

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

**Руководитель ОПОП ВО
.Н. Бричкин**

**Проректор по образовательной
деятельности доцент Д.Г. Петраков**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

РАСЧЕТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Уровень высшего образования:	Магистратура
Направление подготовки:	22.04.02 Металлургия
Направленность (профиль):	Металлургия цветных металлов
Квалификация выпускника:	магистр
Форма обучения:	очная
Составитель:	доцент Фокина С.Б.

Санкт-Петербург

Рабочая программа дисциплины «Расчет и методы исследования гидromеталлургических процессов» разработана:

– в соответствии с требованиями ФГОС ВО магистратура по направлению подготовки «22.04.02 Metallургия», утвержденного приказом Минобрнауки России №308 от 24 апреля 2018 г.;

– на основании учебного плана магистратуры по направлению подготовки «22.04.02 Metallургия» направленность (профиль) «Metallургия цветных металлов».

Составитель _____ доцент С.Б. Фокина

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Metallургия» от 04.02.2021г., протокол № 16.

Заведующий кафедрой metallургии _____ д.т.н., проф. В.Н. Бричкин

Рабочая программа согласована:

Начальник отдела лицензирования, аккредитации и контроля качества образования _____ Дубровская Ю.А.

Начальник отдела методического обеспечения учебного процесса к.т.н. _____ Романчиков А.Ю.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

– формирование у магистрантов знаний в области гидрометаллургических процессов, подготовка выпускников к решению профессиональных задач, связанных с научно-исследовательскими и проектными основами процессов получения цветных металлов гидрометаллургическим способом, а также развитие творческого мышления и ознакомление с методологией научных исследований.

Основные задачи дисциплины:

– **изучение:** физико-химических методов получения металлов гидрометаллургическим способом; конструкций гидрометаллургических аппаратов и их эксплуатационных параметров; схем расчетов материального и теплового балансов гидрометаллургических процессов.

– **овладение** методами расчетов и исследований гидрометаллургических процессов и аппаратов, а также использование их в проектировании основного аппаратурного оформления и технологических схем.

– **формирование:** представлений о современном состоянии и тенденциях развития отечественной и мировой промышленности производства металлов гидрометаллургическим методом; навыков научно-исследовательской работы в области гидрометаллургических процессов и аппаратов; навыков практического применения знаний при проектировании гидрометаллургических аппаратов и цеховых сооружений; способностей для решения технологических задач; мотивации к самостоятельному повышению уровня профессиональных навыков в области гидрометаллургии.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Расчет и методы исследования гидрометаллургических процессов» относится к дисциплинам «по выбору» части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки «22.04.02 Metallургия» и изучается во 2 семестре.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Расчет и методы исследования гидрометаллургических процессов» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного	УК-1	УК-1.1. Знать методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации.
		УК-1.2. Уметь применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации.

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
подхода, вырабатывать стратегию действий		УК-1.3. Владеть методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий.
Способен проводить расчеты и делать выводы при решении задач, относящихся к профессиональной деятельности	ПКС-6	ПКС-6.1. Знать методики расчётов технических и технологических параметров требуемых режимов работы оборудования. Расчеты термодинамических параметров металлургических процессов ПКС-6.2. Уметь выполнять расчёты на основе методических указаний, анализировать результаты и делать выводы ПКС-6.3. Владеть проведением расчетов технологических и физических процессов в металлургии и металлообработке, оборудования, энерго- и ресурсопотребления, обеспеченности сырьём и расходными материалами

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 ак. часа.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		2
Аудиторные занятия, в том числе:	81	81
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	27	27
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа (всего)	99	99
Подготовка к практическим занятиям	40	40
Подготовка к лабораторным работам	59	59
Курсовой проект	-	-
Вид промежуточной аттестации – экзамен	36	36
Общая трудоемкость дисциплины	216	216
ак. час	6	6
зач. ед.		

4.2 Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия, лабораторные работы и самостоятельная работа.

4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование раздела дисциплины	Виды занятий				
	Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студента
Раздел 1. «Введение. Основы химической термодинамики для процессов, реализуемых в гидротермальных средах»	24	4	6	4	10
Раздел 2. «Методы исследования и расчета свойств растворов»	26	2	-	6	18
Раздел 3. «Изучение и расчет процессов выщелачивания»	44	2	10	14	18
Раздел 4. «Изучение и расчет процессов цементации»	26	2	-	6	18
Раздел 5. «Расчет и изучение процессов осаждения малорастворимых соединений»	26	2	-	6	18
Раздел 6. «Разработка технологических регламентов для расчета ТЭО и проектирования»	35	6	11	-	18
Итого:	180	18	27	36	99

4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1.	Введение. Основы химической термодинамики для процессов, реализуемых в гидротермальных средах	Цель и задачи курса. Роль химического и фазового состава перерабатываемых руд, концентратов и полупродуктов в выборе методов его переработки. Современные методы определения химического и фазового состава. Химические свойства элементарных, оксидных и сульфидных форм основных цветных металлов. Методы вычисления свободных энергий и констант равновесия реакций. Закономерности термодинамики процессов физического растворения. Термодинамика химических реакций растворения металлов, оксидов и сульфидов. Термодинамика процессов выделения ценных компонентов из растворов цементацией и осаждением малорастворимых соединений.	4
2.	Методы исследования и расчета свойств растворов	Расчетные и экспериментальные методы определения активностей ионов в растворах. Методы определения констант устойчивости комплексных	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
		<p>соединений. Потенциометрические методы. Спектрофотометрия. Распределение между двумя фазами. Постановка эксперимента и обработка результатов. Определение состава комплексных соединений методом изомольных серий. Расчет ионного состава системы при ступенчатом комплексообразовании по величинам констант устойчивости. Методы расчета растворимости солей в водных растворах сложного состава по справочным данным. Методы экспериментального изучения растворимости в многокомпонентных системах. Определение состава донной фазы. Графическое изображение двойных, тройных, четверных систем вода - соли. Аналитический метод отображения растворимости в многокомпонентных системах. Методы экспериментального определения физических свойств растворов. Определение плотности, вязкости, поверхностного натяжения.</p>	
3.	Изучение и расчет процессов выщелачивания	<p>Химизм процессов выщелачивания. Выбор реагентов. Расчет необходимого расхода реагента при необратимости и обратимости процесса выщелачивания. Прогноз вероятного поведения примесей. Выполнение поисковых экспериментов и обработка их результатов. Изучение кинетики и механизма процессов выщелачивания индивидуальных фаз. Взаимное влияние фаз при выщелачивании сложных продуктов. Роль электрохимических явлений (образование короткозамкнутых пар). Катализ и автокатализ. Методы определения порядка реакции, кажущейся энергии активации. Ошибки в оценке порядков реакций и кажущейся энергии активации, вызванные наложением нескольких последовательных или параллельных процессов. Определение природы лимитирующей стадии. Составление уравнения кинетической функции. Построение гипотезы о механизме</p>	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
		процесса. Принципы выбора и расчета оборудования для выщелачивания.	
4.	Изучение и расчет процессов цементации	Расчет теоретического предела цементации. Экспериментальное определение реального предела цементации и факторов на него влияющих. Методы контроля процесса цементации. Изучение кинетики процесса цементации. Определение величины максимального тока пары цементат-цементант, природы контроля процесса, влияния концентрации цементируемого металла и состава раствора на величину максимального тока. Определение скорости и механизма процесса цементации. Влияние формы ионов цементируемого металла в растворе: Одноатомные катионы, комплексные катионы и анионы.	2
5.	Расчет и изучение процессов осаждения малорастворимых соединений.	Расчет теоретического предела разделения металлов, образующих малорастворимые соединения с одним и тем же реагентом при отсутствии и наличии изоморфизма. Примеры. Методы экспериментального изучения растворимости малорастворимых соединений. Расчет процессов переосаждения и репульпации. Расчет материального баланса элементов при противоточной технологической схеме осаждение-репульпация.	2
6.	Разработка технологических регламентов для расчета ТЭО и проектирования	Требования к регламентам. Методы составления уравнений материальных балансов сложных технологических схем с циркуляцией оборотных продуктов и наличием параллельных и перекрестных потоков. Разработка основных рекомендаций для составления ТЭО. Рекомендации по аппаратурно-технологической схеме. Характеристика реагентов и материалов. Рекомендации по автоматизации процессов. Требования техники безопасности.	6
Итого:			18

4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 1	Расчет рационального состава минерального сырья	6
2	Раздел 3	Расчет материального баланса автоклавного выщелачивания медного концентрата	10
3	Раздел 6	Расчет материального баланса и оборудования электролитического рафинирования серебра	11
Итого:			27

4.2.4. Лабораторные работы

№ п/п	Раздел	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 1	Основы химической термодинамики для процессов, реализуемых в гидротермальных средах	4
2	Раздел 2	Методы исследования и расчета свойств растворов	6
3	Раздел 3	Изучение и расчет процессов выщелачивания	14
4	Раздел 4	Изучение и расчет процессов цементации	6
5	Раздел 5	Расчет и изучение процессов осаждения малорастворимых соединений	6
Итого:			36

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе дисциплины «Расчет и методы исследования гидрометаллургических процессов» широко используются следующие образовательные технологии:

Лекции, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся.

Цели лекционных занятий:

-дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;

-стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

Практические занятия. Цели практических занятий:

-совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

Консультации (текущая консультация, накануне экзамена) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ.

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1. Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

Раздел 1. Введение. Основы химической термодинамики для процессов, реализуемых в гидротермальных средах

1. Роль химического и фазового состава перерабатываемых руд, концентратов и полупродуктов в выборе методов его переработки.
2. Современные методы определения химического и фазового состава.
3. Химические свойства элементарных, оксидных и сульфидных форм основных цветных металлов.
4. Методы вычисления свободных энергий и констант равновесия реакций.
5. Закономерности термодинамики процессов физического растворения.
6. Термодинамика химических реакций растворения металлов, оксидов и сульфидов.
7. Термодинамика процессов выделения ценных компонентов из растворов цементацией и осаждением малорастворимых соединений.

Раздел 2. Методы исследования и расчета свойств растворов

1. Расчетные и экспериментальные методы определения активностей ионов в растворах.
2. Методы определения констант устойчивости комплексных соединений.
3. Потенциометрические методы.
4. Спектрофотометрия.
5. Распределение между двумя фазами.
6. Постановка эксперимента и обработка результатов.
7. Определение состава комплексных соединений методом изомольных серий.
8. Расчет ступенчатых констант устойчивости методом Бьеррума.
9. Расчет ионного состава системы при ступенчатом комплексообразовании по величинам констант устойчивости.
10. Методы расчета растворимости солей в водных растворах сложного состава по справочным данным.
11. Методы экспериментального изучения растворимости в многокомпонентных системах. Определение состава донной фазы.
12. Графическое изображение двойных, тройных, четверных систем вода - соли. Аналитический метод отображения растворимости в многокомпонентных системах.
13. Методы экспериментального определения физических свойств растворов.
14. Определение плотности, вязкости, поверхностного натяжения.

Раздел 3. Изучение и расчет процессов выщелачивания

1. Химизм процессов выщелачивания.
2. Выбор реагентов.
3. Расчет необходимого расхода реагента при необратимости и обратимости процесса выщелачивания.
4. Прогноз вероятного поведения примесей.
5. Выполнение поисковых экспериментов и обработка их результатов.
6. Изучение кинетики и механизма процессов выщелачивания индивидуальных фаз. Взаимное влияние фаз при выщелачивании сложных продуктов.
7. Роль электрохимических явлений (образование короткозамкнутых пар).
8. Катализ и автокатализ.

9. Методы определения порядка реакции, кажущейся энергии активации.
10. Ошибки в оценке порядков реакций и кажущейся энергии активации, вызванные наложением нескольких последовательных или параллельных процессов.
11. Определение природы лимитирующей стадии.
12. Составление уравнения кинетической функции.
13. Построение гипотезы о механизме процесса.
14. Принципы выбора и расчета оборудования для выщелачивания.

Раздел 4. Изучение и расчет процессов цементации

1. Расчет теоретического предела цементации.
2. Экспериментальное определение реального предела цементации и факторов на него влияющих.
3. Методы контроля процесса цементации.
4. Изучение кинетики процесса цементации.
5. Определение скорости и механизма процесса цементации.
6. Влияние формы ионов цементируемого металла в растворе: одноатомные катионы, комплексные катионы и анионы.

Раздел 5. Расчет и изучение процессов осаждения малорастворимых соединений

1. Расчет теоретического предела разделения металлов, образующих малорастворимые соединения с одним и тем же реагентом при отсутствии и наличии изоморфизма.
2. Методы экспериментального изучения растворимости малорастворимых соединений.
3. Расчет процесса переосаждения.
4. Расчет процесса репульсации.
5. Расчет материального баланса элементов при противоточной технологической схеме осаждение-репульсация.

Раздел 6. Разработка технологических регламентов для расчета ТЭО и проектирования

1. Требования к регламентам.
2. Методы составления уравнений материальных балансов сложных технологических схем с циркуляцией оборотных продуктов и наличием параллельных и перекрестных потоков.
3. Разработка основных рекомендаций для составления ТЭО.
4. Рекомендации по аппаратурно-технологической схеме.
5. Характеристика реагентов и материалов.
6. Рекомендации по автоматизации процессов.
7. Требования техники безопасности.

6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (экзамена)

6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий к экзамену

1. Назовите типы процессов выщелачивания.
2. Назовите основные виды концентраций.
3. Как связаны между собой термодинамическая и концентрационная константы?
4. Что характеризует энергия активации процесса выщелачивания?

5. Какие значения энергии активации характерны для диффузионной и химической кинетики?
6. Какие признаки характерны для процессов выщелачивания, лимитируемых внешнедиффузионным подводом реагента к границе реакции?
7. Чем обеспечивается молекулярная и конвективная диффузии?
8. Дайте характеристику интенсификации процессов, протекающих в диффузионной области.
9. Дайте характеристику интенсификации процессов, протекающих в кинетической области.
10. Какой процесс называют «механоактивацией» минерала?
11. Что называют произведением растворимости соединения?
12. Как по произведению растворимости соединения определить его растворимость?
13. Что называют растворимостью соединения?
14. Как влияет на растворимость соединения присутствие в растворе одного из ионов?
15. Как изменяется рН выделения гидроксида металла при уменьшении концентрации раствора?
16. От каких факторов зависит рН выделения основных солей из раствора?
17. От каких факторов зависит рН выделения из раствора гидроксидов металлов?
18. Чем определяется термодинамическая возможность протекания процесса цементации?
19. Изложите основные факторы, влияющие на показатели цементации.
20. Для решения каких задач используют кристаллизацию в гидрометаллургии?
21. Назовите основные виды кристаллизации.
22. Как получают пересыщенные растворы?
23. Какие факторы влияют на устойчивость пересыщенных растворов?
24. Каковы возможные причины загрязнения осаждаемого из раствора химического соединения или кристаллизуемой соли присутствующими в растворе примесями?
25. При каких условиях осаждаемое из растворов малорастворимое соединение (осадок) загрязняется неизоморфной примесью?
26. Каковы закономерности гомогенного соосаждения изоморфных примесей?
27. Каковы закономерности гетерогенного соосаждения изоморфных примесей?
28. Назовите методы составления уравнений материальных балансов сложных технологических схем с циркуляцией оборотных продуктов и наличием параллельных и перекрестных потоков.
29. С какой целью составляется спецификация технологического оборудования и что она включает?
30. Какие вопросы разрабатываются в теплотехнической части проекта металлургического предприятия?

6.2.2. Примерные тестовые задания к экзамену

Вариант 1

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Азотнокислое выщелачивание используется для разделения	1. золота и серебра; 2. меди и никеля; 3. свинца и кальция; 4. свинца и серебра.
2.	К какому типу относится реакция: $\text{CaWO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3\downarrow + \text{Na}_2\text{WO}_4$?	1. простая нейтрализация; 2. процессы образования малорастворимых соединений; 3. реакции обменного разложения с комплексообразованием; 4. реакция, сопровождающиеся выделением газов.
3.	К какому типу относится реакция: $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{FeSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$?	1. простая нейтрализация; 2. восстановление катиона; 3. реакции обменного разложения с комплексообразованием; 4. реакция, сопровождающаяся выделением газов.
4.	В каком случае применяется уравнение Дебая-Гюккеля <i>первого приближения</i> :	1. для растворов с очень низкой концентрацией электролита; 2. для высококонцентрированных растворов электролитов; 3. для идеальных растворов; 4. для растворов неэлектролитов.
5.	Какой из параметров системы не входит в приведенное уравнение $\lg \gamma_{\pm} = -0,509 z_+ z_- \sqrt{I} \gamma$	1. коэффициент активности; 2. заряд аниона; 3. ионная сила; 4. концентрация электролита.
6.	В термодинамическом цикле Борна-Габера на последней стадии рассматривается формирование кристаллического вещества через:	1. разложение твердой соли; 2. образование газов; 3. взаимодействие газообразных ионов; 4. растворение.
7.	Гидратация ионов для простого растворения определяется совокупностью изменений, связанных с образованием раствора из газообразных ионов и:	1. H_2O ; 2. раствора H_2SO_4 ; 3. раствора NaOH ; 4. раствора KOH .
8.	Для ускорения реакции с участием газовой фазы, если процесс лимитирует диффузия на границе жидкость-газ, необходимо увеличить:	1. диспергацию; 2. поверхностное натяжение; 3. давление; 4. плотность.
9.	Массоперенос на границе раствор - минерал осуществляется за счет сочетания:	1. молекулярной диффузии и конвекции; 2. конвекции и адсорбции; 3. адсорбции и молекулярной диффузии; 4. десорбции и молекулярной диффузии.
10.	Определяющим признаком, отличающим торможение внешней диффузии от внутренней, является влияние:	1. температуры; 2. перемешивания; 3. концентрации; 4. поверхности раздела твердое – жидкое.
11.	Как осуществляется регенерация угля при сорбционном выщелачивании золота?	1. обработкой паром; 2. обработкой соляной кислотой; 3. обработкой цианидом; 4. прокаливанием.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
12.	Какое оборудование используется для выделения угля, насыщенного золотом, из пульпы?	1. гидроциклоны; 2. рамные фильтры; 3. углеуловители; 4. грохоты.
13.	Основное преимущества применения ионообменной сорбции металлов в пульпах	1. использование активированного угля; 2. высокая скорость выделения; 3. получение богатых растворов; 4. отсутствие фильтрации и сгущения.
14.	Оценка скорости электрохимических полуреакций при цементации осуществляется с использованием показателя	1. плотности тока; 2. силы тока; 3. разности редокс-потенциалов; 4. ЕДС.
15.	Для количественного цементационного выделения золота из цианистого раствора цинком необходимо предварительное	1. аэрирование раствора; 2. нагревание цинка; 3. снижение содержания цианид-иона; 4. освинцовывание цинка.
16.	Аппарат, который не может быть использован при цементационном выделении элементов из раствора	1. агитатор 2. циклон; 3. ресивер; 4. пульсационная колонна.
17.	Захват примеси с маточным раствором, заполняющим пустоты внутри кристаллов	1. неизоморфное осаждение; 2. изоморфное осаждение; 3. инклюзия; 4. абсорбция.
18.	Количественная характеристика пересыщенного раствора $\beta = \frac{\alpha}{C_n}$	1. абсолютное пересыщение; 2. относительное пересыщение; 3. степень пересыщения; 4. абсолютное переохлаждение.
19.	Как называется способ получения пересыщенного раствора введением в него вещества, понижающего растворимость, содержащегося в нем соединения?	1. выпаривание; 2. лабилизация; 3. охлаждение; 4. высаливание.
20.	Пересыщение растворов достигается путем	1. охлаждения, выпаривания, высаливания; 2. выпаривания, диффузии, адсорбции; 3. высаливания, диффузии, выпаривания; 4. выпаривания, высаливания, адсорбции.

Вариант 2

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	В электрохимическом процессе цианирования золота катодный участок отвечает реакции	1. осаждения цианида; 2. восстановления кислорода; 3. окисления кислорода; 4. восстановления золота.
2.	На какую величину отличается энергия Гиббса раствора электролита от энергии Гиббса идеального раствора	1. энергия электростатического взаимодействия; 2. энергия гидратации; 3. энергия ионизации; 4. энергия диссоциации .

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
3.	К какому типу относится реакция: $2\text{FeS} + 3/2 \text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{S}^\circ$	1. окисление катиона и аниона; 2. восстановление аниона; 3. реакции обменного разложения с комплексообразованием; 4. реакция, сопровождающаяся выделением газов.
4.	К какому типу относится реакция: $\text{TeO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{TeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	1. простая нейтрализация; 2. восстановление аниона; 3. реакции обменного разложения с комплексообразованием; 4. реакция, сопровождающаяся выделением газов.
5.	Глубина протекания гидromеталлургических процессов и состав равновесной фазы определяется:	1. константой равновесия; 2. энтропией; 3. энтальпией; 4. константой нестойкости.
6.	Константа равновесия реакции отличается от концентрационной константы учетом	1. активности; 2. плотности; 3. энтропии; 4. энтальпии.
7.	Чему равен химический потенциал диссоциированного вещества в растворе?	1. сумме химических потенциалов атомов; 2. энергии Гиббса вещества; 3. сумме химических потенциалов ионов; 4. энтальпии веществ.
8.	Для определения кажущейся энергии активации изучают зависимость скорости выщелачивания от:	1. концентрации реагентов; 2. давления; 3. химических потенциалов; 4. температуры.
9.	Совершенство структуры кристаллизующегося вещества зависит от:	1. скорости кристаллизации; 2. концентрации; 3. плотности; 4. потенциала.
10.	Для гетерогенных реакций с уменьшающейся скоростью характерно:	1. рост концентрации растворителя; 2. увеличение поверхности минерала; 3. образование защитной пленки; 4. увеличение диффузионного слоя.
11.	Применение минеральных ионитов ограничено из-за их растворимости в:	1. воде; 2. солевых растворах; 3. органических кислотах; 4. кислотах и щелочах.
12.	«Отрицательный» уголь проявляет свойства	1. полифункционального катионообменника; 2. многофункционального анионита; 3. хелатообразующего сорбента; 4. осадителя.
13.	Какой прием используется для повышения емкости сорбента при выделении золота из пульпы на активированном угле?	1. предварительный нагрев пульпы; 2. обжиг угля; 3. повышение концентрации цианида; 4. обезмеживание пульпы.
14.	При контроле скорости процесса цементации скоростью доставки катионов к катоду наблюдается	1. диффузионное торможение на аноде; 2. химическое торможение на катоде; 3. диффузионное торможение на катоде; 4. химическое торможение на аноде.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
15.	При образовании в процессе цементации толстого слоя цементируемого металла может возникнуть	1. диффузионное торможение на аноде; 2. химическое торможение на катоде; 3. химическое торможение на аноде; 4. концентрационное торможение на аноде.
16.	В аппаратурно-технологической схеме на стадии цементации золота из цианидных растворов как правило используются:	1. аппараты с механическим перемешиванием; 2. пачуки; 3. пневмоцилиндры; 4. фильтр-прессы.
17.	Первая стадия анодного процесса при цементации	1. гидратация сорбированного иона; 2. транспорт иона в объем раствора; 3. ионизация атома металла; 4. десорбция иона.
18.	При изоморфном соосаждении малорастворимых соединений с образованием твердых растворов коэффициент разделения равен отношению:	1. активностей катионов; 2. активностей анионов; 3. произведений активностей; 4. ионных радиусов катионов.
19.	Изогидрическая кристаллизация осуществляется при	1. выпаривании; 2. охлаждении; 3. введении комплексообразующих добавок; 4. введении малорастворимой соли.
20.	В каком виде осаждается примесь из пересыщенного раствора при неизоморфном осаждении	1. механической смеси соединений; 2. с образованием твердого раствора; 3. одной химической соли; 4. элементарном виде.

Вариант 3

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Раствор какой кислоты является универсальным растворителем способным растворять самые инертные металлы?	1. H ₂ SO ₄ ; 2. HCl; 3. HCl + HNO ₃ ; 4. HNO ₃ .
2.	Возможность или невозможность осуществления процесса выщелачивания определяется по величине:	1. энтальпии; 2. свободной энергии Гиббса; 3. парциального давления; 4. константы нестойкости.
3.	Выражение для расчета изохорно-изотермического потенциала системы	1. $\Delta F^0_T = T\Delta S + \Delta H$; 2. $\Delta F^0_T = \Delta H - T\Delta S$; 3. $\Delta G^0_T = T\Delta S - \Delta H$; 4. $\Delta F^0_T = \Delta H + TP$.
4.	К какому типу относится реакция $Cu + 0,5 O_2 + H_2SO_4 = CuSO_4 + H_2O$	1. окисление катиона; 2. нейтрализации; 3. окисление катиона и аниона; 4. обменного разложения.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
5.	К какому типу относится реакция: $ZnS + O_2 + H_2SO_4 = ZnSO_4 + S^0 + H_2O$	1. простая нейтрализация; 2. окисления аниона; 3. реакции обменного разложения с комплексообразованием; 4. реакция, сопровождающаяся выделением газов.
6.	Какой показатель термодинамического состояния системы определяется по формуле $\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T,p,n_j(j \neq i)}$	1. редокс-потенциал; 2. химический потенциал; 3. доннановский потенциал; 4. электростатический потенциал.
7.	Химический потенциал компонента идеального раствора зависит от	1. внешнего давления; 2. концентрации растворителя; 3. ионной силы раствора; 4. содержания растворенного вещества.
8.	Критерий Пиллинга-Бедвордса для внутридиффузионной области основан на сравнении выщелоченного минерала и образовавшегося нерастворимого осадка при помощи:	1. энергий кристаллической решетки; 2. произведений растворимости; 3. свободных энергий Гиббса; 4. эквивалентных объемов.
9.	Поток реакции при постоянной концентрации реагента в кинетической области не зависит от:	1. времени; 2. порядка реакции; 3. температуры; 4. поверхности раздела твердое – жидкое.
10.	Кажущаяся энергия активации для внутридиффузионной области менее, кДж/моль:	1. 100; 2. 70; 3. 40; 4. 60.
11.	Выраженная нелинейность изотермы ионного обмена свидетельствует о	1. химическом разложении ионита; 2. механическом разрушении сорбента; 3. высокой селективности смолы; 4. высокой скорости сорбции.
12.	Предварительное насыщение ионообменников противоионами определенного знака называется	1. зарядкой; 2. сорбцией; 3. выщелачиванием; 4. экстракцией.
13.	Как называется количественная характеристика ионообменного равновесия, выраженная в форме $D_A = \frac{\overline{m}_A}{m_A}$?	1. полная обменная емкость; 2. динамическая обменная емкость 3. коэффициент разделения; 4. коэффициент распределения.
14.	Вытесняющий металл должен иметь потенциал по отношению к вытесняемому	1. более электроотрицательный; 2. электроотрицательный; 3. более электроположительный; 4. менее электроположительный.
15.	При цементации золота из цианистых растворов, что является основой получаемых цементных золотых осадков	1. медь; 2. цинк; 3. золото; 4. серебро.
16.	Какая полуреакция реализуется в цементационном процессе на катодном участке реакция?	1. ионизация металла; 2. восстановление металла; 3. диффузия; 4. адсорбция.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
17.	При цементации на анодном участке реализуется реакция:	1. восстановление металла; 2. ионизация металла; 3. диффузия; 4. адсорбция.
18.	Какой параметр при кристаллизации, не оказывая влияние на равновесие между жидкой и твердой фазами, не учитывается при определении числа степеней свободы?	1. температура; 2. давление; 3. концентрация; 4. плотность.
19.	К чему приводит наличие дислокаций в кристаллической решетке кристалла?	1. увеличение скорости кристаллизации; 2. уменьшение скорости кристаллизации; 3. нарушение стехиометрии соединения; 4. геометрическое нарушение структуры.
20.	Геометрическое нарушение в кристаллической решетке кристалла	1. трансформация; 2. кристаллизация; 3. дислокация; 4. диффамация.

6.2.3. Критерии оценок промежуточной аттестации (экзамена)

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных, практических и лабораторных занятий	Посещение не менее 60 % лекционных, практических и лабораторных занятий	Посещение не менее 70 % лекционных, практических и лабораторных занятий	Посещение не менее 85 % лекционных, практических и лабораторных занятий
Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Иногда находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Безошибочно находит решения предусмотренных программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-50	Неудовлетворительно
51-65	Удовлетворительно
66-85	Хорошо
86-100	Отлично

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

7.1. Основная литература

1. Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов: учебник для вузов / А.Н. Зеликман, Г.М. Вольдман, Л.В. Беляевская. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Металлургия, 1983. 422 с.
2. Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов: Учеб. пособие. М.: Металлургия, 1975. 504 с.
3. Каковский И.А. Термодинамика и кинетика гидрометаллургических процессов. Алма-Ата: Наука, 1986. 272 с.
4. Набойченко С.С. Расчеты гидрометаллургических процессов: Учебное пособие. М.: МИСИС, 1995. 428 с.
5. Орлов А.К. Технологические расчеты и задачи по металлургии тяжелых цветных металлов: учеб. пособие / А.К. Орлов, Г.В. Коновалов. СПб.: СПГГИ, 2009. 105 с.

7.2. Дополнительная литература

1. Теляков Н.М. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие / Н.М. Теляков, С.Н. Салтыкова, О.А. Дубовиков. СПб.: СПГГИ, 2009. 129 с.
2. Процессы и аппараты цветной металлургии: Учебник / Под ред. С.С. Набойченко. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1997. 648 с.
3. Грейвер Т.Н. Основы методов постановки и решения технологических задач цветной металлургии. М.: ГУП Изд. дом «Руда и металлы», 1999. 148 с.

7.3. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
2. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
3. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>
4. Поисковые системы Yandex, Google, Rambler, Yahoo и др.
5. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»: <https://e.lanbook.com/books>
6. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://elibrary.rsl.ru>
7. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
8. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» www.biblio-online.ru.
9. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»»: <http://rucont.ru>
10. Электронно-библиотечная система «SciTecLibrary»: <http://www.sciteclibrary.ru>

7.4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

1. Расчет и методы исследования гидрометаллургических процессов: Методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс] / Сост. С.Б. Фокина. СПб., 2018. 10 с.
http://ior.spmi.ru/system/files/srs/srs_1544217034.pdf
2. Расчет и методы исследования гидрометаллургических процессов: Методические указания к практическим занятиям [Электронный ресурс] / Сост. С.Б. Фокина. СПб., 2018. 29 с.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий

Специализированная аудитория, используемая при проведении лекционных и практических занятий, оснащена мобильным интерактивным комплексом, позволяющим демонстрировать текстовые и графические материалы.

Мебель: стол Canvaro ASSMANN – 16 шт., компьютерное кресло 7873 A2S – 1 шт., стул 7874 A2S – 30 шт., доска белая Magnetoplan C2000x1000 мм, эмал.покрыт, магн/марк, 12 409 CC – 1 шт., тканевая перегородка с рейлингом под систему навесных аксессуаров Viteco ASSMANN – 1 шт.

Компьютерная техника: мобильный интерактивный комплекс – 1 шт.

Лаборатории оснащены химическим оборудованием, реактивами и лабораторными установками, необходимыми для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Расчет и методы исследований гидрометаллургических процессов».

Мебель лабораторная:

стол 160×80×72 – 1 шт., шкаф 90×40×199 – 1 шт., шкаф для книг – 1 шт., стол для весов большой – 1 шт., стол-мойка с сушилкой – 2 шт., тумба для документов – 2 шт., шкаф для хранения реактивов - 1 шт., стол приборный большой с полкой – 11 шт., табурет – 12 шт., шкаф – тумба – 2 шт., стул «ИСО» – 2 шт., стол компьютерный 90×85×72 – 1 шт., стол компьютерный – 1 шт., стол 150×60×75 – 1 шт.

Оборудование и приборы:

титровальная установка – 1 шт., печь муфельная МИМП-3У – 1 шт., печь открытая МИМП-0,1401 – 1 шт., перемешивающее устройство ПЭ-6410 многоместное с нагревом – 1 шт., перемешивающее устройство ПЭ-8310 со штативом – 1 шт., весы ВЛТ-510-П 1кг с калибровочной гирей сп 500 г. – 1 шт., весы лабораторные ВЛКТ-2К – 1 шт., рН-метр-673 – 1 шт., вакуум-насос – 1 шт., сушильный шкаф – 2 шт., плитка нагревательная – 1 шт., верхнеприводная мешалка – 4 шт., фильтровальная установка – 1 шт., дистиллятор GFL2012 – 1 шт., универсальная лабораторная муфельная печь МИМП 3П – 1 шт., иономер АНИОН 4110 – 3 шт., лабораторный рН-метр HI2215 – 1 шт.; магнитная мешалка с нагревом C-MAG HS4 – 1 шт., весы ВАР-200 – 1 шт., магнитная мешалка без нагрева Mini MR standard IKAMAG – 2 шт., измеритель влажности МОС-120Н – 1 шт., весы аналитические Аух 220 – 1 шт., плакат в рамке под стеклом – 4 шт., часы настенные – 1 шт., лабораторная посуда и химические реактивы, огнетушитель – 1 шт.

Компьютерная техника:

мультимедийный блок – 1 шт.,

монитор ЖК HP 21,5"Тип 1, LV916AA – 1 шт., системный блок HP P3400 MT G630 Тип 4 – 1 шт. (с возможностью подключения к сети «Интернет»), принтер HP Laser Jet P1102 – 1 шт.

8.2. Помещения для самостоятельной работы

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: ГК № 1464-12/10 от 15.12.10 «На поставку компьютерного оборудования», ГК № 959-09/10 от 22.09.10 «На поставку компьютерной техники», ГК № 447-06/11 от 06.06.11 «На поставку оборудования», ГК № 984-12/11 от 14.12.11 «На поставку оборудования», Договор № 1105-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования», Договор № 1106-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования», ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции», Microsoft Open

License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011,
Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012,
Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012
Kaspersky antivirus 6.0.4.142

8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

8.4. Лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 «На поставку компьютерной техники»)

2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007)

3. Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, договор бессрочный Microsoft Open License 47665577 от 10.11.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011)