учебник для вузов/А.А. Абрамов. М.: МГГУ, 2004.С.364-374.
2. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых [Текст]: Учебник для вузов: Т1. Обогащительные процессы и аппараты/ А.А. Абрамов. М: Издат-во МГГУ, 2001.С.312-322.

Лабораторная работа № 4

Изучение технологических параметров флотации руд цветных металлов

Цель работы

Ознакомление с особенностями и технологией флотации в отдельных циклах селективного разделения руд цветных металлов.

4.1. Теоретическое введение

Источниками получения цветных металлов являются руды, содержащие самородные металлы (золото, серебро, платиноиды, медь и др.), сульфидные руды, содержащие сульфиды Cu, Pb, Zn, FeS₂ и др., окисленные руды цветных металлов. Наибольшее распространение получило извлечение цветных металлов из сульфидных руд. Флотация сульфидов наиболее изучена, а разработанные технологические режимы позволяют в большинстве случаев добиться получения концентратов, из которых эффективно извлекаются металлы в металлургическом производстве.

Флотация медных сульфидных руд

Сульфиды меди имеют следующий состав и содержание меди в %: халькопирит CuFeS₂ - 34,5; борнит Cu₅FeS₄ - 63,3; ковеллин CuS - 66,4%; халькозин Cu₂S - 79,8. Неизменными спутниками медных сульфидов являются сульфиды железа - пирит FeS₂ и пирротин FeS. К промышленным относятся руды, содержащие более 0,4% меди.

Сульфидные минералы меди обладают высокой флотационной активностью в широком диапазоне pH (6...14). При флотации используются сульфгидрильные собиратели: ксантогенаты, дитиофосфаты, тионокарбонаты и др. В качестве вспенивателей используются сосновое масло и ОПСБ.

Основная задача при обогащении - отделение сульфидов меди от сульфидов железа. Для депрессии сульфидов железа (пирита)

применяют известь, в ряде случаев с небольшой добавкой цианидов; для депрессии пустой породы - жидкое стекло, гексаметафосфат, КМЦ. Режимы селективной флотации зависят от содержания в руде пирита. Применяют схемы прямой или коллективно-селективной флотации.

Флотация полиметаллических сульфидных руд

К основным сульфидным минералам полиметаллических сульфидных руд относятся галенит PbS (86,6% Pb), сфалерит ZnS (67% Zn), халькопирит $CuFeS_2$ (34,5% Cu), пирит FeS_2 (46,6% Fe). Для раскрытия сульфидов из агрегатов требуется тонкое измельчение - до 90...99 % класса - 0,074 мм. Задача обогащения полиметаллических руд состоит в получении кондиционных медного, свинцового, цинкового и пиритного концентратов. Применяют схемы прямой селективной, коллективно-селективной, предварительно коллективной флотации.

В качестве собирателя во всех циклах применяют ксантогенаты, аэрофлоты и другие гетерополярные вещества. Пенообразователь - сосновое масло или его заменители.

Коллективная флотация всех сульфидов проводится в содовой среде при pH 8...9 и интенсивном пенообразовании.

В цикле свинцово-медной флотации галенит и халькопирит отделяются от сфалерита, пирита и пустой породы. Флотацию ведут в слабощелочной среде (pH 7...9), создаваемой содой или известью. Для подавления сфалерита, пирита применяют цианиды. При отделении только сульфидов меди от сфалерита, пирита и пустой породы используют безцианидную технологию. Последние подавляют сульфитом натрия Na_2SO_4 и железным купоросом.

В цикле разделения медно-свинцовых концентратов галенит от халькопирита может отделяться тремя способами:

- 1) подавление халькопирита в щелочной среде (pH 10) и флотация галенита;

2) подавление галенита хромпиком при pH 6...8 и флотация халькопирита;

3) галенит подавляется смесью сульфита Na_2SO_3 или тиосульфата $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ натрия и железного купороса.

Флотация ведется в кислой среде (pH 5,5...6,2), создаваемой серной кислотой.

В цикле цинковой флотации сфалерит отделяется от пирита и пустой породы. Для депрессии пирита флотацию ведут в сильнощелочной среде (pH 12), создаваемой известью. Для активации сфалерита добавляют медный купорос.

В цикле пиритной флотации пирит отделяют от пустой породы. Флотацию ведут при pH 6...8. Для активации пирита, задепрессированного цианидом, добавляют небольшое количество медного купороса.

В цикле цинково-пиритной флотации сфалерит и пирит отделяют от пустой породы при pH 6...8. Для активации сфалерита и пирита добавляют медный купорос.

Флотация окисленных руд цветных металлов

Основные минералы окисленных свинцовых руд - церуссит PbCO_3 (77,6 % Pb), англезит PbSO_4 (68,2% Pb), медных руд - малахит $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ (57,3% Cu), азурит $(\text{CuCO}_3)_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ (54,8% Cu); цинковых руд - смитсонит ZnCO_3 (52% Zn), каламин $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (54,3% Zn).

Наиболее распространенный способ обогащения данных руд - флотация после предварительной сульфидизации. В качестве сульфидизаторов применяют сернистый натрий, гидросульфид натрия, реже - сернистый кальций или барий.

Схемы и режимы флотации данных руд после сульфидизации близки к сульфидным рудам.

4.2. Оборудование и материалы

Лабораторная флотационная машина с камерой объемом 1 л (для опытов коллективной флотации 3 и 1 л); бинокулярный микроскоп; комплект посуды для приготовления пульпы и отбора четырех продуктов флотации; технические весы и разновесы; флотируемый материал - навески минералов (или отмытых и высушенных промышленных концентратов) галенита, халькопирита, сфалерита, пирита, церуссита, англеизита, малахита (азурита), смитсонита (каламина) крупностью - 0,1 мм, кварца класса 0,18...0,04 мм по 200 г каждая; флотационные реагенты согласно табл. 4.1.

4.3. Порядок проведения работы

Каждая подгруппа студентов проводит один комплексный опыт селективной флотации на искусственной смеси из трех минералов. Опыт включает два цикла флотации с последовательным выделением в пенные продукты отдельных минералов или смеси из двух минералов с последующим их разделением. Примерные варианты опытов и условия флотации приведены в табл. 4.1.

В первом, втором и третьем вариантах опытов предусматриваются циклы прямой селективной флотации, которые проводятся на флотационной машине с камерой объемом 1 л. Второй цикл флотации проводится на камерном продукте в той же камере машины.

В четвертом варианте предусматривается цикл медно-свинцовой флотации в машине с камерой объемом 3 л. Пенный продукт первого цикла подвергается селективной флотации на машине с камерой объемом 1 л с выделением халькопирита в пенный продукт.

Проведение каждого цикла флотации в опыте проводят по следующей методике.

Подготовленную камеру заполняют водой на высоту 0,5...0,7 ее объема, включают привод импеллера при закрытых вентилях подачи

воздуха. Небольшими порциями засыпают исходную навеску в камеру и после полного ее перемешивания останавливают привод импеллера. Камеру доливают водой до рабочего уровня пульпы.

Включают привод импеллера при закрытых вентилях подачи воздуха и, согласно технологическому режиму, вводят необходимый объем флотореагентов в начале и в конце заданного времени контактирования. Например, собиратель - в начале, вспениватель – в конце времени контактирования.

По истечении времени контактирования медленно открывают вентили подачи воздуха и устанавливают заданный расход воздуха. Включают привод пеногона и секундомер (для отсчета времени флотации).

Пенный продукт собирается в емкость за все время опыта флотации. Для поддержания уровня флотации добавляют в камеру свежую воду.

По истечении заданного времени флотации останавливают привод импеллера, ход секундомера, пеногон.

Пробы высушивают в сушильном шкафу, взвешивают и разделяют для проведения анализа.

Качественные показатели определяют на основе ситового анализа для кварца и химического или минералогического - для минералов цветных металлов. Камерный продукт последнего цикла флотации не отбирается, а его качественно-количественные показатели определяются по уравнению баланса с учетом характеристики исходного продукта.

Перед исследованием на основании расчетов масс навесок искусственной смеси и реагентов составляют технологическую схему проведения опыта.

4.4. Меры безопасности

Необходимо соблюдать правила работы с реагентами и на флотомашинах. Перед включением флотомшины необходимо убедиться в наличии и надежности закрепления заземляющих установку проводов, проверить исправность оборудования, наличие ограждений движущихся частей, отсутствие в аппарате или машине посторонних предметов и материалов предыдущих опытов.

При выполнении лабораторных работ запрещается во время работы машин и механизмов регулировать на ходу (если это не предусмотрено специальным устройством) частоту вращения флотомашин.

Запрещается также касаться вращающихся частей механизмов, снимать и поправлять ограждения, оставлять работающие механизмы без присмотра.

В помещении лаборатории нельзя курить, принимать пищу.

По окончании опытов, убирают рабочее место и обязательно моют руки.

4.5. Оформление работы

4.5.1 Результаты опытов заносят в табл. 4.2, составленную для примера медно-пиритной флотации, и на их основании рассчитывают выход, содержания и извлечения, всех ценных компонентов в продукты обогащения.

4.5.2 Качество продуктов обогащения оценивают по содержанию металлов (при проведении химического анализа) или минералов (при проведении минералогического анализа).

Содержание металлов (Cu, Pb, Zn, Fe) в исходном продукте определяют по формуле

$$\alpha_i = (\beta_{i0} Q_{i0}) / Q_0 ,$$

где α_i — содержание i -го металла в исходном продукте, %;

β_{i0} — содержание i -го металла в минерале, %;

Q_{i0} — масса навески соответственно минерала и всей исходной смеси, г.

Содержание минерала β_i в продукте (при минералогическом анализе) определяется по формуле

$$\beta_i = 10^2 n_i / n,$$

где n_i, n — число зерен соответственно минерала и общее в анализируемой под микроскопом.

Таблица 4.1.

Варианты опытов селективной флотации руд цветных металлов

Номер опыта	Разделяемая смесь (содержание минералов) β_{i0} , %	Цикл флотации	Режим флотации			Реагентный режим			
			T, г/л	pH	t _ф , мин	Реагент	Удельный расход g _p , г/т	Время контактирования t _к , мин.	Характеристика дозировки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Халькопирит (40), Пирит(30), Кварц (30)	медный	300	12	8	Сернистый натрий Известь Бутиловый к-т Сосновое масло	100 7000 100 60	0,5 2 1 1	100 % в начале процесса То же То же 60% в начале, 40% по ходу процесса
		пиритный	-	6-8		Железный купорос Бутиловый к-т Сосновое масло	5000 60 60	2 1 1	100 % в начале процесса то же 60% в начале, 40% по ходу процесса
2	Сфалерит (30), Пирит(40), кварц (30)	цинковый	35	12	12	Медный купорос Известь Бутиловый к-т Сосновое масло	300 7000 100 60	3 2 1 1	100 % в начале процесса то же то же 60% в начале, 40% по ходу процесса
		пиритный	-	6-8	10	Тот же, что для опыта №1			
3	Халькопирит (30), Сфалерит(25), пирит (45)	медный	30	7-9	8	Сода Сульфат натрия Железный купорос Бутиловый к-т Сосновое масло	400 1500 2000 100 60	3 3 1 1	100 % в начале процесса То же То же 60% в начале, 40% по ходу процесса
		цинковый	-	12	10	Известь Медный купорос Бутиловый к-т Сосновое масло	7000 300 60 60	2 2 1 1	100 % в начале процесса то же то же 60% в начале, 40% по ходу процесса

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Галенит (30), Халькопирит(20), Кварц (50)	Свинцово-медный	35	9-10	10	Сернокислый натрий	1500	3	70 % в начале, 30% по ходу процесса ($t_f=3-4$ мин)
						Известь	4000	2	
		медный	-	6-7	8	Бутиловый к-т	100	1	100 % в начале процесса то же
						Сосновое масло	60	1	
		медный	-	6-7	8	Сода	100	3	100 % в начале процесса то же
						Хромпик $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	1500	3	
		медный	-	6-7	8	Бутиловый к-т	100	1	60% в начале, 40% по ходу процесса
						Сосновое масло	60	1	

Таблица 4.2.

Результаты опытов флотации медно-пиритно-кварцевой смеси

Цикл флотации	Продукт	$Q, \text{г}$	$\gamma, \%$	Халькопирит			
				$Q_i(\text{г}_i)$	n_i	$\beta_i, \%$	$\varepsilon_i, \%$
Медный	Исходный Медный к-т Камерный п-т						
Пиритный	Пиритный к-т Хвосты						

Цикл флотации	Продукт	Пирит				Кварц		
		$Q_i(\text{г}_i), \text{г}$	n_i	$\beta_i, \%$	$\varepsilon_i, \%$	$Q_i, \text{г}$	$\beta_i, \%$	$\varepsilon_i, \%$
Медный	Исходный Медный к-т Камерный п-т							
Пиритный	Пиритный к-т Хвосты							

4.5.3. Приводят пояснения о функциональном назначении применяемых флотационных реагентов в отдельных циклах и на основании полученных результатов флотации делают выводы о соответствии принятого реагентного режима или необходимости его корректировки.

4.6. Контрольные вопросы

1. Назовите какие реагенты применяются для депрессии сульфидов железа?
2. Опишите схему флотации окисленных руд цветных металлов.
3. Опишите способы разделения медно-свинцовых концентратов.

Рекомендуемый библиографический список

1. Бедрань Н. Г. Практикум по обогащению полезных ископаемых: учеб. пособие/ Н. Г. Бедрань, А. И. Денисенко, Е. Е. Серго и др. – М.: Недра, 1991. – С. 526.
2. Абрамов А. А. Переработка, обогащения и комплексное использование твердых полезных ископаемых: учебник для вузов / А. А. Абрамов. – М.: Изд-во МГГУ, 2001. – Т. 1-3.
3. Глембоцкий В. А. Флотационные методы обогащения / В. А. Глембоцкий, В. И. Классен. – М.: Недра, 1981.

Реагенты, применяемые при флотации минералов [4].

Минерал	Регулятор среды	Пенообразователь	Депрессор	Активатор	Собиратель	Вспомогательные реагенты и операции
1	2	3	4	5	6	7
Пирит FeS_2	H_2SO_4 , CaO, Na_2CO_3	Сосновое масло, ОПСБ, ОПСМ, аэрофросы, дауфрос 250 и др.	Na_2S , NaCN, CaO, $KMnO_4$, эфиры целлюлозы	Na_2S , Na_2CO_3 , H_2SO_4 , Na_2SiFe_6	Ксантогенаты, аэрофлоты, житные кислоты (в кислых средах)	$CuSO_4$
Галенит PbS	Na_2CO_3	ОПСБ и др.	Na_2S	Na_2S	Ксантогенаты, аэрофлоты	-
Сфалерит ZnS	Na_2CO_3 , H_2SO_4	Сосновое масло	CaO (pH>11,3) $KMnO_4$, O_2 , Na_2S (избыток),	$CuSO_4$, Na_2S	Ксантогенаты, аэрофлоты	-
Аргентит Ag_2S	Na_2CO_3 , H_2SO_4 NaOH	ОПСБ, крезол, сосновое масло, эфиры β -алкоксикротоновой кислоты	CaO, Na_2CO_3 , Na_2S , NaCN, Na_2SiO_3 (частично) H_2SO_4 (для пульпы плотностью более 20%)	Na_2SiF_6 , $Hg_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$, $Hg(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$	Ксантогенаты, аэрофлоты, дитиокарбаматы, каменноугольный крезол, дитиофосфаты и др.	Na_2SiO_3 , активированный уголь, нитрат ртути или свинца (способствуют флотации золота)

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Тетрадимид Bi_2Te_2S	Na_2CO_3			$NaHS$	Аполярные собиратели	
Хризоколла $CuSiO_3 \cdot nH_2O$	H_2SO_4 , Na_2CO_3	Сосновое масло, ОПСБ, торфяная смола, аэрофросы	OH^- , S^{2-} , O_2 , $CuSO_4$ (при pH 4-7,4), CN^- (при pH 3,5-7)	$CuSO_4$ (при pH>7,4), $Pb(NO_3)_2$, ацетат свинца	Пенообразователи и масла (в кислой среде), ксантогенаты, аэрофлоты, дитиофосфаты, тиокарбанилиды (с активаторами)	-
Каламин	Na_2CO_3	Нефтяные масла	Na_2S , избыток $NaOH$	-	Ксантогенаты, аэрофлоты, углеводородные масла. Сульфооксиды (при флотации Cu-Bi руд прод-ми сернокислой обработки нефти)	-
Магнетит Fe_3O_4	Na_2CO_3 , H_2SO_4	-	$Al(NO_3)_3$, $ZnSO_4$ соли Fe^{2+} и Fe^{3+} , CaO , крахмал	$Pb(NO_3)_2$	Карбоновые кислоты и их мыла (наиболее активны олеиновая и олеат натрия при pH=7), таловое масло, нефтяные сульфонаты, додециламин, ветлужское масло	-
Кварц SiO_2	CaO , Na_2SiO_3 $NaOH$, HF , H_2SO_4	Сосновое масло, спирты	Жидкое стекло, цианиды	Катионы щелочноземел ьных и тяжелых метал.	Жирные и нафтеновые кислоты и их мыла, амины	$Al^{3+}+Fe^{3+}$ депрессоры при флотации аминами

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Барит $BaSO_4$	HF	-	Na_2S ; смесь Na_2S Na_2CO_3 и NaOH	Обработка HF; $Pb(NO_3)_2$ (при флот. олеиновой кислотой)	Амины (pH=2,1), олеиновая кислота (после активации)	Рекомендуется предварительно извлечь слюду
Слюда (мусковит) $KAl[Al_2Si_3O_{10}] \cdot (OH)_2$	H_2SO_4	-	Клей, крахмал, HF, Na_2SiO_3 , молочная и таниновая кислоты, R-610, R-615 и R-620 (содержат декстрин)	Соли свинца	Амины (pH 4—6), нефтяные масла, крезильовый аэрофлот, олеиновая кислота (при низкой концентрации и введении солей свинца), гексадецилсульфат (pH 4—6), Инданы и алкилинданы (дополн. собиратели при флотации с алифатическими аминами)	Сульфат алюминия (для депрессии прочих силикатов) фосфаты, обесшламливание
Флюорит CaF_2	Na_2CO_3	Na_2CO_3	$NaCl$, $CaCl_2$, $CuCl_2$, соли аммония, $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ лимонная кислота	Соли трехвалентных металлов, NaF	Жирные кислоты и их мыла, алкилсульфаты, аэрозоль ОТ (диоктил-сульфосукцинат натрия), аэрозоль МА (дигексил-сульфосукцинат натрия), игепон Т-2-олеиламино-этан-1-сульфонат натрия, катионные реагенты Монононил- или динонилфосфорные кислоты или их соли, четвертичные аммониевые основания	Бихроматы, квебрахо, Na_2SiO_2 танин, NaF при флотации флюорита жирными кислотами (для подавления криолита при pH 5,8—6, HN_3)

Неионогенные собиратели

Реагент	Состав	Основная характеристика	Способ применения
Керосин	Фракция нефти, состоящая из смеси углеводородов различных классов	Применяют керосин тракторный, осветительный, пиронафт	Непосредственно или 1-10%-ая эмульсия в воде
Нефтяные масла: трансформаторное	Смесь углеводородов различных классов	Вязкость при 50 °С $9,6 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; t застывания 45 °С	Непосредственно или 1-10%-ная эмульсия в воде

Катионные собиратели

Амины	Состоят из алифатических аминов NH_2	Содержание первичных аминов не менее 76,5%; вторичных не более 15%; нитрилов не более 5%	0,5-5%-ый водный раствор хлоргидратов, полученных обработкой аминов соляной кислотой
-------	---	--	--

Анионные (оксигидрильные) собиратели

Олеиновая кислота	Смесь жирных кислот растительных масел и жиров	t застывания олеина марки А-10°, Б-16°, В-34°С. Содержание влаги-0,5%	Раствор в керосине или водный раствор натриев. Мыл, получаемый обработкой олеина содой или едким натром. Иногда эмульгируется в воде с применением стабилизирующих добавок- соды, едкого натра, жидкого стекла, алкилсульфатов и др.
Сульфонат (окисленный сульфонат)	Смесь натриевых солей алкилсульфокислот	Содержание углеводородов не более 3%	0,5-10%-ный водный раствор.

Анионные (сульфгидрильные) собиратели

Ксантогенаты	Калиевые или натриевые соли алкилксантогеновых кислот	Выпускаются: этиловый, изопропиловый и бутиловый ксантогенат калия.	2-10%-ный водный раствор
Спиртовые дитиофосфаты	Вторичные кислые эфиры алкилдитиофосфорных кислот	Выпускаются: изопропиловый, бутиловый.	5-10%-ные водные растворы

Неорганические модификаторы флотации

Реагент и состав	Основная характеристика	Способ применения
Сернистый натрий Na_2S	Выпускается двух сортов (содержание основного вещества 63-65%)	5-20%-ный водный раствор
Калий цианистый KCN	Выпускается двух сортов (содержание основного вещества 90-95%)	5-10%-ный водный раствор
Сульфит натрия Na_2SO_3	Выпускается в виде кристаллического и безводного сульфита натрия.	5-10%-ный водный раствор. Иногда применяется в сочетании с железным, медным купоросами, хромпиком, сернокислым алюминием. Вместо Na_2SO_3 может использоваться сернистая кислота или сернистый ангидрид.
Тринатрийфосфат технический Na_3PO_4	Содержание Na_3PO_4 в тех. Продукте 23,7%	10%-ный водный раствор
Гексаметафосфат $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$	Содержание конденсированных фосфатов 90-95%	5-10%-ный водный раствор
Купорос железный FeSO_4	Содержание основного вещества 47-53%	10-15%-ный водный раствор
Сода Na_2CO_3	Содержание активного в-ва в техн. Соде 91-99%, в кристалл. 50%. В природной 72-92%.	5-10%-ный водный раствор
Натр едкий NaOH	Выпускается твердый (92-96%) и жидкаий (42-50%).	5-15%-ный водный раствор
Известь Ca(OH)_2	Содержание CaO 60-85%.	Водный раствор
Кислота серная H_2SO_4	Выпускается: контактная, башенная и др. Содержание моногидрата 75-94%.	Непосредственно или водный раствор
Кислота соляная HCl	Содержание хлористого водорода в прдукте не менее 27,5%	Непосредственно или водный раствор
Кислота плавиковая HF	Содержание фтористого водорода 30-70%	5-10%-ный водный раствор
Высокомолекулярные		
Крахмал	Содержание амилозы 15-25%, амилопектина 75-85%	0,5-3%-ный водный раствор + NaOH , Na_2CO_3

Таблица 4

Классификация минералов по флотуемости.

Минерал	Формула	Группа	Чем флотируется	Примечание
Пирит	FeS_2	II	Сульфгидрильные собиратели	Сульфид
Пирротин (гексагон.)	Fe_{1-x}S	II	Сульфгидрильные собиратели	Сульфид
Арсенопирит	FeAsS	II	Сульфгидрильные собиратели	Сульфид
Золото самородное	Au	II	Сульфгидрильные собиратели	Самородный металл
Тетрадимид	$\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$	II	Сульфгидрильные собиратели	Сульфид
Антимонит	Sb_2S_3	II	Сульфгидрильные собиратели	Сульфид
Висмутин	Bi_2S_3	II	Сульфгидрильные собиратели	Сульфид
Магнетит	Fe_3O_4	V	Оксигидрильные собиратели	Оксид
Кварц	SiO_2	VI	Анионные оксигидрильные собиратели	Силикат
Ортоклаз	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_3]$	VI	Анионные оксигидрильные собиратели	Силикат
Мусковит	$\text{KAl}[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_2$	VI	Анионные оксигидрильные собиратели	Силикат
Флюорит	CaF_2	IV	Анионные оксигидрильные собиратели	Фторид