

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович
Должность: Проректор по учебной и методической работе
Дата подписания: 15.11.2023 13:37:37
Уникальный программный ключ:
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ 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
«31» мая 2021 года

Рабочая программа дисциплины

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

(Начало подготовки – 2021 год)

Специальность

18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Специализация:

№ 07 Химическая технология редких и редкоземельных металлов

Квалификация

Инженер

Форма обучения

Очная

Факультет **инженерно-технологический**

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

Санкт-Петербург
2021

Б1.В.ДВ.01.02

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

Рабочая программа дисциплины «Теоретические основы гидрометаллургических процессов» обсуждена на заседании кафедры ТРЭНМ
протокол от «10» марта 2021 №5

Заведующий кафедрой

А.А. Блохин

Одобрено учебно-методической комиссией инженерно-технологического факультета
протокол от «27» мая - 2021 № 8-

Председатель

А.П. Сусла

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель направления подготовки «Химическая технология материалов современной энергетики»		профессор И.В. Юдин
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

СОДЕРЖАНИЕ

1	Перечень планируемых результатов обучения дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	4
2	Место дисциплины в структуре ООП подготовки специалиста.....	5
2.1	Цели освоения дисциплины	5
3	Объем дисциплины.....	5
4	Содержание дисциплины.....	6
4.1	Разделы дисциплины и виды занятий.	6
4.2	Занятия лекционного типа	7
4.3	Занятия семинарского типа.	11
4.4	Самостоятельная работа обучающихся студентов.....	12
5	Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы студентов, обучающихся по дисциплине.	13
6	Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	13
	Пример варианта вопросов на зачете	13
7	Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	14
8	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	15
9	Методические рекомендации	16
10	Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	16
10.1	Информационные технологии.....	16
10.2	Программное обеспечение.....	16
10.3	Базы данных и информационные справочные системы.	16
11	Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	17
12	Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.	17
	Приложение №1 к рабочей программе дисциплины	18

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

Код и наименование компетенции ¹	Код и наименование индикатора достижения компетенции ²	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) ³
<p>1. ПК-5 Способен к разработке технологических процессов извлечения редких и редкоземельных металлов из природного, вторичного и техногенного сырья, их разделения и очистки</p>	<p>ПК-5.3 Выбор и обоснование наиболее рациональной гидрометаллургической технологии производства редких и редкоземельных металлов</p>	<p>Знать: научные основы гидрометаллургических процессов получения редких и редкоземельных металлов; Уметь: выбирать и обосновывать гидрометаллургический процесс получения редких и редкоземельных металлов; Владеть: навыками выбора гидрометаллургических процессов производства редких и редкоземельных металлов</p>
<p>2. ПК-5 Способен к разработке технологических процессов извлечения редких и редкоземельных металлов из природного, вторичного и техногенного сырья, их разделения и очистки</p>	<p>ПК-5.4 Оценка возможности корректировки гидрометаллургических процессов производства редких и редкоземельных металлов</p>	<p>Знать: особенности гидрометаллургических процессов в технологии редких и редкоземельных металлов; Уметь: подобрать оптимальный технологический процесс выделения ценных компонентов из растворов после выщелачивания сырья; Владеть: методологией проведения исследований в области гидрометаллургических процессов</p>

¹ Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

² Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчикам РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

³ Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

2 Место дисциплины в структуре ООП подготовки специалиста

2.1 Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Теоретические основы гидрометаллургических процессов» (Б1.В.ДВ.01.02) относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений, является дисциплиной по выбору и изучается на 3 курсе в 5 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	Семестр
		5
Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц/ академических часов)	4/144	4/144
Контактная работа с преподавателем:	58	58
занятия лекционного типа	18	18
занятия семинарского типа, в т.ч.	36	36
семинары, практические занятия (в т.ч. практическая подготовка)	36 (10)	36 (10)
лабораторные работы	0	0
курсовое проектирование (КР или КП)	0	0
КСР	0	0
другие виды контактной работы	0	0
Самостоятельная работа	86	86
Форма текущего контроля (Кр, реферат, РГР, эссе)	--	
Форма промежуточной аттестации (КР, КП, зачет, экзамен)	Зачет	Зачет

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	3		6	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
2.	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика простого растворения	2	2		5	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
3.	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями	2	2		5	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
4.	Основы процессов выщелачивания. Теоретические основы кинетики выщелачивания	1	3		6	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
5.	Основы процессов выщелачивания. Кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов	1	2		5	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
6.	Основы процессов выщелачивания. Хлорирование и фторирование	1	3		8	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
7	Основы процессов выщелачивания. Переработка рудных концентратов сульфатизацией	1	2		5	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
8	Основы процессов выщелачивания. Вскрытие концентратов редких металлов щелочами и фторсиликатными реагентами	1	3		6	ПК-10, ПК-5.3, ПК-5.4
9	Основы экстракционных процессов	1	3		6	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
10	Основы ионообменных процессов	1	3		6	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
11	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение малорастворимых соединений	1	2		5	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4

12	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Основы процессов кристаллизации из растворов	1	2		6	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
13	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов электролизом	1	2		6	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
14	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Осаждение металлов и оксидов из растворов восстановлением водородом и другими газами	1	2		6	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
15	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов цементацией	1	2		5	ПК-5, ПК-5.3, ПК-5.4
	ИТОГО	18	36	0	86	

4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Основы процессов выщелачивания. Необходимые сведения из термодинамики растворов электролитов 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	ЛВ
2	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика простого растворения. Характеристика воды как растворителя. Энергия гидратации ионов. Растворимость солей.	2	ЛВ
3	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями. Связь между расходом реагентов и константой равновесия. Методы определения константы равновесия. Диаграммы потенциал — рН (диаграммы Пурбэ). Термодинамика некоторых промышленных процессов выщелачивания	2	ЛВ
4	Основы процессов выщелачивания. Теоретические основы кинетики выщелачивания. Общее уравнение потока выщелачивания. Особенности процесса	1	ЛВ

	<p>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.</p>		
5	<p>Основы процессов выщелачивания. Кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов. Выщелачивание металлов. Выщелачивание оксидов. Выщелачивание сульфидных минералов в присутствии окислителей. Бактериальное выщелачивание сульфидов.</p>	1	ЛВ
6	<p>Основы процессов выщелачивания. Хлорирование и фторирование. Теоретические основы гидрометаллургических процессов хлорирования. Различные способы хлорирования. Шахтные электропечи (ШЭП). Аппараты кипящего слоя. Хлорирование в 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</p>	1	ЛВ
7	<p>Основы процессов выщелачивания. Переработка рудных концентратов сульфатизацией. 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.</p>	1	ЛВ
8	<p>Основы процессов выщелачивания. Вскрытие концентратов редких металлов щелочами и фторсиликатными реагентами. 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</p>	1	ЛВ

	руд. Спекание с фторсиликатными реагентами. Вскрытие берилла спеканием с Na_2SiF_6 . Вскрытие циркона спеканием с K_2SiF_6 .		
9	Основы экстракционных процессов. 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.	1	ЛВ
10	Основы ионообменных процессов. Общие сведения о ионообменных процессах. Состав и синтез ионообменных смол. Основные характеристики ионообменных смол. Равновесие ионного обмена. Ионный обмен как мембранное равновесие. Селективность ионного обмена. Кинетика ионного обмена. Ионный обмен в колоннах. Ионный обмен из пульпы. Ионообменная хроматография. Ионитовые мембраны, их использование в электродиализе. Ионообменное оборудование. Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. 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. Разделение и очистка циркония и гафния ионообменным способом. Выделение цезия-137 ионообменным способом. Выделение стронция-90 ионообменным способом.	1	ЛВ
11	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение малорастворимых соединений. Факторы, влияющие на растворимость солей. Условия осаждения гидроксидов и основных солей. Осаждение сульфидов металлов. Разделение металлов осаждением труднорастворимых соединений. Закономерности соосаждения примесей.	1	ЛВ

	Старение осадков.		
12	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Основы процессов кристаллизации из растворов. 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.	1	ЛВ
13	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов электролизом. 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. Электролитическое получение тугоплавких металлов. Электролитическое получение бериллия. Электролитическое получение титана. Электролитическое получение циркония и гафния. Электролитическое получение ниобия и тантала. Электролитическое получение редкоземельных металлов.	1	ЛВ
14	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Осаждение металлов и оксидов из растворов восстановлением водородом и другими газами. Термодинамика восстановления водородом. Механизм и кинетика восстановления водородом. Выделение малорастворимых оксидов низшей валентности. Восстановление другими газами.	1	ЛВ
15	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов цементацией. Термодинамика процесса цементации. Механизм и кинетика цементации. Побочные процессы при цементации. Аппаратура для проведения цементации. Цементация на амальгамах.	1	ЛВ
	Всего	18	

4.3. Занятия семинарского типа.

4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование	Объем, акад. часы	
		Всего	В том числе на практ. подгот.
1	Основы процессов выщелачивания. Необходимые сведения из термодинамики растворов электролитов	2	0
2	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика простого растворения	2	0
3	Основы процессов выщелачивания. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями	2	0
4	Основы процессов выщелачивания. Теоретические основы кинетики выщелачивания	2	0
5	Основы процессов выщелачивания. Кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов	2	0
6	Основы процессов выщелачивания. Хлорирование и фторирование	4	0
7	Основы процессов выщелачивания. Переработка рудных концентратов сульфатизацией	2	0
8	Основы процессов выщелачивания. Вскрытие концентратов редких металлов щелочами и фторсиликатными реагентами	2	0
9	Основы экстракционных процессов	4	2
10	Основы ионообменных процессов	4	2
11	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение малорастворимых соединений	2	0
12	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Основы процессов кристаллизации из растворов	2	2
13	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов электролизом	2	2
14	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Осаждение металлов и оксидов из растворов восстановлением водородом и другими газами	2	2
15	Основы процессов выделения металлов или их соединений из водных растворов. Выделение металлов цементацией	2	0
Итого		36	10

4.3.2. Лабораторные занятия

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.	6	Устный опрос №1
2	Энергия гидратации ионов	5	
3	Методы определения константы равновесия.	5	
4	Интенсификация процессов выщелачивания.	6	
5	Бактериальное выщелачивание сульфидов.	5	
6	Шахтные электропечи. Аппараты кипящего слоя.	8	Устный опрос №2
7	Дробное осаждение фосфатов тория и РЗЭ	5	
8	Вскрытие берилла спеканием с Na_2SiF_6 . Вскрытие циркона спеканием с K_2SiF_6 .	6	
9	Использование жидких экстрагентов, находящихся в порах полимерного носителя.	6	Устный опрос №3
10	Выделение цезия-137 ионообменным способом. Выделение стронция-90 ионообменным способом.	6	
11	Старение осадков.	5	Устный опрос №4
12	Образование центров кристаллизации.	6	
13	Использование электролиза для выделения металлов из водных растворов и расплавов солей.	6	Устный опрос №5
14	Физико-химические свойства соединений водорода с редкими металлами	6	
15	Металлы, используемые в процессе цементации при получении редких металлов.	5	
ИТОГО:		86	

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 зачета.

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

Зачет 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 20 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

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 20 мин.

Пример варианта вопросов на зачете:

Вариант № 2

1. Разделение и очистка редких металлов ионообменным способом. Редкоземельные металлы
2. Сульфатизация серной кислотой, преимущества и недостатки метода вскрытия.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) печатные учебные издания

7.1 Пяртман, А.К. Процессы расслоения в трехкомпонентной жидкой системе: методические указания / А. К. Пяртман; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. - 21 с.

7.2 Пяртман, А.К. Определение изотерм экстракции нитрата уранила (VI) при использовании полимерных композиционных материалов с три-н.-бутилфосфатом: методические указания / А. К. Пяртман; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ) 2012. - 22 с.

7.3 Блохин, А.А. Кристаллизация из растворов как метод очистки неорганических веществ: учебное пособие / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, А. А. Копырин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких и рассеянных элементов. - Санкт-Петербург: 2009. - 26 с.

7.4 Жидкостная экстракция редкоземельных элементов: учебное пособие / А.А. Копырин, М.А. Афонин, А.А. Фомичев, М. С. Бахарев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких и рассеянных элементов. - Санкт-Петербург: 2007. - 86 с.

7.5 Копырин, А.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива : учеб. пособие для вузов по спец. Хим. технология материалов современной энергетики / А. А. Копырин, А. И. Карелин, В. А. Карелин. - Москва: Атомэнергоиздат, 2006. - 573 с. - ISBN 5-98532-004-9

б) электронные учебные издания

7.6 Мурашкин, Ю.В. Расчет материальных балансов и оборудования для выщелачивания руд и концентратов: учебное пособие/ Ю.В. Мурашкин, А.А. Блохин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. - 51 с.// СПбГТИ. Электронная библиотека.-URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 06.03.2021).- Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

7.7 Блохин, А.А. Технология молибдена и вольфрама: текст лекций / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. - 93 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека.-URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 06.03.2021).- Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

7.8 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 ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский

государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 68 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека.-URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 06.03.2021).- Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

7.9 Российское редкоземельное сырьё и основные способы его переработки: учебное пособие / В. А. Кескинов [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 68 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека.-URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 06.03.2021).- Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

7.10 Химия и технология скандия: учебное пособие / А. А. Блохин [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 52 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека.-URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 06.03.2021).- Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

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.wwe.ru> - электронная библиотека по атомной энергетике

9 Методические рекомендации

Одной из задач преподавателей, ведущих занятия по дисциплине «Теоретические 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 «Теоретические основы гидрометаллургических процессов» преподаватели должны проводить в соответствии с требованиями следующих СТП:

- СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. 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.

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 посредством ЭИОС.

10.2. Программное обеспечение.

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

10.3. Базы данных и информационные справочные системы.

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

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

Комплект презентаций по тематике лекций и практических занятий.

Персональный компьютер (ноутбук), мультимедийный проектор.

Имеющийся на кафедре ТРЭНМ комплекс учебных и учебно-научных и подсобных помещений достаточен для обеспечения учебного процесса, предусмотренного учебным планом.

На кафедре имеется 8 компьютеризированных рабочих мест с доступом в Интернет. Кроме того, используются и другие институтские площади: лекционные залы, учебные аудитории, компьютерные классы: кафедры вычислительной техники, информационно-вычислительного центра, помещения библиотеки.

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

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные 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 «Теоретические основы гидрометаллургических процессов»**

1. Перечень компетенций и этапов их формирования

Индекс	Содержание	Этап формирования
ПК-5	Способен к разработке технологических процессов извлечения редких и редкоземельных металлов из природного, вторичного и техногенного сырья, их разделения и очистки	промежуточный

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-5.3	Знает: научные основы гидрометаллургических процессов получения редких и редкоземельных металлов;	Правильные ответы на вопросы № 1--153 к зачету	Ориентируется в научных основах гидрометаллургических процессов получения редких и редкоземельных металлов, но слабо и с ошибками.	Ориентируется в научных основах гидрометаллургических процессов получения редких и редкоземельных металлов, но не всегда уверенно отвечает на вопросы.	Уверенно ориентируется в научных основах гидрометаллургических процессов получения редких и редкоземельных металлов
	Умеет: выбирать и обосновывать гидрометаллургический процесс получения редких и редкоземельных металлов	Правильные ответы на вопросы № 1--153 к зачету	Имеет представление о методах выбора и обоснования гидрометаллургического процесса получения редких и редкоземельных металлов, но делает ошибки в выборе метода.	Владеет методами обоснования гидрометаллургического процесса получения редких и редкоземельных металлов, но не уверен в выборе метода.	Умеет выбирать и обосновывать гидрометаллургический процесс получения редких и редкоземельных металлов.
	Владеет: навыками выбора гидрометаллургических процессов производства редких и редкоземельных металлов	Правильные ответы на вопрос № 1-153 к зачету.	В целом имеет представление о выборе гидрометаллургических процессов производства редких и	Владеет навыками выбора гидрометаллургических процессов производства редких и редкоземельных	Владеет навыками выбора гидрометаллургических процессов производства редких и редкоземельных

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
			редкоземельных металлов, но затрудняется в принятии решения о выборе подходящего процесса	металлов, но неуверенно принимает решение о выборе подходящего процесса.	металлов.
ПК-5.4 Оценка возможности корректировки гидromеталлургических процессов производства редких и редкоземельных металлов элементов	Знает особенности гидromеталлургических процессов в технологии редких и редкоземельных металлов	Правильные ответы на вопросы № 1--153 к зачету	Имеет общее представление об особенностях гидromеталлургических процессов в технологии редких и редкоземельных металлов, но неполное.	Ориентируется в особенности гидromеталлургических процессов в технологии редких и редкоземельных металлов, но не вполне уверенно.	Уверенно ориентируется в особенности гидromеталлургических процессов в технологии редких и редкоземельных металлов.
	Умеет: подобрать оптимальный технологический процесс выделения ценных компонентов из растворов после выщелачивания сырья	Правильные ответы на вопросы № 1--153 к зачету	Умеет подобрать оптимальный технологический процесс выделения ценных компонентов из растворов после выщелачивания сырья, но допускает ошибочные решения при выборе оптимальных условий	Умеет выявлять оптимальный технологический процесс выделения ценных компонентов из растворов после выщелачивания сырья, но не всегда правильно выбирает оптимальные условия	Умеет выявлять оптимальный технологический процесс выделения ценных компонентов из растворов после выщелачивания сырья, правильно выбирает оптимальные условия

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Владеет: методологией проведения исследований в области гидрометаллургических процессов	Правильные ответы на вопросы № 1--153 к зачету.	Владеет методологией проведения исследований в области гидрометаллургических процессов, но допускает ошибки в применении методов исследования.	Владеет методологией проведения исследований в области гидрометаллургических процессов, но не всегда правильно применяет методы исследования.	Владеет методологией проведения исследований в области гидрометаллургических процессов, правильно применяет методы исследования.

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):
промежуточная аттестация проводится в форме зачета.
Результат оценивания зачета – «зачтено», «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. Теоретические основы гидрометаллургических процессов 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 Na_2SiF_6
71. Вскрытие циркона спеканием с K_2SiF_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 пульпы
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 зачет.

1. Рассчитать и построить в логарифмических координатах зависимость удельной скорости выщелачивания, моль/(м² · 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
2. Объяснить, почему хлорное железо (FeCl₃) в зависимости от избыточной концентрации соляной кислоты в растворе можно экстрагировать катионообменными, нейтральными и анионообменными экстрагентами
3. Определить число ионов NO₃⁻, участвующих в образовании экстрагируемого соединения.
Определить коэффициент, с которым входит экстрагент в уравнение экстракции (сольватное число)
4. 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?
5. 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
6. 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

7. Определить лимитирующую стадию процесса и кинетические параметры: коэффициент диффузии (в случае гелевой кинетики) или константу скорости (в случае пленочной кинетики)
8. Определить по найденной зависимости полную динамическую обменную емкость (ПДОЕ)
9. Какой из хроматографических методов разделения ионов пригоден для использования в аналитической химии
10. Рассчитать растворимость оксалата церия $\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ в 0,01 М растворе соляной кислоты
11. Можно ли выделить и до какой степени примесь фосфора при добавлении в раствор стехиометрического количества 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
12. Рассчитать, до какой остаточной концентрации можно выделить олово из раствора SnSO_4 восстановлением водородом под давлением 10 атм при $\text{pH}=3$ и $t = 25^\circ\text{C}$.
13. 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, $t = 50^0\text{C}$, $P_{\text{H}_2} = 5$ атм
14. Будет ли цементироваться никель на цинке из раствора, содержащего 0,01 моль/л NiSO_4 и 1 моль/л 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.