

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Шевчик Андрей Павлович  
Должность: Врио ректора  
Дата подписания: 23.06.2021 14:49:50  
Уникальный программный ключ:  
e1e4bb0d4ab042490a99c40e31641575580ad1a202c444b0f04635f290db7607



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В. Пекаревский  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 года

**Рабочая программа дисциплины**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

(Начало подготовки – 2017 год)

Специальность

**18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики**

Специализация:

**№ 01 Химическая технология материалов ядерного топливного цикла (ЯТЦ)**

Квалификация

**Инженер**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **инженерно-технологический**

Кафедра **технологии редких элементов и наноматериалов на их основе**

Санкт-Петербург  
2017

Б1.В.ДВ.02.01

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
доц. каф. ТРЭНМ		ст. н. с. М.А. Афонин

## Содержание

1 Перечень планируемых результатов обучения дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	4
2 Место дисциплины в структуре ООП подготовки специалиста.....	4
2.1 Цели освоения дисциплины .....	4
3 Объем дисциплины.....	5
4 Содержание дисциплины.....	5
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий. ....	5
4.2. Занятия лекционного типа .....	7
4.3. Занятия семинарского типа. ....	10
4.4 Самостоятельная работа обучающихся студентов.....	11
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы студентов, обучающихся по дисциплине. ....	12
6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов .....	12
Пример варианта вопросов на зачете .....	12
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины .....	12
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	14
9 Методические рекомендации .....	15
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	16
10.1. Информационные технологии.....	16
10.2. Программное обеспечение.....	16
10.3. Информационные справочные системы.....	16
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	16
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья. ....	16
Приложение №1 к рабочей программе дисциплины .....	18

## 1 Перечень планируемых результатов обучения дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения дисциплине
<b>ПК-1</b>	способностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	<p style="text-align: center;"><b>Знание</b> научных основ гидрометаллургии получения редких и радиоактивных элементов и материалов на их основе,;</p> <p style="text-align: center;"><b>Умение</b> организовывать гидрометаллургический процесс получения индивидуальных редких и радиоактивных элементов в соответствии с требованиями ГОСТов и технических заданий,</p>
<b>ПСК-1.1</b>	способностью к безопасному проведению, контролю, усовершенствованию и разработке технологических процессов производства основных функциональных материалов ядерного топливного цикла, в том числе с использованием радиоактивных материалов	<p style="text-align: center;"><b>Знание</b> математических аспектов функционирования гидрометаллургических процессов; взаимосвязи теоретических основ гидрометаллургии редких и радиоактивных элементов с организацией технологических процессов.</p> <p style="text-align: center;"><b>Умение</b> обосновывать применение методов гидрометаллургии для получения редких элементов, выявлять перспективные малоотходные технологии получения редких элементов и технологии переработки ОЯТ.</p> <p style="text-align: center;"><b>Владение</b> современной компьютерной базой литературных и патентных данных по гидрометаллургии редких элементов.</p>

## 2 Место дисциплины в структуре ООП подготовки специалиста

### 2.1 Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Физико-химические основы гидрометаллургических процессов» относится к дисциплинам по выбору вариативной части дисциплин по выбору (Б1.В.ДВ.02.01) и изучается на 3 курсе в 6 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Общая и неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Физико-химические методы анализа».

Полученные в процессе изучения дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе обучающегося и при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3 Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	3/108
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	58
занятия лекционного типа	<b>36</b>
занятия семинарского типа, в т.ч.	18
семинары, практические занятия	<b>18</b>
лабораторные работы	--
курсовое проектирование (КР или КП)	--
КСР	<b>4</b>
другие виды контактной работы	
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>50</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	--
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>Зачет</b>

### 4 Содержание дисциплины

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1.	Основы процессов выщелачивания. Необходимые сведения из термодинамики растворов электролитов	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
2.	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика простого растворения	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1

3.	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
4.	Основы процессов выщелачивания. Теоретические основы кинетики выщелачивания	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
5.	Основы процессов выщелачивания. Кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
6.	Основы процессов выщелачивания. Хлорирование и фторирование	4	2		4	ПК-1 ПСК-1.1
7	Основы процессов выщелачивания. Переработка рудных концентратов сульфатизацией	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
8	Основы процессов выщелачивания. Вскрытие концентратов редких металлов щелочами и фторсиликатными реагентами	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
9	Основы экстракционных процессов	4	2		5	ПК-1 ПСК-1.1
10	Основы ионообменных процессов	4	2		5	ПК-1 ПСК-1.1
11	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение малорастворимых соединений	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
12	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Основы процессов кристаллизации из растворов	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
13	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов электролизом	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
14	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Осаждение металлов и оксидов из растворов восстановлением водородом и другими газами	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
15	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов цементацией	2	1		3	ПК-1 ПСК-1.1
	<b>ИТОГО</b>	<b>36</b>	<b>18</b>		<b>50</b>	

#### 4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<b>Основы процессов выщелачивания. Необходимые сведения из термодинамики растворов электролитов</b> Энтальпия. Энтропия. Теплоемкость. Энергия Гиббса. Константа равновесия и выход реакции. Основные характеристики раствора. Термодинамические свойства идеальных растворов. Термодинамические свойства реальных растворов. Коэффициенты активности электролитов и их определение. Расчет коэффициентов активности электролитов	2	Слайд-презентация
2	<b>Основы процессов выщелачивания. Термодинамика простого растворения.</b> Характеристика воды как растворителя. Энергия гидратации ионов. Растворимость солей.	2	Слайд-презентация
3	<b>Основы процессов выщелачивания. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями.</b> Связь между расходом реагентов и константой равновесия. Методы определения константы равновесия. Диаграммы потенциал — рН (диаграммы Пурбэ). Термодинамика некоторых промышленных процессов выщелачивания	2	Слайд-презентация
4	<b>Основы процессов выщелачивания. Теоретические основы кинетики выщелачивания.</b> Общее уравнение потока выщелачивания. Особенности процесса выщелачивания с участием газообразного реагента. Закономерности внешней диффузии. Закономерности внутренней диффузии. Диффузионная кинетика с участием двух (или более) растворенных реагентов. Закономерности протекания процесса в кинетической области. Влияние условий выщелачивания на лимитирующую стадию процесса. Методика исследования кинетики выщелачивания. Кинетика выщелачивания дисперсных твердых веществ. Роль геометрии зерна. Влияние дефектов кристаллической решетки на равновесие и кинетику реакций твердое — жидкость. Использование кинетических закономерностей для расчета аппаратов для выщелачивания. Интенсификация процессов выщелачивания.	2	Слайд-презентация
5	<b>Основы процессов выщелачивания. Кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов.</b> Выщелачивание металлов. Выщелачивание оксидов. Выщелачивание сульфидных минералов в присутствии окислителей. Бактериальное выщелачивание сульфидов.	2	Слайд-презентация
6	<b>Основы процессов выщелачивания. Хлорирование и фторирование.</b> Физико-химические основы хлорирования. Различные способы хлорирования. Шахтные электропечи (ШЭП). Аппараты кипящего слоя. Хлорирование в	4	Слайд-презентация

	расплаве. Селективная конденсация и очистка хлоридов. Хлорирование лопарита. Очистка тетрахлорида титана. Разделение пентахлоридов ниобия и тантала. Хлорирование цирконийсодержащих концентратов. Очистка хлоридов циркония и гафния их разделение. Вскрытие других концентратов и соединений редких металлов. Фторирование		
7	<b>Основы процессов выщелачивания. Переработка рудных концентратов сульфатизацией.</b> Сульфатизация серной кислотой. Спекание с солями серной кислоты. Выщелачивание сульфатизированного спека. Выделение и очистка полупродукта. Технологические схемы вскрытия концентратов. Вскрытие сподумена. Нагревание сподумена с концентрированной серной кислотой. Спекание сподумена с сульфатом калия. Сернокислотное вскрытие берилла. Сернокислотное вскрытие монацита. Дробное осаждение фосфатов тория и РЗЭ. Осаждение безводного сульфата тория.	2	Слайд-презентация
8	<b>Основы процессов выщелачивания. Вскрытие концентратов редких металлов щелочами и фторсиликатными реагентами.</b> Вскрытие щелочью. Вскрытие монацита. Вскрытие циркона. Вскрытие тантало-ниобиевых концентратов. Вскрытие едким натром. Вскрытие едким кали. Вскрытие феррониобия сплавлением с едким кали. Спекание с известью. Вскрытие литиевых руд. Спекание с фторсиликатными реагентами. Вскрытие берилла спеканием с $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ . Вскрытие циркона спеканием с $\text{K}_2\text{SiF}_6$ .	2	Слайд-презентация
9	<b>Основы экстракционных процессов.</b> Общие понятия и терминология процессов экстракции. Экстракция нейтральными экстрагентами. Анионообменная экстракция. Катионообменная экстракция. Экстракционные равновесия. Синергетный эффект при использовании двух экстрагентов. Методы исследования состава экстрагируемых соединений. Диаграммы распределения и разделения. Кинетика процессов экстракции. Аппаратурное оформление процессов экстракции. Использование жидких экстрагентов, находящихся в порах полимерного носителя. Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Очистка бериллия. Разделение и очистка РЗЭ методом экстракции. Разделение и очистка циркония и гафния методом экстракции. Разделение и очистка роданидов циркония и гафния методом экстракции. Разделение и очистка нитратов циркония и гафния методом экстракции. Разделение и очистка анионных комплексов циркония и гафния методом экстракции. Разделение и очистка ниобия и тантала методом экстракции. Расчет числа теоретических ступеней графическим и аналитическим методом. Экстракционное оборудование, применяемое в технологии редких и радиоактивных металлов.	4	Слайд-презентация
10	<b>Основы ионообменных процессов.</b> Общие сведения о ионообменных процессах. Состав и синтез ионообменных смол. Основные характеристики ионообменных смол. Рав-	4	Слайд-презентация



	<p>новесие ионного обмена. Ионный обмен как мембранное равновесие. Селективность ионного обмена. Кинетика ионного обмена. Ионный обмен в колоннах. Ионный обмен из пульп. Ионообменная хроматография. Ионитовые мембраны, их использование в электродиализе. Ионообменное оборудование. Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом.</p> <p>Разделение и очистка редкоземельных металлов цериевой подгруппы ионообменным способом. Разделение и очистка лантана ионообменным способом. Разделение и очистка концентратов Sm—Eu ионообменным способом. Разделение и очистка редкоземельных металлов иттриевой подгруппы ионообменным способом.</p> <p>Разделение и очистка циркония и гафния ионообменным способом. Выделение цезия-137 ионообменным способом. Выделение стронция-90 ионообменным способом.</p>		
11	<p><b>Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение малорастворимых соединений.</b> Факторы, влияющие на растворимость солей. Условия осаждения гидроксидов и основных солей. Осаждение сульфидов металлов. Разделение металлов осаждением труднорастворимых соединений. Закономерности соосаждения примесей. Старение осадков.</p>	2	Слайд-презентация
12	<p><b>Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Основы процессов кристаллизации из растворов.</b> Фазовые равновесия кристаллов с раствором для двух- и трехкомпонентных систем с участием воды. Растворимость кристаллов разной крупности. Образование центров кристаллизации. Рост кристаллов. Кинетика массовой кристаллизации. Использование кристаллизации для очистки солей от примесей и разделения близких по свойствам элементов.</p>	2	Слайд-презентация
13	<p><b>Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов электролизом.</b> Термодинамика электродных процессов. Скорость процессов разряда и ионизации. Электродные потенциалы. Электрохимические системы с самопроизвольным протеканием электрохимических процессов. Механизм электродных процессов и электродная поляризация. Поляризационные кривые. Параллельно протекающие электродные процессы и выход по току. Анодная пассивация. Структура катодных осадков. Использование электролиза для выделения металлов из раствора. Электролитическое получение редких металлов. Электролитическое получение лития.</p> <p>Электролитическое получение тугоплавких металлов.</p> <p>Электролитическое получение бериллия. Электролитическое получение титана. Электролитическое получение циркония и гафния. Электролитическое получение ниобия и тантала. Электролитическое получение редкоземельных металлов.</p>	2	Слайд-презентация

14	<b>Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Осаждение металлов и оксидов из растворов восстановлением водородом и другими газами.</b> Термодинамика восстановления водородом. Механизм и кинетика восстановления водородом. Выделение малорастворимых оксидов низшей валентности. Восстановление другими газами.	2	Слайд-презентация
15	<b>Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов цементацией.</b> Термодинамика процесса цементации. Механизм и кинетика цементации. Побочные процессы при цементации. Аппаратура для проведения цементации. Цементация на амальгамах.	2	Слайд-презентация

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раз-дела дисциплины	Наименование	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Основы процессов выщелачивания. Необходимые сведения из термодинамики растворов электролитов	1	
2	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика простого растворения	1	
3	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями	1	
4	Основы процессов выщелачивания. Теоретические основы кинетики выщелачивания	1	
5	Основы процессов выщелачивания. Кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов	1	
6	Основы процессов выщелачивания. Хлорирование и фторирование	2	
7	Основы процессов выщелачивания. Переработка рудных концентратов сульфатизацией	1	Слайд - презентация
8	Основы процессов выщелачивания. Вскрытие концентратов редких металлов щелочами и фторсиликатными реагентами	1	
9	Основы экстракционных процессов	2	
10	Основы ионообменных процессов	2	Слайд - презентация
11	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение малорастворимых соединений	1	
12	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Основы процессов кристаллизации из растворов	1	

13	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов электролизом	1	Слайд - презентация
14	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Осаждение металлов и оксидов из растворов восстановлением водородом и другими газами	1	
15	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов цементацией	1	
Итого		18	

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

Не предусмотрены

#### 4.4 Самостоятельная работа обучающихся студентов

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Энтальпия. Энтропия. Теплоемкость. Энергия Гиббса.	3	Устный опрос №1
2	Энергия гидратации ионов	3	
3	Методы определения константы равновесия.	3	
4	Интенсификация процессов выщелачивания.	3	
5	Бактериальное выщелачивание сульфидов.	3	
6	Шахтные электропечи. Аппараты кипящего слоя.	4	Устный опрос №2
7	Дробное осаждение фосфатов тория и РЗЭ	3	
8	Вскрытие берилла спеканием с $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ . Вскрытие циркона спеканием с $\text{K}_2\text{SiF}_6$ .	3	
9	Использование жидких экстрагентов, находящихся в порах полимерного носителя.	5	Устный опрос №3
10	Выделение цезия-137 ионообменным способом. Выделение стронция-90 ионообменным способом.	5	
11	Старение осадков.	3	Устный опрос №4
12	Образование центров кристаллизации.	3	
13	Использование электролиза для выделения металлов из водных растворов и расплавов солей.	3	Устный опрос №5
14	Физико-химические свойства соединений водорода с редкими металлами	3	
15	Металлы, используемые в процессе цементации при получении редких металлов.	3	
ИТОГО:СРС		50	

Контроль освоения компетенций проводится в форме устных опросов.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы студентов, обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>.

### **6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена и зачета.

К сдаче экзамена, зачета допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций, и комплектуются вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и комплексная задача (для проверки умений и навыков).

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня вопросов и тестовое задание, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин. Фонд оценочных средств представлен в приложении 1.

### **Пример варианта вопросов на зачете**

#### **Вариант № 1**

1. Дать определение, что такое экстрагент, разбавитель, экстракт и рафинат.
2. Рассчитать растворимость оксалата церия  $\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$  в 0,01 М растворе соляной кислоты

### **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **а) основная литература:**

7.1 Мурашкин, Ю.В. Расчет материальных балансов и оборудования для выщелачивания руд и концентратов: учебное пособие/ Ю.В. Мурашкин, А.А. Блохин.– СПб.: СПбГТИ(ТУ). 2013.-51 с. (ЭБ)

7.2 Блохин, А.А. Технология молибдена и вольфрама : текст лекций / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин ; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии ред. элементов и наноматериалов на их основе. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2013. - 93 с.

7.3 Мурашкин, Ю.В. Расчет материальных балансов и основных параметров ионообменной установки по извлечению редких элементов из водных растворов. Аппаратурное оформление: учебное пособие/ Ю.В. Мурашкин, А.А. Блохин. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.-68 с. (Э Б)

7.4 Российское редкоземельное сырьё и основные способы его переработки: учебное пособие / В.А. Кескинов, А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, А.В. Нечаев, М.А. Афонин. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014. – 68 с. (ЭБ).

7.5 Химия и технология скандия: учебное пособие/ А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, В.А. Кескинов, М.А. Афонин, А.В. Нечаев. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014. – 52 с. (ЭБ).

**б) дополнительная литература:**

7.6 Пяртман, А.К. Процессы расслоения в трехкомпонентной жидкой системе / А.К. Пяртман.- СПб.: – СПбГТИ(ТУ), 2012. – 20 с.

7.7 Пяртман, А.К. Определение изотерм экстракции нитрата уранила(VI) при использовании полимерных композиционных материалов с три-н.-бутилфосфатом / А.К. Пяртман.- СПб.: – СПбГТИ(ТУ), 2012. – 21 с.

7.8 Блохин, А.А. Кристаллизация из растворов как метод очистки неорганических веществ: учебное пособие/ А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, А.А. Копырин. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2009. - 26 с. (ЭБ).

7.9 Копырин А.А., Карелин А.И., Карелин В.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива. Москва: Атомэнергоиздат, 2006. 576 с.

**в) вспомогательная литература:**

7.10 Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. 4-е изд. Москва: Интермет Инжиниринг, 2003. 464 с.

7.11 Ягодин, Г.А. Технология редких металлов в атомной технике / Г.А. Ягодин, О.А. Синегрибова, А.М. Чекмарев.- М. Атомиздат. 1974. 344 с.

7.12 Матусевич, Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности М.: Химия, 1968 г. 304 с.

7.13 Вассерман, И. М. Химическое осаждение из растворов. — Л.: Химия, 1980—208 с.

7.14 Стрикленд-Констэбл, Р. Ф. Кинетика и механизм кристаллизации Л.: Недра, 1971. 412 с.

7.15 Ягодин Г.А. и др. Основы жидкостной экстракции / под ред. Ягодина Г.А. Москва: Химия, 1981. 400 с

7.16 Копырин, А.А. Жидкостная экстракция редкоземельных элементов: учебное пособие/ А.А. Копырин, М.А. Афонин, А.А. Фомичев, М. С. Бахарев. - СПбГТИ(ТУ) .- СПб.: 2007,- 86 с  
Золотов Ю.А. и др. Гидрометаллургические процессы переработки нетрадиционного сырья редких и цветных металлов. Москва: ФОРУМ, 2010. 180 с.

7.17 Золотов Ю.А., Кузьмин Н.М. Концентрирование микроэлементов. Москва: Химия, 1982. 288 с.

7.18 Золотов Ю.А., Иофа Б. З., Чучалин Л.К. Экстракция галогенидных комплексов металлов. Москва: Наука, 1973. 379 с.

7.19 Николаев А.В. и др. Экстракция неорганических веществ (Диаграммы расслоения, распределения, высаливания и разделения) / под ред. А. В. Николаева. Новосибирск: Наука, 1970. 339 с.

7.20 Коровин С.С. и др. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. В 3-х книгах. Книга I / под ред. Коровин С.С. Москва: МИСИС, 1996. 376 с.

7.21 Тарасов В.В., Ягодин Г.А. Кинетика экстракции // «Неорганическая химия» (Итоги науки и техники). Москва: ВИНТИ, 1974. Т. 4. С. 117.

7.22 Михайличенко А.И., Михлин Е.Б., Патрикеев Ю.Б. Редкоземельные металлы. Москва: Металлургия, 1987. 232 с.

7.23 Михайличенко, Редкоземельные металлы / А.И Михайличенко, Е.Б. Михлин, Ю.Б. Патрикеев.- М. Металлургия. 1987.

- 7.24 Цирконий и гафний. / Г.С. Скиба, В.А. Маслобоев, Н.Б. Воскобойников, А.М. Калинин. - М.: Наука, 2002. 272 с.
- 7.25 Николаев, А.И. Экстракция ниобия и тантала / А.И. Николаев, С.Г. Майоров.- Апатиты. Кольский научный центр. 1995. 210 с.
- 7.26 Практикум по гидрометаллургии : Учебное пособие для вузов по спец. "Металлургия цветных металлов" / С. С. Набойченко, В. Г. Лобанов. - М. : Metallurgia, 1992. - 335 с.
- 7.27 Основы экстракционных и ионообменных процессов гидрометаллургии : Учебное пособие для вузов по спец. "Металлургия цветных металлов" и "Химическая технология редких и рассеянных элементов" / Г. М. Вольдман. - М. : Metallurgia, 1982. - 375 с.
- 7.28 Химическая переработка минеральных концентратов Кольского полуострова / С. Г. Федоров, А. И. Николаев, Ю. Е. Брыляков и др ; ОАО "Апатит", Кол. науч. центр РАН, Ин-т химии и технологии ред. элементов и минер. сырья. - Апатиты : [б. и.], 2003. - 196 с.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

- 8.1 ЭБ «Библиотех»
- 8.2 <http://e.lanbook.com> – сайт Электронно-библиотечной системы "Лань"
- 8.3 <http://lib.wwer.ru> - электронная библиотека по атомной энергетике
- 8.4 <http://www1.fips.ru> - сайт Федерального института промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Режим доступа - полный доступ со всех зарегистрированных компьютеров института.
- 8.5 <http://www.rosatom.ru> - сайт государственной корпорации по атомной энергии "Росатом"
- 8.6 <http://rosrao.ru> - сайт ФГУП "Предприятие по обращению с радиоактивными отходами "РосРАО". Режим доступа - полнотекстовой доступ со всех зарегистрированных компьютеров института.
- 8.7 <http://noga.ru> - сайт ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами». Режим доступа - полнотекстовой доступ со всех зарегистрированных компьютеров института.
- 8.8 <http://ep.espacenet.com> - сайт Европейского патентного ведомства.
- 8.9 <http://www.icnirp.de> - сайт Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения. Режим доступа - полнотекстовой доступ со всех зарегистрированных компьютеров института.
- 8.10 <http://www.cnsheb.ru/AKDiL/0048/default.shtm> - химическая энциклопедия: в 5 т. Электронная версия для научных работников, преподавателей вузов, аспирантов и студентов. Содержит около 5000 терминов, охватывающих все разделы химии, а также пограничные области - биохимию, геохимию и другие.
- 8.11 <http://www.elibrary.ru> - eLIBRARY - научная электронная библиотека периодических изданий. Крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 13 млн научных статей и публикаций.
- 8.12 <http://www.diss.rsl.ru> - электронная библиотека диссертаций РГБ. Диссертации и авторефераты из фонда Российской государственной библиотеки (РГБ) по всем отраслям знания. Глубина полнотекстового доступа — с 1998 г.
- 8.13 <http://www.viniti.ru> - база данных всероссийского института научно-технической информации. Рефераты и библиографические описания статей из периодиче-

ских изданий, книг, материалов конференций, патентов, депонированных научных работ по проблемам физико-математических, естественных и технических наук. Режим доступа - полнотекстовой доступ со всех зарегистрированных компьютеров института - с 1981 г.

8.14 <http://www.chemport.ru> - химический портал. Крупнейший и самый посещаемый химический ресурс Рунета.

8.15 <http://www.biblioclub.ru> - университетская библиотека онлайн. Электронно-библиотечная система учебных материалов для вузов.

8.16 World Nuclear Association: WNA Report: The Global Nuclear Fuel Market: Supply and Demand 2005 – 2030. <http://www.world-nuclear.org/wgs/report/>.

8.17 <http://www.sciencedirect.com> - ScienceDirect является непревзойденным Интернет-ресурсом научно-технической информации и содержит 25% мирового рынка научных публикаций, обеспечивает всесторонний охват литературы из всех областей науки, предоставляя доступ к более чем 2500 наименований журналов и более 11 000 книг из коллекции издательства «Эльзевир», а также огромному числу журналов, опубликованных престижными научными сообществами. Помимо этого, с помощью системы CrossRef можно перейти по ссылкам к содержанию работ в области науки, техники и медицины, опубликованных более 1000 других издательств.

8.18 <http://www.chemweb.com> - крупнейший онлайн-химический портал в мире. С 2003 года владелец - компания Elsevier Ltd. Содержит информацию по исследованиям в области химии и химической промышленности. Тематика: аналитическая химия, биохимия, катализ, электрохимия, топливо, неорганическая химия, химические материалы

8.19 <http://www.pubs.acs.org> - American Chemical Society (ACS) Научные и научно-практические журналы по химии Американского химического общества на английском языке. Ресурс содержит журналы по основным разделам химии и смежным областям знаний, включая химию широкого профиля, медицинскую химию, физическую химию, органическую химию, а также биохимию, биотехнологию и т.д. Полные тексты в формате html и PDF. Глубина полнотекстового доступа - с 1996 года. Коллекции ретроспективных выпусков с 1879 по 1995 гг.

8.20 <http://www.doaj.org> - DOAJ : Директория научных журналов открытого доступа. Тематика: биология, энвайронментология, химия, сельское хозяйство и пищевые технологии, история и археология, юриспруденция и политика, философия и религия, наука в целом, искусство и архитектура, бизнес и экономика, науки о земле, технические и прикладные науки, здравоохранение, языкознание и литература, математика и др. Коллекция по химии содержит около 100 журналов. Глубина архива варьируется от издания к изданию. Поиск по названию журнала. Полные тексты статей в HTML- и PDF- форматах.

## 9 Методические рекомендации

Одной из задач преподавателей, ведущих занятия по дисциплине «Физико-химические основы гидрометаллургических процессов» является выработка у студентов осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для дальнейшей работы их технологами, инженерами-исследователями. Методическая модель преподавания дисциплины основана на применении активных методов обучения. Принципами организации учебного процесса являются:

- выбор методов преподавания в зависимости от различных факторов, влияющих на организацию учебного процесса;
- объединение нескольких методов в единый преподавательский модуль в целях повышения эффективности процесса обучения;
- активное участие слушателей в учебном процессе;

- проведение практических занятий, определяющих приобретение навыков решения проблемы;

- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала к реальным практическим ситуациям.

Все виды занятий по дисциплине «Физико-химические основы гидрометаллургических процессов» преподаватели должны проводить в соответствии с требованиями следующих СТП:

- СТП СПбГТИ 040-02. КС УКВД. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

- СТП СПбГТИ 018-15. КС УКВД. Виды учебных занятий. Практические и семинарские занятия. Общие требования к организации и проведению.

- СТП СПбГТИ 048-2003. КС УКВД. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

- СТП СПбГТИ 016-15. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Положение о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся (Приказ ректора от 12.12.2014 № 463).

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является: плановость в организации учебной работы; серьезное отношение к изучению материала; постоянный самоконтроль.

Итоговый контроль: **зачет (6 семестр).**

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;

взаимодействие с обучающимися студентами посредством электронной почты.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Операционные системы Windows, стандартные офисные программы (Microsoft Office).

### **10.3. Информационные справочные системы.**

Информационно-поисковая система «РОСАТОМ»: <http://www.rosatom.ru/sitemap/>

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для проведения лекционных и практических занятий используется учебная аудитория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения лекционных и практических занятий используются видеоматериалы



и учебные фильмы.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду СПбГТИ(ТУ).

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащены специализированной мебелью и техническими средствами.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014 г.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Физико-химические основы гидрометаллургических процессов»**

**1 Перечень компетенций и этапов их формирования.**

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ПК-1</b>	способностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	промежуточный
<b>ПСК-1.1</b>	способностью к безопасному проведению, контролю, усовершенствованию и разработке технологических процессов производства основных функциональных материалов ядерного топливного цикла, в том числе с использованием радиоактивных материалов	промежуточный

**2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.**

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
1	<b>Знает</b> термодинамику растворов электролитов, основные методы выщелачивания; <b>Владеет</b> терминологией термодинамики водных растворов электролитов;	Правильные ответы на вопросы №1-10 к зачету	<b>ПК-1</b> <b>ПСК-1.1</b>
2	<b>Знает</b> термодинамику растворов электролитов, основные методы выщелачивания; <b>Владеет</b> терминологией термодинамики простого растворения;	Правильные ответы на вопросы №11-13 к зачету	<b>ПК-1</b> <b>ПСК-1.1</b>
3	<b>Знает</b> термодинамику растворов электролитов, основные методы выщелачивания; <b>Владеет</b> терминологией процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями;	Правильные ответы на вопросы №14-17 к зачету	<b>ПК-1</b> <b>ПСК-1.1</b>

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
4	<b>Знает</b> теоретические основы кинетики выщелачивания;	Правильные ответы на вопросы №18-29 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
5	<b>Знает</b> теоретические основы кинетики выщелачивания, кинетику и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов;	Правильные ответы на вопросы №30-33 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
6	<b>Знает</b> термодинамику растворов электролитов, основные методы выщелачивания, методы хлорирования и фторирования;	Правильные ответы на вопросы №34-46 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
7	<b>Знает</b> основные методы выщелачивания, основные методы сульфатизации;	Правильные ответы на вопросы №47-58 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
8	<b>Знает</b> основные методы выщелачивания, основные методы вскрытия концентратов редких металлов щелочами и фторосиликатными реагентами;	Правильные ответы на вопросы №59-71 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
9	<b>Знает</b> научные основы экстракционной технологии получения редких и радиоактивных элементов и материалов на их основе;	Правильные ответы на вопросы №72-93 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
10	<b>Знает</b> научные основы ионообменной технологии получения редких и радиоактивных элементов и материалов на их основе;	Правильные ответы на вопросы №94-115 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
11	<b>Знает</b> основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. <b>Умеет</b> обосновывать применение метода осаждения малорастворимых соединений для получения редких элементов.	Правильные ответы на вопросы №116-120 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
12	<b>Знать</b> основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. <b>Умеет</b> обосновывать применение метода кристаллизации для получения редких элементов.	Правильные ответы на вопросы №121-126 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>
13	<b>Знает</b> основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. <b>Умеет</b> обосновывать применение метода электролиза для получения редких элементов.	Правильные ответы на вопросы №127-144 к зачету	<b>ПК-1 ПСК-1.1</b>

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
14	<b>Знает</b> основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. <b>Умеет</b> обосновывать применение метода восстановления водородом и газами для получения редких элементов.	Правильные ответы на вопросы №145-148 к зачету	<b>ПК-1</b> <b>ПСК-1.1</b>
15	<b>Знает</b> основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. <b>Умеет</b> обосновывать применение метода цементации для получения редких элементов.	Правильные ответы на вопросы №149-153 к зачету	<b>ПК-1</b> <b>ПСК-1.1</b>

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):  
промежуточная аттестация проводится в форме зачета, результат оценивания – «зачтено» или «не зачтено»

### **3 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации**

#### **3.1 Типовые контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации в форме зачета.**

Раздел 1. Основы процессов выщелачивания. Необходимые сведения из термодинамики растворов электролитов

1. Энтальпия
2. Энтропия
3. Теплоемкость
4. Энергия Гиббса
5. Константа равновесия и выход реакции
6. Основные характеристики раствора
7. Термодинамические свойства идеальных растворов
8. Термодинамические свойства реальных растворов
9. Коэффициенты активности электролитов и их определение
10. Расчет коэффициентов активности электролитов

Раздел 2. Основы процессов выщелачивания. Термодинамика простого растворения

11. Характеристика воды как растворителя
12. Энергия гидратации ионов
13. Растворимость солей

Раздел 3. Основы процессов выщелачивания. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями

14. Связь между расходом реагентов и константой равновесия
15. Методы определения константы равновесия

16. Диаграммы потенциал — рН (диаграммы Пурбэ)
17. Термодинамика некоторых промышленных процессов выщелачивания

#### Раздел 4. Основы процессов выщелачивания. Теоретические основы кинетики выщелачивания

18. Общее уравнение потока выщелачивания
19. Особенности процесса выщелачивания с участием газообразного реагента
20. Закономерности внешней диффузии
21. Закономерности внутренней диффузии
22. Диффузионная кинетика с участием двух (или более) растворенных реагентов
23. Закономерности протекания процесса в кинетической области
24. Влияние условий выщелачивания на лимитирующую стадию процесса
25. Методика исследования кинетики выщелачивания
26. Кинетика выщелачивания дисперсных твердых веществ. Роль геометрии зерна
27. Влияние дефектов кристаллической решетки на равновесие и кинетику реакций твердое — жидкость
28. Использование кинетических закономерностей для расчета аппаратов для выщелачивания
29. Интенсификация процессов выщелачивания

#### Раздел 5. Основы процессов выщелачивания. Кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов

30. Выщелачивание металлов
31. Выщелачивание оксидов
32. Выщелачивание сульфидных минералов в присутствии окислителей
33. Бактериальное выщелачивание сульфидов

#### Раздел 6. Основы процессов выщелачивания. Хлорирование и фторирование

34. Физико-химические основы хлорирования
35. Различные способы хлорирования
36. Шахтные электропечи (ШЭП)
37. Аппараты кипящего слоя
38. Хлорирование в расплаве
39. Селективная конденсация и очистка хлоридов
40. Хлорирование лопарита
41. Очистка тетрахлорида титана
42. Разделение пентахлоридов ниобия и тантала
43. Хлорирование цирконийсодержащих концентратов
44. Очистка хлоридов циркония и гафния и их разделение
45. Вскрытие других концентратов и соединений редких металлов
46. Фторирование

#### Раздел 7. Основы процессов выщелачивания. Переработка рудных концентратов сульфатизацией

47. Сульфатизация серной кислотой
48. Спекание с солями серной кислоты
49. Выщелачивание сульфатизированного спека

- 50.Выделение и очистка полупродукта
- 51.Технологические схемы вскрытия концентратов
- 52.Вскрытие сподумена
- 53.Нагревание сподумена с концентрированной серной кислотой
- 54.Спекание сподумена с сульфатом калия
- 55.Сернокислотное вскрытие берилла
- 56.Сернокислотное вскрытие монацита
- 57.Дробное осаждение фосфатов тория и РЗЭ
- 58.Осаждение безводного сульфата тория

Раздел 8. Основы процессов выщелачивания. Вскрытие концентратов редких металлов щелочами и фторсиликатными реагентами

- 59.Вскрытие щелочью
- 60.Вскрытие монацита
- 61.Вскрытие циркона
- 62.Вскрытие тантало-ниобиевых концентратов
- 63.Вскрытие едким натром
- 64.Вскрытие едким кали
- 65.Вскрытие феррониобия сплавлением с едким кали
- 66.Спекание с известью
- 67.Вскрытие литиевых руд
- 68.Вскрытие циркона
- 69.Спекание с фторсиликатными реагентами
- 70.Вскрытие берилла спеканием с  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$
- 71.Вскрытие циркона спеканием с  $\text{K}_2\text{SiF}_6$

Раздел 9. Основы экстракционных процессов

- 72.Общие понятия и терминология процессов экстракции
- 73.Экстракция нейтральными экстрагентами
- 74.Анионообменная экстракция
- 75.Катионообменная экстракция
- 76.Экстракционные равновесия
- 77.Синергетный эффект при использовании двух экстрагентов
- 78.Методы исследования состава экстрагируемых соединений
- 79.Диаграммы распределения и разделения
- 80.Кинетика процессов экстракции
- 81.Аппаратурное оформление процессов экстракции
- 82.Использование жидких экстрагентов, находящихся в порах полимерного носителя
- 83.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Очистка бериллия
- 84.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Разделение РЗЭ
- 85.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Разделение циркония и гафния
- 86.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Разделение роданидов циркония и гафния
- 87.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Разделение нитратов циркония и гафния
- 88.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Разделение анионных комплексов циркония и гафния

- 89.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Разделение ниобия и тантала
- 90.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Расчет числа теоретических ступеней
- 91.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Графический метод
- 92.Разделение и очистка редких металлов методом экстракции. Аналитический метод
- 93.Экстракционное оборудование

#### Раздел 10. Основы ионообменных процессов

- 94.Общие сведения о ионообменных процессах
- 95.Состав и синтез ионообменных смол
- 96.Основные характеристики ионообменных смол
- 97.Равновесие ионного обмена
- 98.Ионный обмен как мембранное равновесие
- 99.Селективность ионного обмена
- 100.Кинетика ионного обмена
- 101.Ионный обмен в колоннах
- 102.Ионный обмен из пульп
- 103.Ионообменная хроматография
- 104.Ионитовые мембраны, их использование в электродиализе
- 105.Ионообменное оборудование
- 106.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом.
- 107.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Редкоземельные металлы
- 108.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Цериевая группа
- 109.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Отделение церия
- 110.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Выделение лантана
- 111.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Выделение концентратов Sm—Eu
- 112.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Иттриевая группа
- 113.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Разделение циркония и гафния
- 114.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Выделение цезия-137
- 115.Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Выделение стронция-90

#### Раздел 11. Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение малорастворимых соединений

- 116.Факторы, влияющие на растворимость солей
- 117.Условия осаждения гидроксидов и основных солей
- 118.Осаждение сульфидов металлов
- 119.Разделение металлов осаждением труднорастворимых соединений. Закономерности соосаждения примесей
- 120.Старение осадков

#### Раздел 12. Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Основы процессов кристаллизации из растворов

121. Фазовые равновесия кристаллов с раствором для двух- и трехкомпонентных систем с участием воды
122. Растворимость кристаллов разной крупности
123. Образование центров кристаллизации
124. Рост кристаллов
125. Кинетика массовой кристаллизации
126. Использование кристаллизации для очистки солей от примесей и разделения близких по свойствам элементов

### Раздел 13. Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов электролизом

127. Термодинамика электродных процессов
128. Скорость процессов разряда и ионизации
129. Электродные потенциалы
130. Электрохимические системы с самопроизвольным протеканием электрохимических процессов
131. Механизм электродных процессов и электродная поляризация
132. Поляризационные кривые
133. Параллельно протекающие электродные процессы и выход по току
134. Анодная пассивация
135. Структура катодных осадков
136. Использование электролиза для выделения металлов из раствора
137. Электролитическое получение редких металлов.
138. Электролитическое получение редких металлов. Литий
139. Электролитическое получение редких металлов. Тугоплавкие металлы
140. Электролитическое получение редких металлов. Бериллий
141. Электролитическое получение редких металлов. Титан
142. Электролитическое получение редких металлов. Цирконий и гафний
143. Электролитическое получение редких металлов. Ниобий и тантал
144. Электролитическое получение редких металлов. Редкоземельные металлы

### Раздел 14. Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Осаждение металлов и оксидов из растворов восстановлением водородом и другими газами

145. Термодинамика восстановления водородом
146. Механизм и кинетика восстановления водородом
147. Выделение малорастворимых оксидов низшей валентности
148. Восстановление другими газами

### Раздел 15. Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов цементацией

149. Термодинамика процесса цементации
150. Механизм и кинетика цементации
151. Побочные процессы при цементации
152. Аппаратура для проведения цементации
153. Цементация на амальгамах



### 3.1 Типовые контрольные задачи для проведения промежуточной аттестации в форме зачета.

1. Оценить термодинамически необходимый избыток фторида натрия при автоклавном разложении шеелита по реакции  $\text{CaWO}_4(\text{ТВ}) + 2\text{F}^-(\text{раствор}) \leftrightarrow \text{WO}_4(\text{раствор}) + \text{CaF}_2(\text{ТВ})$ .
2. Оценить термодинамически необходимый избыток фосфата натрия при разложении шеелита по реакции  $\text{CaWO}_4(\text{ТВ}) + 2\text{Na}_3\text{PO}_4(\text{раствор}) \leftrightarrow 3\text{Na}_2\text{WO}_4(\text{раствор}) + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{ТВ})$ .
3. Рассчитать и построить в координатах  $\text{Ln } j = f(1/T)$  зависимость удельной скорости процесса,  $\text{моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , от температуры в интервале 20-100 °С при постоянной концентрации реагента 1 моль/л. Определить кажущуюся энергию активации процесса в целом и лимитирующие стадии вблизи температур 20, 60 и 100 °С. Объяснить полученные результаты
4. Рассчитать и построить в логарифмических координатах зависимость удельной скорости выщелачивания,  $\text{моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , от концентрации реагента в интервале  $1 \cdot 10^{-3} - 10$  моль/л. Определить кажущийся порядок процесса по реагенту в середине и на краях интервала, объяснить характер зависимости
5. Объяснить, почему хлорное железо ( $\text{FeCl}_3$ ) в зависимости от избыточной концентрации соляной кислоты в растворе можно экстрагировать катионообменными, нейтральными и анионообменными экстрагентами
6. Определить число ионов  $\text{NO}_3^-$ , участвующих в образовании экстрагируемого соединения. Определить коэффициент, с которым входит экстрагент в уравнение экстракции (сольватное число)
7. Как изменится содержание урана в органической фазе, если равновесную концентрацию его в водном растворе увеличить в 2 раза и одновременно во столько же раз уменьшить концентрацию экстрагента?
8. Как влияют на коэффициент взаимодиффузии ионов в ионите основные параметры: радиусы обменивающихся ионов; величина их зарядов; величина заряда фиксированных ионов и их концентрация; %ДВБ в смоле со стирол-дивинилбензольной матрицей; температура; концентрация внешнего раствора
9. В каком случае более вероятен режим гелевой кинетики: при радиусе зерен ионита 0,1 или 1 мм; при концентрации внешнего раствора 0,0001 или 0,01 моль/л
10. Определить лимитирующую стадию процесса и кинетические параметры: коэффициент диффузии (в случае гелевой кинетики) или константу скорости (в случае пленочной кинетики)
11. Определить по найденной зависимости полную динамическую обменную емкость (ПДООЕ)
12. Какой из хроматографических методов разделения ионов пригоден для использования в аналитической химии
13. Рассчитать растворимость оксалата церия  $\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$  в 0,01 М растворе соляной кислоты
14. Можно ли выделить и до какой степени примесь фосфора при добавлении в раствор стехиометрического количества  $\text{CaCl}_2$  (для осаждения  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  без существенного осаждения вольфрамата кальция  
Рассчитайте константу скорости процесса кристаллизации  $K_i$ , описываемого кинетическим уравнением первого порядка
15. Рассчитать, до какой остаточной концентрации можно выделить олово из раствора  $\text{SnSO}_4$  восстановлением водородом под давлением 10 атм при  $\text{pH}=3$  и  $t = 25^\circ\text{C}$ .
16. Рассчитать изменение энергии Гиббса при  $\text{pH} = 1$  и  $\text{pH} = -0,5$ , если соотношение концентраций  $\text{Ce}^{3+} : \text{Ce}^{4+}$  в конце восстановления равно 100,  $t = 50^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{H}_2} = 5$  атм
17. Будет ли цементироваться никель на цинке из раствора, содержащего 0,01 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 1 моль/л  $\text{NH}_3$

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями Положения о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся (Приказ ректора от 12.12.2014 № 463) и СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.