

№ 1917

МИСиС

---

Н.Ф. Пантелеева

А.М. Думов

**Магнитные, электрические  
и специальные методы  
обогащения полезных  
ископаемых**

Специальные методы обогащения

Курс лекций

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

№ 1917

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ СТАЛИ  
И СПЛАВОВ

МИСиС



Кафедра обогащения руд цветных и редких металлов

Н.Ф. Пантелеева

А.М. Думов

# **Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых**

Специальные методы обогащения

Курс лекций

Рекомендовано редакционно-издательским  
советом университета

УДК 662.7  
П16

Рецензент  
д-р. техн. наук, проф. *Л.С. Стрижко*

**Пантелеева Н.Ф., Думов А.М.**

П16      Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. Специальные методы обогащения: Курс лекций. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. – 98 с.  
ISBN 978-5-87623-241-0

Рассмотрены технологические и экономические аспекты необходимости применения методов обогащения. Даны физические основы радиометрической сепарации. Показано влияние свойств разделяемых материалов на выбор методов радиометрического обогащения. Обоснованы требования, предъявляемые к материалам при обогащении радиометрическими методами.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия», специальностям 130405 и 550500. Рекомендуется при подготовке к экзамену по курсу «Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых» и выполнении курсовых и дипломных работ и проектов.

УДК 622.7

ISBN 978-5-87623-241-0

© Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов» (МИСиС), 2009

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
1. Общие сведения по применению специальных методов обогащения полезных ископаемых .....	6
1.1. Необходимость применения специальных методов обогащения при переработке полезных ископаемых.....	6
1.2. Необходимость и целесообразность применения автоматической рудоразборки при обогащении полезных ископаемых .....	10
1.3. Общие сведения о развитии рудоразборки .....	11
2. Радиометрическое обогащение .....	15
2.1. Сущность процесса радиометрического обогащения .....	15
2.2. Основные параметры, определяющие технико-экономические показатели процесса .....	20
3. Требования к материалу при применении радиометрического обогащения .....	22
3.1. Свойства руд, влияющие на эффективность радиометрического обогащения.....	22
3.2. Содержание основных ценных компонентов.....	22
3.3. Содержание попутных ценных компонентов и вредных примесей .....	23
3.4. Гранулометрический состав .....	24
3.5. Контрастность, определение показателя контрастности .....	27
3.6. Эффективность признака разделения .....	33
3.7. Показатель технологической эффективности радиометрической сепарации.....	35
4. Подготовка руды перед радиометрической сепарацией.....	37
5. Классификация радиометрических методов сепарации .....	39
5.1. Авторадиометрический метод обогащения .....	39
5.2. Фотонейтронный (гамма-нейтронный) метод обогащения.....	43
5.3. Нейтронно-активационный метод обогащения .....	46
5.4. Гамма-абсорбционный метод обогащения.....	51
5.5. Нейтронно-абсорбционный метод обогащения.....	54
5.6. Люминесцентный метод обогащения .....	57
5.7. Гамма-флуоресцентный метод обогащения.....	63
5.8. Фотометрический метод обогащения .....	65
5.9. Радиорезонансные методы обогащения .....	69

5.10. Инфраметрический метод обогащения .....	73
5.11. Гамма-гамма-метод .....	73
6. Сепараторы для радиометрического обогащения руд .....	74
6.1. Общие принципы устройства сепараторов .....	74
6.2. Сепараторы для радиометрического обогащения урановых руд.....	74
6.3. Рентгенолюминесцентные сепараторы .....	76
6.4. Фотометрические сепараторы .....	84
6.5. Некоторые другие виды сепараторов .....	88
7. Применение автоматической рудоразборки в промышленной практике .....	90
Библиографический список .....	93
Приложение 1. Шкала частот, длин волн и энергии фотонов различных видов электромагнитного излучения.....	94
Приложение 2. Счетчики излучений .....	95

## Введение

Значительная часть полезных ископаемых не может быть эффективно переработана обычными способами: гравитационными, основанными на разнице в плотностях минералов; флотационными, базирующимися на разнице в гидрофобности; магнитными и электрическими, использующими разницу в магнитной восприимчивости и проводимости минералов. Для обогащения этих полезных ископаемых, а также для предварительного обогащения значительной части обычных руд с целью выделения отвальных хвостов и снижения расходов в основных процессах применяются специальные методы, включающие рудоразборку, радиометрическое обогащение, обогащение по форме, упругости, трению и другим специфическим свойствам.

В данном курсе подробно рассмотрены физические основы радиометрических методов обогащения и основные принципы конструирования сепараторов, применяющихся для обогащения урановых, бериллиевых, алмазосодержащих руд и некоторых видов техногенного сырья.

# **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

## **1.1. Необходимость применения специальных методов обогащения при переработке полезных ископаемых**

Основная масса полезных ископаемых, добываемых из недр, подвергается обогащению. В настоящее время свыше 95 % руд цветных и редких металлов направляется на обогащение перед поступлением на металлургический, гидрометаллургический или химический передел. Наиболее широко при обогащении руд цветных и редких металлов применяются два основных метода: гравитационный и флотационный. Эти методы используют разницу в свойствах разделяемых минералов. Гравитационные методы используют разницу в плотностях. Значительное влияние также оказывают размер и форма частиц. Флотационные методы используют разницу в физико-химических свойствах поверхности минералов, т.е. в смачиваемости минералов водой.

Свойства минералов весьма многообразны. Минералы различаются по цвету и блеску, форме, твердости, крепости, упругости, магнитной восприимчивости, электропроводности, теплопроводности, по ядерным свойствам и еще ряду физико-механических свойств.

Методы обогащения, использующие разницу в вышеуказанных физико-механических свойствах, относятся к специальным методам обогащения.

Область применения специальных методов обширна и с каждым годом роль и значение их возрастает.

Специальные методы обогащения применяются:

- для руд черных металлов: железных, марганцевых, хромитовых.
- при обогащении руд цветных металлов никельсодержащего сырья, оловянных, медных, сурьмяных, свинцово-цинковых руд;
- при обогащении руд благородных металлов (золота и серебра);
- для получения мономинеральных концентратов редких, рассеянных и радиоактивных металлов: молибдена, вольфрама, титана, тантала, ниобия, циркония, бериллия, рубидия, цезия, германия, селена, лития, теллура, урана и тория;
- для выделения минералов легких металлов: ставролита, дистена, силлиманита, магнезита.

Специальные методы широко применяются при обогащении неметаллического сырья: графитов, алмазосодержащих руд, фосфори-

тов, полевых шпатов, калийных солей, кварца, известняков, драгоценных минералов.

До 1950-х годов специальные методы обогащения использовались в весьма ограниченном масштабе. С развитием научно-технического прогресса, начиная с 1960 г., специальные методы получают широкое применение в силу следующих причин.

1. Развитие новых отраслей промышленности – электроники, ядерной техники, реактивного самолетостроения, космической техники, приборостроения вызвало рост потребности в редких, радиоактивных и редкоземельных металлах. Ранее они почти не использовались, поэтому производились в малых количествах. Получить мономинеральные концентраты редких и других металлов только при использовании гравитационного и флотационного методов обогащения невозможно. Задача получения мономинеральных концентратов имеет решение только при комбинировании вышеуказанных и специальных методов обогащения.

2. Очень важно, что увеличение производства этих и других элементов должно производиться не только путем ввода в эксплуатацию новых месторождений, а главным образом за счет повышения извлечения металлов из руд, что возможно только путем совершенствования и интенсификации существующих технологических схем обогащения, т.е. путем применения развитых комбинированных схем с применением специальных методов.

3. Решение проблемы комплексного использования минерального сырья позволяет расширить ресурсы производства цветных металлов, снизить затраты на единицу выпускаемой продукции, уменьшить загрязнение окружающей среды промышленными выбросами.

Если учесть, что каждое десятилетие количество добываемого из недр сырья удваивается, а минеральные ресурсы не восполняются и не восстанавливаются, то становится понятным, почему комплексное использование минерального сырья имеет большое техническое, экономическое и социальное значение.

4. Необходимость формирования качества руды, поступающей на фабрику. Это связано с тем, что с целью удешевления процессов добычи руд используются высокопроизводительные системы и процессы с массовым обрушением рудной массы, что связано со значительным разубоживанием руд. Это направление имеет огромное технико-экономическое значение, так как позволяет расширить сырьевую базу предприятия за счет обогащения бедных руд на руднике до поступления их на фабрику.

Скомпенсировать падение содержания металлов в рудах, поступающих на обогащение, можно введением в цикл рудоподготовки операций предварительного обогащения. Эти операции позволяют



удалить из дробленой руды куски породы (нерудных минералов) крупностью от -300 до +5 мм. При этом уменьшение разубоживания даже на 1 % при современных масштабах горных работ в цветной металлургии равноценно ежегодной дополнительной добыче нескольких миллионов тонн руды. Кроме того, применение предварительной сортировки руды позволяет уменьшить ее потери в недрах за счет добычи бедных руд, которые ранее не добывались.

Предварительное обогащение может осуществляться методом радиометрического обогащения сортировкой, сепарацией и разделением исходной руды в тяжелой суспензии. Классификация процессов предварительного обогащения приведена на рис. 1.1.

Разделение в тяжелых средах является в настоящее время наиболее освоенным процессом. Обогащительные фабрики, внедрившие этот процесс, могут перерабатывать бедные и забалансовые руды, которые без предварительного обогащения не были бы вовлечены в эксплуатацию. В результате увеличиваются промышленные запасы полезных ископаемых, срок службы и рентабельность обогащительных фабрик. Например, на одном из отечественных комбинатов около одной трети балансовых запасов руд представлено скарнированными мраморами, содержащими до 80 % безрудного кальцита, удаление которого является обязательной операцией, так как существующая технология флотационного обогащения позволяет успешно перерабатывать руды, содержащие не более 13...15 % кальцита. Удаление кальцита из крупнокусковой руды позволяет значительно повысить производительность фабрики.

Внедрение предварительного обогащения в тяжелой суспензии для полиметаллических руд на Зыряновском свинцовом комбинате (Казахстан) позволило почти на 40 % снизить кондиции по содержанию свинца в добываемой руде. За счет этого вдвое увеличился объем руды, вовлекаемой в переработку, что обеспечило комбинату возможность увеличения выпуска концентратов.

Предварительное обогащение позволяет отделять нерудные минералы в кусках размером до 200...300 мм, т.е. непосредственно после крупного дробления. Это облегчает использование отходов для производства строительных материалов и исключает их из последующего технологического передела. Ранее, на одном из комбинатов СССР, использующем предварительное обогащение руд в тяжелой суспензии, реализация породы в качестве строительного материала позволяла в течение 8 лет получить 1,7 млн руб. (в ценах 1960–1970-х годов), но главный эффект был получен за счет снижения затрат на измельчение руды, ее обогащение и эксплуатацию хвостохранилищ.