

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»



**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
**к самостоятельному изучению дисциплины**  
**вариативной части учебного плана по выбору вуза**  
**«СПЕЦИАЛЬНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ**  
**ОБОГАЩЕНИЯ»**

для обучающихся уровня профессионального образования "специалист" по направлению подготовки 21.05.04 "Горное дело" специализации "Обогащение полезных ископаемых" всех форм обучения

РАССМОТРЕНО  
на заседании кафедры  
«Обогащение полезных ископаемых»  
Протокол № 2 от 04.02.2020 г.

УТВЕРЖДЕНО  
на заседании Учебно-издательского  
совета ДОННТУ  
Протокол № 2 от 26.02.2020 г.

Донецк  
2020

УДК 622.7(076)  
ББК 33.4я73  
М54

**Рецензент:**

Шестопапов Иван Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» ГОУВПО «ДОННТУ».

**Составитель:**

Самойлик Виталий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ГОУВПО «ДОННТУ».

М54        **Методические рекомендации к самостоятельному изучению дисциплины вариативной части учебного плана по выбору вуза «Специальные и комбинированные методы обогащения» [Электронный ресурс] :** для обучающихся уровня профессионального образования "специалист" по направлению подготовки 21.05.04 "Горное дело" специализации "Обогащение полезных ископаемых" всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. обогащения полезных ископаемых ; сост. В. Г. Самойлик. – Электрон. дан. (1 файл: 122 Кб). – Донецк : ДОННТУ, 2020. – Систем. требования: Acrobat Reader.

Методические рекомендации к самостоятельному изучению дисциплины разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Специальные и комбинированные методы обогащения». Целью преподавания дисциплины является подготовка специалиста, обладающего глубоким пониманием физических основ специальных и комбинированных методов обогащения, используемых при переработке различных полезных ископаемых, закономерностей этих процессов обогащения. Изложена рабочая программа курса, даны указания к изучению его разделов.

УДК 622.7(076)  
ББК 33.4я73

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Курс "Специальные и комбинированные методы обогащения" изучается в соответствии с рабочей программой подготовки специалистов специальности 21.05.04 "Горное дело" специализации "Обогащение полезных ископаемых".

Целью преподавания дисциплины является подготовка специалиста, обладающего глубоким пониманием физических основ специальных и комбинированных методов обогащения, используемых при переработке различных полезных ископаемых, закономерностей этих процессов обогащения.

При изучении дисциплины студент получает большой объем информации. Поэтому для усвоения материала необходимо вести краткий конспект.

Основная цель составления конспекта - собрать в сжатой форме информацию по предмету.

В конспекте стоит записывать основные определения и понятия, выводы формул, технологические схемы, эскизы машин и аппаратов, их характеристики, диаграммы и графические характеристики, методики расчетов аппаратов и технологических схем и др. Особое внимание следует обратить на классификацию принципов, определяющих сущность технологических процессов; классификацию схем, аппаратов, воздействий факторов и т.п.

При составлении конспекта следует руководствоваться программой, методическими указаниями и контрольными вопросами. Необходимо предостеречь студентов от переписывания из книг большого объема текста. В таком конспекте трудно ориентироваться. Необходимо помнить, что речь инженера - чертежи, график, эскиз, формула и руководствоваться этим при составлении конспекта.

После изучения материала каждого раздела следует осуществить самоконтроль знаний, то есть ответить на контрольные вопросы. Материал можно считать усвоенным, если студент может ответить на все вопросы без помощи конспекта и книги. Очень важно при этом проявить творческий подход к делу, что может найти выражение в следующем:

- наводиться несколько примеров;
- для ответа привлекается информация из дополнительных источников, личного опыта и личного творческого поиска;
- вносятся предложения по улучшению технологии, конструкции аппаратов, методов контроля и управления.

В результате изучения дисциплины студент должен знать физико-механические и физико-химические свойства минералов, теорию специальных методов обогащения, принцип действия и устройство отечественных и зарубежных аппаратов, направления их развития.

После завершения курса студент должен приобрести навыки анализа различных технологических решений, уметь правильно выбирать технологию и оборудование для реализации обогащения специальными и комбинированными методами с учетом особенностей сырьевой базы и комплексного использования минерального сырья при минимальных затратах на обогащение.

Курс базируется на знании основных положений философии, математики, физики, химии, теоретической механики, технологии горного производства, переработки и комплексного использования минерального сырья.

Изучение курса дает студентам представление о многообразии направлений развития народного хозяйства в области переработки полезных ископаемых.

## **2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ**

### ***2.1. Введение***

Цель и задачи курса, его содержание. Основные представления о специальных и комбинированных методах обогащения полезных ископаемых. Свойства минералов, используемых в специальных и комбинированных методах обогащения. Классификация специальных методов обогащения.

При проработке вступительной части курса следует осознать, что специальные методы обогащения применяются только в тех случаях, когда невозможно использовать традиционные методы (гравитационные, флотационные, магнитные) или же они экономически нецелесообразны.

Обратить внимание на широкий спектр свойств полезных ископаемых, используемых в специальных и комбинированных методах. Запомнить классификацию специальных методов и комбинированных процессов, их современное развитие.

Литература [1], с. 3-9.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Цели и задачи специальных методов обогащения в технологии переработки полезных ископаемых.
2. В чем заключается отличие специальных методов от традиционных (гравитационных, флотационных, магнитных)?
3. Какие свойства минералов используются в специальных и комбинированных методах обогащения?
4. В чем заключаются основные задачи дальнейшего развития специальных методов обогащения и комбинированных процессов?

### ***2.2 . Сортировка полезных ископаемых***

Общие сведения о сортировке. Ручная сортировка. Производительность процесса. Эффективность ручной сортировки. Механизированная сортировка. Основные задачи, решаемые механизированной сортировкой. Физические основы процесса. Способы сортировки. Классификация радиометрических методов обогащения. Основные факторы, влияющие на показатели радиометрического обогащения. Техника выполнения радиометрического обогащения. Радиометрическая

сортировка. Радиометрическая сепарация. Характеристика режимов сепарации. Устройства формирования кусковой подачи материала. Производительность радиометрического обогащения. Радиометрическое обогащение радиоактивных руд. Авторадиометрические сепараторы. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. Фотонейтронный метод. Рентгенолюминесцентный метод. Фотометрический метод. Гамма-абсорбционный метод. Рентгенорадиометрический метод. Перспективы развития радиометрического обогащения полезных ископаемых.

Изучая этот раздел, следует хорошо осознать, какие свойства минералов положены в основу процесса сортировки, разобраться в физической сущности сортировки. Говоря о свойствах компонентов, следует кратко охарактеризовать каждый из них. Обратит внимание на понятие "контрастность полезного ископаемого". В подразделе "Оценка эффективности процесса сортировки" основные показатели: качество, выход, извлечение и т.д.

При изучении технологии сортировки усвоить основные задачи, проиллюстрировать режимы сортировки, связать их с режимом транспортировки и выделения из потока порций (кусков) заданного качества.

Указать назначение и способы подготовки полезного ископаемого к сортировке. Привести основные формулы, описывающие производительность процесса сортировки в различных режимах.

Детально охарактеризовать технологию ручного, порционного, дискретно-порционного, кускового сортировки, организации формирования потоков. Проиллюстрировать способы и указать последовательность определения сорта куска в процессе сортировки. Перечислить способы (привести схемы) выделение частиц в разнородные продукты.

При изучении аппаратуры и соответствующих способов сортировки (авторадиометрический, рентгенолюминесцентный и т.д.) целесообразно их классифицировать по виду излучения (от гамма-излучения до видимого света). Привести технологические схемы обогащения полезных ископаемых с использованием соответствующих способов сортировки.

Литература [1], с. 8-47

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Классификация специальных методов обогащения.
2. Укажите основные принципы ручной сортировки.
3. Опишите основные технологические задачи, решаемые с помощью радиометрического обогащения.
4. Классификация методов радиометрического обогащения полезных ископаемых в зависимости от используемого излучения.
5. Укажите основные факторы, влияющие на показатели радиометрического обогащения.
6. Охарактеризуйте основные режимы формирования транспортного потока при радиометрической сепарации.
7. От чего зависит производительность процесса радиометрической сепарации?

8. Область применения авторадиметрического метода обогащения.

9. Назовите основные методы радиметрического обогащения нерадиоактивных руд, используемые в промышленности.

### ***2.3. Обогащение с использованием эффектов взаимодействия кусков разделяемых компонентов с рабочей поверхностью сепаратора***

Обогащение по упругости. Классическая теория удара. Коэффициент восстановления скорости. Вибрационный сепаратор. Сепаратор с неподвижной рабочей поверхностью. Обогащение по трению. Коэффициент трения. Плоскостной сепаратор. Винтовой сепаратор. Совместное обогащение по трению и упругости. Обогащение по форме. Грохочение на специальных просеивающих поверхностях. Обогащение слюдяных руд. Полочный сепаратор. Центробежный сепаратор. Термоадгезионный метод обогащения. Обогащение на жировых поверхностях. Липкостная сепарация. Жировой стол ленточного типа.

При изучении этого раздела стоит осознать сущность каждого процесса, область его применения, принцип действия сепараторов. Указать на ограниченность применения рассматриваемых процессов.

Литература [1], с. 48-63

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Перечислите методы обогащения, основанные на использовании эффектов взаимодействия кусков разделяемых компонентов с рабочей поверхностью сепаратора.

2. Опишите фазы движения частицы к плите и от плиты при упругом ударе.

3. Как определяется коэффициент трения при движении частицы по наклонной поверхности?

4. Перечислите способы разделения частиц различной формы.

5. Охарактеризуйте конструкцию просеивающей поверхности крышевидного грохота.

6. На каком принципе основан метод термоадгезионного обогащения.

7. Опишите схему работы термоадгезионного сепаратора.

8. На чем основано обогащение на жировых поверхностях.

9. Опишите конструкцию ленточного жирового стола.

### ***2.4. Обогащение на основе селективно направленного изменения размеров кусков компонентов полезного ископаемого***

Избирательное дробление. Степень дробления. Раскрытие минерала. Критерий селективности. Дробилки ударного действия. Дробилка полужесткого дробления. Избирательное измельчение. Различия в прочности и твердости компонентов полезного ископаемого. Водопадный и каскадный режимы измельчения. Схема переработки магнетитовых руд. Промывка полезных ископаемых. Дезинтеграция

глинистых пород. Физические свойства глин. Гидростойкость глин. Пластичность, размокание, набухание. Промывистость глин. Промывочные машины с вращающейся ванной. Бутары, скруббера, скруббер – бутары. Корытные промывочные машины. Горизонтальная и наклонная корытные мойки. Вибрационные промывочные машины. Виброгрохоты. Вибромойки. Вибрационные дезинтеграторы. Использование промывки в схемах обогащения полезных ископаемых. Оттирка полезных ископаемых. Декрипитация. Переработка сподуменовых руд. Обогащение барита, калийных руд. Избирательное термохимическое разрушение. Термическая диссоциация карбонатов. Переработке апатитов, карбонатно-фосфатных руд. Метод термообработки.

Изучение этого раздела не вызывает затруднений, поскольку все процессы отличаются простотой операций. По каждому процессу стоит усвоить область его применения, кратко изложить сущность того или иного способа обогащения, привести схемы аппаратов, а также, по возможности, технологические схемы с применением указанных процессов.

Литература [1], с. 64-89

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите процессы обогащения на основе селективно направленного изменения размеров кусков компонентов полезного ископаемого.
2. Какие критерии характеризуют селективность изменения размера кусков.
3. Укажите условия, при которых происходит избирательное разрушение.
4. Что такое промывка полезных ископаемых.
5. Классификация руд по промывистости.
6. На какие группы подразделяются промывочные машины по конструкции ванны.
7. Перечислите способы оттирки минералов от загрязняющих пленок.
8. На чем основан процесс декрипитационного разрушения?
9. Опишите схему переработки сподуменовой руды.
10. Укажите область применения избирательного термохимического разрушения.
11. Какие изменения происходят при обжиге фосфоритной руды?
12. Опишите суть метода термообработки тонковкрапленной серной руды.

### ***2.5. Обогащение на основе разницы в поверхностных свойствах разделяемых минералов***

Селективная коагуляция. Селективная флокуляция маслами. Метод ОВЗУМС – «обогащение высокозольных углей масляной селекцией». Селективная флокуляция водорастворимыми полимерами. Селективная флокуляция гидрофобными полимерами. Латексы. Масляная грануляция. Механизм «амальгамного» гранулообразования. «Коалесцентный» механизм гранулообразования. Технологические схемы масляной агломерации. Процесс

«гидротранспорт – масляная агломерация». Адгезионное обогащение. Адгезионно-масляная сепарация. Агломерация «уголь-золото». Амальгамация.

Изучение этого раздела потребует от Вас освежить в памяти знания по химии. Вам необходимо разобраться в механизме действия различных реагентов на границе раздела твердое-жидкое, усвоить особенности процессов обогащения и области их применения.

Литература [1], с. 90-108

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Укажите особенности процесса селективной коагуляции электролитами.
2. Опишите суть метода ОБЗУМС.
3. Укажите область использования селективной масляной флокуляции.
4. Какие реагенты используются в процессе селективной флокуляции водорастворимыми полимерами (СФП)?
5. Укажите основные технологические операции селективной флокуляции латексами.
6. Укажите отличия процессов масляной грануляции и масляной агломерации.
7. В чем суть совмещенного процесса «гидротранспорт – масляная агломерация»?
8. Что такое внутренняя и внешняя амальгамация? Аппаратурное оформление процессов.
9. Укажите особенности процесса амальгамации серебросодержащих руд и концентратов.

### ***2.6. Комбинированные методы обогащения***

Комбинированные методы обогащения. Физическое растворение. Химическое растворение (выщелачивание). Реакции обмена, окислительно-восстановительные, комплексообразования. Бактериальный способ интенсификации выщелачивания. Общая схема комбинированных методов обогащения. Подготовка минерального сырья к выщелачиванию. Выщелачивание с перемешиванием материала с растворителем. Чановое выщелачивание. Каскады выщелачивания. Автоклавное выщелачивание. Перколяционное выщелачивание. Кучное выщелачивание. Подземное выщелачивание. Способы отделения продукционного раствора. Осаждение металлов из растворов электролизом, цементацией, кристаллизацией, получением нерастворимых соединений. Сорбция. Жидкостная экстракция.

Обогащение селвинитовых руд. Добыча поваренной соли подземным выщелачиванием. Извлечение меди из смешанных руд по методу Мостовича. Схема получения глинозема по способу Байера. Технология автоклавного выщелачивания вольфрама. Схема извлечения золота из коренной руды. Общая схема переработки ураносодержащих руд.



Подготовка руды к выщелачиванию. Кислотное выщелачивание урановых руд. Карбонатное выщелачивание урановых руд. Отделение продукционного раствора от твердой фазы. Химическое осаждение урана из растворов. Выделение урана из пульп с применением ионного обмена. Извлечение урана из растворов экстракцией органическими растворителями.

При изучении этого раздела стоит осознать, что комбинированные методы обогащения включают ряд процессов, в которых осуществляется фазовый переход компонентов из твердого в жидкое, из жидкого в газообразное или из твердого в газообразное состояние, удобное для дальнейшего разделения продуктов. Комбинированные методы охватывают такие процессы, как кучное и чановое выщелачивания руд, автоклавное выщелачивание, а также геотехнологические методы, основанные на переходах твердого полезного ископаемого в подвижное состояние непосредственно на месте залегания. Изучая этот раздел, следует четко представлять сущность каждого процесса, область его применения, уметь воспроизвести основные химические формулы и схемы процессов, знать перспективы развития комбинированных методов обогащения.

Литература [1], с. 109-162

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем особенность комбинированных методов обогащения?
3. Какие реакции лежат в основе процессов химического растворения?
4. На чем основан бактериальный способ интенсификации выщелачивания?
5. Перечислите основные технологические процессы комбинированных методов обогащения.
6. Для чего проводят предварительный обжиг или сплавление минерального сырья?
7. Какие аппараты применяются при выщелачивании с перемешиванием материала с растворителем?
8. В чем заключаются особенности автоклавного выщелачивания?
9. Опишите принцип перколяционного выщелачивания?
10. Какие варианты подземного выщелачивания Вам известны?
11. Какими способами осуществляется отделение растворов от нерастворимых осадков при выщелачивании минерального сырья?
12. Перечислите методы выделения металлов и их соединений из раствора.
13. Какие типы ионитов применяются при сорбции?
14. Основные требования, предъявляемые к экстрагентам. Группы экстрагентов.
15. Перечислите методы регенерации реагентов.
16. Опишите технологическую схему обогащения сильвинитовых руд.
17. Каковы особенности подземного выщелачивания поваренной соли?
18. Опишите принципиальную схему переработки труднообогатимых медных руд по методу Мостовича.
19. Дайте характеристику основных минералов алюминия.
20. Опишите упрощенную схему получения глинозема способом Байера.

21. Какие промышленные минералы вольфрама Вы знаете?
22. Укажите особенности автоклавного выщелачивания вольфрамовых продуктов.
23. Как происходит извлечение золота при помощи цианирования?
24. Перечислите основные стадии общей схемы переработки ураносодержащих руд.

### **3. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ**

Контрольное задание по курсу включает 5 задач, соответствующих 5 разделам курса. Каждая задача представлена в десяти вариантах. Студент выполняет тот вариант, номер которого соответствует последней цифре учебного шифра.

Ответы на вопросы должны быть подробными, проиллюстрированы схемами, рисунками.

В тексте должны быть ссылки на использованную литературу. Перечень ее необходимо привести в конце работы.

#### **Задача 1 к разделу "Сортировка полезных ископаемых"**

1. Изложите физические основы процесса ручной сортировки.
2. Укажите, какими показателями характеризуется эффективность процесса рудоразборки.
3. Классификация методов радиометрического обогащения полезных ископаемых в зависимости от используемого излучения.
4. Укажите основные факторы, влияющие на показатели радиометрического обогащения.
5. Охарактеризуйте основные режимы формирования транспортного потока при радиометрической сепарации.
6. Авторадиометрический метод обогащения.
7. Рентгенолюминесцентный метод обогащения.
8. Фотометрический метод обогащения.
9. Гамма-абсорбционный метод обогащения.
10. Рентгенорадиометрический метод обогащения.

#### **Задача 2 к разделу "Обогащение с использованием эффектов взаимодействия кусков разделяемых компонентов с рабочей поверхностью сепаратора"**

1. Дать общую характеристику процессов, относящихся к этому разделу.
2. Обогащение по упругости.
3. Обогащение по трению. Теоретические основы.
4. Классификация сепараторов по трению.

5. Обогащение по форме. Основные аппараты.
6. Охарактеризуйте конструкцию просеивающей поверхности крышевидного грохота.
7. Термоадгезионный метод обогащения.
8. Перечислите основные параметры, определяющие температуру нагрева частицы при термоадгезионном обогащении.
9. Опишите схему работы термоадгезионного сепаратора.
10. Обогащение на жировых поверхностях.

### **Задача 3 к разделу "Обогащение на основе селективно направленного изменения размеров кусков компонентов полезного ископаемого"**

1. Избирательное дробление.
2. Избирательное измельчение.
3. Промывка полезных ископаемых.
4. Физические свойства глин. Промывистость.
5. Барабанные промывочные машины.
6. Корытные промывочные машины.
7. Оттирка полезных ископаемых.
8. Декрипитация.
9. Термохимическое разрушение.
10. Изменение размеров частиц с помощью термообработки.

### **Задача 4 к разделу "Обогащение на основе разницы в поверхностных свойствах разделяемых минералов"**

1. Селективная коагуляция.
2. Селективная флокуляция маслами.
3. Опишите схему обогащения шламов методом ОБЗУМС.
4. Селективная флокуляция водорастворимыми полимерами.
5. Селективная флокуляция гидрофобными полимерами.
6. Масляная агломерация.
7. Масляная грануляция.
8. Совмещенный процесс «гидротранспорт – масляная агломерация».
9. Адгезионно-масляная сепарация.
10. Амальгамация.

### **Задача 5 к разделу "Комбинированные методы обогащения"**

1. Опишите реакции, которые лежат в основе процессов химического растворения минералов.
2. Перечислите основные технологические процессы комбинированных методов обогащения.
3. Охарактеризуйте основные группы обжига.
4. Выщелачивание с перемешиванием материала с растворителем.

5. Перколяционное выщелачивание.
6. Отделение растворов от нерастворимых осадков.
7. Методы выделения металлов из растворов после выщелачивания.
8. Регенерация рабочих агентов и возврат их в процесс.
9. Опишите технологическую схему обогащения сильвинитовых руд.
10. Технология автоклавного выщелачивания при получении глинозема.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. Самойлик В. Г. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых: учебное пособие / В.Г. Самойлик – Донецк: ООО «Схід. видав. дім», 2015. – 164 с. <http://ea.donntu.org/handle/123456789/28525>
2. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых: конспект лекций / В.Г. Самойлик. Донецк: ДонНТУ, 2015.- 180 с. <http://ea.donntu.org/handle/123456789/29156>
3. Авдохин В.М. Обогащение углей: Учебник для вузов: В 2 т. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – Т. 2. Технологии. <http://ed.donntu.org/books/19/cd8902.pdf>

### *Дополнительная*

1. Автоклавное окисление золотосодержащих руд и концентратов / С.В. Валиков, С.С. Гудков, Ю.Е. Емельянов, А.В. Богородский, А.В. Епифоров, А.В. Болдырев, Ч.Т. Дзгоев. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 2016. – 471 с. <http://ed.donntu.org/books/19/cd9019.pdf>