**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Металлургии цветных металлов»

УТВЕРЖДЕНА:

на заседании кафедры металлургии цветных металлов

Протокол №9 от 14 февраля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«МЕТАЛЛУРГИЯ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ»

Направление: 22.03.02 Металлургия

Металлургия цветных, редких и благородных металлов

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной подписью Составитель программы: Бельский Сергей Сергеевич Дата подписания: 05.06.2025

Документ подписан простой электронной подписью Утвердил и согласовал: Немчинова Нина Владимировна Дата подписания: 05.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

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

1.1 Дисциплина «Металлургия редких металлов» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКС-5 Способность осуществлять, анализировать и корректировать технологические процессы получения металлов	ПКС-5.3, ПКС-5.8
ПКС-7 Готовность использовать физико-математический аппарат и проводить расчеты для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ПКС-7.6

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-5.3	Демонстрирует способность осуществлять и корректировать технологические процессы переработки руд редких металлов (содержащих вольфрам, молибден)	Знать основные параметры, оказывающие влияние на эффективность металлургических процессов переработки руд редких металлов (содержащих вольфрам, молибден) и диапазоны их оптимальных значений Уметь применять полученные знания об условиях протекания технологических процессов переработки руд редких металлов (содержащих вольфрам, молибден) для обеспечения правильного ведения технологического процесса Владеть навыками корректировки технологических процессов получения вольфрама и молибдена в случаях нарушения технологии производства
ПКС-5.8	Демонстрирует способность осуществлять и корректировать технологические процессы переработки руд редких металлов (содержащих титан, цирконий, гафний)	Знать основные параметры, оказывающие влияние на эффективность металлургических процессов переработки руд редких металлов (содержащих титан, цирконий, гафний) и диапазоны их оптимальных значений Уметь применять полученные знания об условиях протекания технологических процессов переработки руд редких металлов (содержащих титан, цирконий, гафний) для обеспечения

		правильного ведения технологического процесса Владеть навыками корректировки технологических процессов получения титана, циркония и гафния в случаях нарушения технологии производства
ПКС-7.6	Осуществляет расчеты технических и технологических параметров процессов получения редких металлов	Знать математические приемы для расчета рационального состава шихты, содержащей редкие металлы, для ее плавки; как составлять материальный баланс в металлургии редких металлов Уметь проводить расчеты материального баланса процессов переработки руд редких металлов с использованием математического аппарата Владеть навыками использования основных методов математического аппарата при выполнении металлургических расчетов в металлургии редких металлов (балансов, процессов, рациональных составов и т.п.)

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Металлургия редких металлов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Обогащение руд цветных металлов», «Производственная практика: технологическая (проектно-технологическая) практика», «Металлургическая теплотехника», «Теория электрометаллургических процессов», «Теория гидрометаллургических процессов», «Теория пирометаллургических процессов», «Производственная практика: научно-исследовательская работа»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Производственная практика: преддипломная практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 5 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Семестр № 7	Семестр № 8
Общая трудоемкость дисциплины	180	108	72
Аудиторные занятия, в том числе:	94	64	30
лекции	36	16	20
лабораторные работы	32	32	0

практические/семинарские занятия	26	16	10
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	50	8	42
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен, Курсовая работа, Зачет	Экзамен, Курсовая работа	Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 7

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Введение. Общие вопросы металлургии редких металлов	1	2					3	1	Реферат
2	Раздел 1. Технология переработки руд тугоплавких металлов. Тема 1.1. Вольфрам и молибден	2	4	1, 2	32	1	16	1, 2, 4, 5, 6	7	Тест, Отчет по лабораторной работе
3	Тема 1.2. Тантал и ниобий	3	2							
5	Раздел 2. Технология переработки руд цветных металлов с целью получения рассеянных редких металлов. Тема 2.1. Свойства, применение, сырьевая база	5	2							
6	Тема 2.2. Галлий	6	1							
7	Тема 2.3. Индий	7	1							
8	Тема 2.4. Таллий	8	1							
9	Тема 2.5. Германий	9	1							
10	Тема 2.6. Селен и теллур	10	1							
11	Тема 2.7. Рений	11	1							
	Промежуточная								36	Экзамен,

	аттестация									Курсовая работа
	Всего		16		32		16		44	

Семестр № 8

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Раздел 3. Технология переработки руд, содержащих титан, цирконий, гафний. Тема 3.1. Металлургия титана	1	2			1	10	2, 3	6	
2	Тема 3.2. Металлургия циркония	2	2					2	4	
3	Тема 3.3. Металлургия гафния	3	2					2	3	
4	Раздел 4. Технология получения редкоземельных редких металлов. Тема 4.1. Свойства, применение, сырьевая база	4	4					2, 4	4	Устный опрос
5	Тема 4.2. Технология переработки скандийсодержащего сырья	5	2					2, 4	4	Устный опрос
6	Тема 4.3. Переработка монацитовых концентратов	6	2					2, 4	4	Устный опрос
7	Тема 4.4. Производство редкоземельных металлов	7	2					2, 4	4	Устный опрос
8	Раздел 5. Технология получения радиоактивных редких металлов. Тема 5.1. Свойства, применение, сырьевая база	8	2					1, 2, 4	5	Тест, Устный опрос
9	Тема 5.2. Технология производства тория	9	1					2, 4	4	Устный опрос
10	Тема 5.3.	10	1					2, 4	4	Устный

	Технология производства урана									опрос
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		20				10		42	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение. Общие вопросы металлургии редких металлов	Роль редких металлов в современной технике достаточно велика. Редкие металлы в большой степени определяют развитие таких важных областей, как электровакуумная техника, полупроводниковая электроника, атомная энергетика, авиа- и ракетостроение, а также производство специальных сталей, твердых, жаропрочных и антикоррозионных сплавов. В настоящее время металлургическая промышленность производит 71 металл, из них 41 относится к группе редких, исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о том, насколько велика роль редких металлов в современной промышленности. Основными особенностями технологии редких металлов являются: бедность и сложность по составу рудного сырья; комплексные руды (W-Mo, Ti-Ta-Nb-P.З., Mo-Re и др.); высокие требования к чистоте получаемого металла; различие масштабов производства; высокая стоимость металла; широкое использование всех современных разнообразных химико-технологических и металлургических методов.
2	Раздел 1. Технология переработки руд тугоплавких металлов. Тема 1.1. Вольфрам и молибден	Вольфрам открыт в 1781 г. шведским химиком К.Б. Шееле при разложении кислотой минерала «тунгстена» (тяжелый камень), впоследствии названного шеелитом. В 1783 г. было установлено, что вольфрам входит в состав другого минерала – вольфрамита, и в этом же году впервые был получен порошок вольфрама восстановлением триоксида вольфрама углеродом. За элементом сохранилось два названия: вольфрам (в России, Германии и ряде стран Европы) и тунгстен (в Англии, США, Франции). Молибден был открыт в 1778 году шведским химиком Карлом Шееле - получен оксид MoO ₃ . В 1782 г. П. Гьельм впервые получил молибден в металлическом состоянии, но загрязненный углеродом и карбидом молибдена. Чистый молибден в 1817 году был получен Й. Берцелиусом. Первые попытки использования молибдена в металлургии стали относиться к концу

		<p>прошлого столетия. Промышленное производство молибдена началось в 1909-1910 гг., когда были обнаружены особые свойства оружейных и броневых сталей, легированных этим металлом, а также была разработана технология получения компактных тугоплавких металлов методом порошковой металлургии.</p>
3	Тема 1.2. Тантал и ниобий	<p>Элемент ниобий (колумбий) был открыт в 1801 г. Английским химиком Гатчеттом в минерале, найденном в Колумбии, и назван им колумбитом. В 1802 г. Шведский химик Экеберг в двух минералах, найденных в Финляндии и Швеции, открыл элемент, названный им танталом. В последующем тантал и колумбий считали тождественными. Лишь в 1844 г. немецкий химик Розе доказал, что минерал колумбит содержит два различных элемента: ниобий (названный им по имени мифологической богини слез Ниобы – дочери Тантала) и тантал. В чистом виде тантал был впервые получен в 1903 г., а ниобий в 1907 г. Болтоном. В промышленных масштабах тантал начали выпускать в 1922 г., ниобий – в конце 30-х годов. Тантал и ниобий относятся к V побочной группе периодической системы. Они обладают близкими химическими и физическими свойствами и в рудном сырье обычно сопутствуют один другому. Тантал и ниобий – металлы серо-стального цвета. Тантал имеет слегка синеватый оттенок. Чистые металлы пластичны и могут быть прокатаны в тонкий лист и холодном состоянии без промежуточных отжигов.</p>
5	Раздел 2. Технология переработки руд цветных металлов с целью получения рассеянных редких металлов. Тема 2.1. Свойства, применение, сырьевая база	<p>Рассеянные металлы обычно входят в кристаллические решетки минералов, образованных более распространенными металлами. Объясняется это тем, что ионы рассеянных металлов близки по размерам к ионам более распространенных. Например, галлий в природе всегда сопутствует алюминию, так как размер его иона равен 0,62А, а алюминия 0,57А. К тому же эти элементы близки по своим химическим свойствам. Содержание в земной коре таких рассеянных металлов, как литий, рубидий, цезий, больше по сравнению с содержанием таких широко известных металлов, как олово, свинец, кадмий, ртуть. Рассеянные редкие металлы большей частью находятся в форме изоморфной примеси в минералах других элементов и извлекаются попутно из отходов металлургического и химического производства.</p>
6	Тема 2.2. Галлий	<p>Галлий был открыт в 1875 г. французским химиком Лекок де Буабодраном спектральным</p>

		<p>методом в цинковой обманке. Свойства этого элемента за четыре года до его открытия были с большой точностью предсказаны Д.И. Менделеевым. Химический элемент III группы периодической системы. Название от Gallia - латинское название Франции. Серебристо-белый легкоплавкий (tпл 29,77°C) металл; плотность (г/см³) твердого металла 5,904, жидкого 6,095; tкип 2205°C. На воздухе химически стоек. В природе рассеян, встречается вместе с Al. Применяют в основном (на 97%) в производстве полупроводниковых материалов (GaAs, GaSb, GaP, GaN).</p>
7	Тема 2.3. Индий	<p>Индий назван по синей (цвета индиго) линии спектра. Химический элемент III группы периодической системы; атомный номер 49, атомная масса 114,82; состоит из двух изотопов ¹¹⁵In (95,7%) и ¹¹³In (4,3%). Первый слабо радиоактивен (β-излучатель, T_{1/2} 5,014 лет). Конфигурация внешней электронной оболочки 5s²5p¹; степень окисления 3, редко 1; энергия ионизации In⁰ : In¹ : In² : In³ соответственно равна 5,786390, 18,8700 и 28,03 эВ; атомный радиус 0,166 нм; относится к рассеянным элементам.</p>
8	Тема 2.4. Таллий	<p>Таллий был открыт спектральным методом в 1861 английским ученым Уильямом Круксом в шлаках свинцовых камер сернокислотного завода города Гарц. Название элемент получил по характерным зеленым линиям своего спектра и зеленой окраске пламени. Таллий (лат. Tallium, от греческого «таллос» - зеленая ветвь). Химический элемент с атомным номером 81, атомная масса 204,383. Природный таллий состоит из двух стабильных изотопов: ²⁰⁵Tl (содержание 70,5% по массе) и ²⁰³Tl (29,5%). В ничтожных количествах встречаются радиоактивные изотопы таллия: ²⁰⁸Tl, ²¹⁰Tl, ²⁰⁶Tl и ²⁰⁷Tl.</p>
9	Тема 2.5. Германий	<p>Элементарный германий светло-серого цвета, кристаллизуется в кубической решетке типа алмаза. Даже очень чистый германий при комнатной температуре хрупок, но выше 550 °C поддается пластической деформации. С увеличением температуры удельное сопротивление (как и у всех полупроводников) понижается. Температура плавления германия составляет 958,8 °C, а кипения 2690 °C. Чистый компактный германий устойчив на воздухе при обычной температуре и быстро окисляется при 600-700 °C с образованием диоксида германия. С азотом германий не взаимодействует, аммиак при</p>

		700-800 °С реагирует с образованием нитрида германия Ge_3N_2 . Твердый германий практически не реагирует с водородом вплоть до температуры плавления, расплавленный – поглощает водород. В незначительной мере при 1000-1100 °С образуя летучие гидриды германия (германоводороды).
10	Тема 2.6. Селен и теллур	Теллур открыл в 1782 г. венгерский химик Мюллер фон Райхенштейн в минерале, известном под названием «белая золотая руда». Название «теллур» дал элементу в 1798 г. tellus – земля). Селен открыли в 1817 г. шведские химики Берцелиус и Ган при исследовании осадков, образовавшихся в свинцовой камере при производстве серной кислоты. Осадок рассматривали как возможный источник теллура, однако исследование показало, что в нем содержится новый элемент, который из-за химического сходства с теллуrom назван «selene» (от греческого – Луна). Изучение свойств селена и теллура, областей применения, источников получения стало интенсивнее с начала XX в., особенно и связи с использованием полупроводниковых материалов в ряде отраслей новой техники. Промышленное производство селена и теллура началось с 1910 г.
11	Тема 2.7. Рений	Химический элемент VII группы периодической системы. Назван от латинского Rhenus – р. Рейн (открыт в Германии в 1925 г.). Светло-серый металл, один из самых тяжёлых и тугоплавких, плотность 21,01 г/см ³ , температура плавления рения 3180 °С. Химически очень стоек. В природе рассеян, собственный минерал джезказганит весьма редок; добывают из молибденовых руд. Сплавы рения с другими тугоплавкими металлами (W, Mo, Ta) высокожаропрочные, идут на детали сверхзвуковых самолётов и ракет, сплавы с W и Mo – для нитей накаливания и термопар. Рениевые покрытия защищают металлы от коррозии и износа. Катализатор дегидрогенизации и крекинга нефти.

Семестр № 8

№	Тема	Краткое содержание
1	Раздел 3. Технология переработки руд, содержащих титан, цирконий, гафний. Тема 3.1. Металлургия титана	Элемент титан открыт в 1791 г. английским любителем-минералогом Грегором в титанистом железняке – менакенице и был им назван менакеном. В 1795 г. немецкий химик Клапрот открыл в минерале рутиле новый элемент, названный титаном. Несколько лет спустя была доказана идентичность менакена и титана. До 1849 г. за металлический титан принимали

		металлоподобный карбонитрид титана, найденный в шлаках доменных печей. Металлический титан был получен лишь спустя 120 лет после открытия, в 1910 г., американским химиком Хантером восстановлением тетрахлорида титана натрием.
2	Тема 3.2. Metallургия циркония	Элемент цирконий открыт почти одновременно с титаном – в 1789 г. Клапротом, который получил диоксид циркония из минерала циркона. Чистый ковкий цирконий был получен лишь в 1925 г. (спустя 136 лет после открытия элемента) термической диссоциацией иодида циркония по методу Ван-Аркеля и де Бура. Химический аналог циркония – гафний, всегда содержащийся в его минералах, был открыт в 1923 г. венгром Хевеши и голландцем Костером на основании теоретических предсказаний бора.
3	Тема 3.3. Metallургия гафния	Элемент гафний был обнаружен в 1923 г. учёными Георгом фон Хевеши и Дирком Костером при проведении рентгеноспектрального анализа руд циркония. Название элемента происходит от латинского слова Hafnia (латинское название города Копенгаген), именно там, в Копенгагене, был обнаружен данный элемент. Долгое время гафний оставался незамеченным в природе из-за его сильного сходства с цирконием. Это сходство настолько велико, что гафний долгое время считался изотопом циркония. Только благодаря развитию рентгеноспектрального анализа стало возможным его обнаружение.
4	Раздел 4. Технология получения редкоземельных редких металлов. Тема 4.1. Свойства, применение, сырьевая база	К группе редкоземельных элементов (РЗЭ) относится семейство из 14 элементов с порядковыми номерами от 58 (церий) до 71 (лютеций), расположенных в VI периоде системы Д.И. Менделеева за лантаном и сходных с ним по свойствам. Поэтому обычно в эту группу включают и лантан, а элементы называют лантаноидами (т.е. подобные лантану). Кроме того, к лантаноидам примыкают химические аналоги лантана – элементы третьей группы скандий и иттрий. По физико-химическим свойствам лантаноиды сходны между собой. Лантаноиды (редкоземельные) элементы подразделяются на две подгруппы: цериевую [(La), Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu] и иттриевую [Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, (Y)]. Это деление сначала основывалось на различии в растворимости двойных сульфатов, образуемых лантаноидами с сульфатами натрия или калия. В последующем была установлена периодичность в изменении некоторых свойств внутри семейства лантаноидов, соответствующая их разделению на две группы.

5	Тема 4.2. Технология переработки скандийсодержащего сырья	Содержание скандия в продуктах переработки минерального сырья составляет сотые – десятые доли процента. Поэтому из исходных продуктов вначале получают концентраты, которые затем перерабатывают на соединения скандия. Для извлечения скандия из продуктов в раствор применяют выщелачивание кислотами (например, соляной кислотой), разложение хлорированием, серной кислотой или гидроксидом натрия с последующим водным или кислотным выщелачиванием. Для выделения скандия из растворов используют следующие основные способы: осаждение в составе малорастворимых соединений, экстракция органическими растворителями, ионообменные способы.
6	Тема 4.3. Переработка монацитовых концентратов	В результате переработки монацита получают два вида продуктов: ториевый концентрат и техническую (загрязненную примесями) смесь соединений РЗЭ. В промышленной практике используют два способа разложения монацитовых концентратов: 1)серной кислотой; 2)растворами гидроксида натрия.
7	Тема 4.4. Производство редкоземельных металлов	В виду высокой химической прочности соединений лантаноидов (оксидов, галогенидов) чистые металлы или их сплавы получают методами металлотермии или электролиза расплавленных сред. Разработаны различные способы получения лантаноидов электролизом в расплавах солей. Среди них более распространен электролиз безводных хлоридов РЗЭ в расплавах хлоридов щелочных и щелочно-земельных металлов. Этим способом в производственных масштабах получают преимущественно мишметалл (сплав церия, лантана, неодима и др.), а также церий, иногда лантан и неодим и другие металлы цериевой группы. В процессе электролиза эти металлы выделяются на катоде в расплавленном состоянии, поскольку они имеют сравнительно низкие точки плавления.
8	Раздел 5. Технология получения радиоактивных редких металлов. Тема 5.1. Свойства, применение, сырьевая база	Элемент торий был открыт в 1828 г. Берцелиусом в минерале, найденном в Норвегии и позже названным торитом (ThSiO ₄). Элемент назван по имени бога грома в скандинавской мифологии – Тора. Чистый торий был получен только в 1934 г. ван Аркемем термической диссоциацией иодида тория. Радиоактивность тория была обнаружена в 1896 г. Кюри. Уран был открыт в 1789 г. Клапротом в урановой смолке (U ₃ O ₈). Более 40 лет после открытия за металлический уран принимали его диоксид. Только в 1841 г. Пелиго был получен металлический уран восстановлением

		его хлорида калием. Радиоактивность минералов урана была открыта в 1896 г. Бекквелем. В 1898 г. Мария и Пьер Кюри открыли радий в урановых рудах.
9	Тема 5.2. Технология производства тория	Основным ториевым сырьем служат монацитовые концентраты. В процессе переработки получают ториевые концентраты в виде осадков гидроксидов, основных солей, фосфатов или оксалатов. Они содержат от 40 до 70 % ThO ₂ . Для отделения тория от редкоземельных элементов и других составляющих ториевого концентрата применяют три группы методов: 1) методы избирательного осаждения. К ним относятся: избирательное осаждение гидроксида тория, сульфата, оксалата или фторида тория; 2) методы избирательного растворения, основанные на образовании торием растворимых комплексов с оксалатами и карбонатами щелочных металлов и аммония; 3) экстракционные методы очистки, являющиеся в настоящее время основными.
10	Тема 5.3. Технология производства урана	Известны следующие методы получения урана: 1) восстановление оксидов урана кальцием или гидридом кальция; 2) восстановление тетрафторида или тетрахлорида урана кальцием или магнием; 3) электролиз галоидных солей в расплавленных средах. В результате металлотермического восстановления фторида урана кальцием или магнием получают слитки, которые плавят в вакуумных индукционных печах с использованием тиглей из чистого плотного графита. Плавку урана и сплавов на его основе можно проводить в дуговых печах с расходуемым электродом.

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 7

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Переработка вольфрамитового концентрата с целью получения триоксида вольфрама	16
2	Переработка шеелитового концентрата с целью получения триоксида вольфрама	16

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 7

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчет процесса спекания шеелитового концентрата с содой	16

Семестр № 8

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчет процесса хлорирования титанового шлака	10

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 7

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	1
2	Написание курсового проекта (работы)	3
3	Написание реферата	1
4	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	1
5	Подготовка к практическим занятиям	1
6	Подготовка к сдаче и защите отчетов	1

Семестр № 8

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	1
2	Подготовка к зачёту	25
3	Подготовка к практическим занятиям	2
4	Проработка разделов теоретического материала	14

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Дискуссия

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по курсовому проектированию/работе:

Металлургия редких металлов : метод. указания по выполнению курсовой работы / сост.: С.С. Бельский – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 23 с.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Металлургия редких металлов: метод. указания к практическим занятиям /сост. С.С. Бельский. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 18 с.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Металлургия редких металлов : метод. указания по выполнению лабораторных работ / сост.: С.С. Бельский – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 20 с.

5.1.4 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Металлургия редких металлов : метод. указания по самостоятельной работе студентов / сост.: С.С. Бельский – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 17 с.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 7 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

Перед проведением лабораторных работ все обучающиеся обязаны ознакомиться с правилами охраны труда и строго их выполнять. К выполнению лабораторных работ допускаются обучающиеся, прослушавшие инструктаж по технике безопасности и сделав соответствующую запись в журнале по ТБ в аудитории, предназначенной для проведения лабораторных работ по данной дисциплине.

1. Задание на выполнение лабораторной работы обучающийся получает на предыдущем занятии. При подготовке к лабораторной работе обучающийся обязан ознакомиться с её содержанием, повторить или изучить теоретический материал, относящийся к работе, используя рекомендуемую литературу, понять цель и задачи работы.

2. К началу занятий должна быть подготовлен шаблон отчета по лабораторной работе, в который необходимо необходимые расчётные формулы, подготовить таблицы для наблюдений.

3. Отчет оформляется для каждой лабораторной работы. Отчёт должен содержать название работы, изложение цели и задач работы, краткое теоретическое введение, схему установки и краткое описание методики проведения работы, таблицу с опытными и расчётными данными; графики (там, где это требуется), справочные данные, выводы по работе. Отчёты по лабораторным работам оформляются в соответствии с требованиями методических указаний по выполнению лабораторных работ и требованиями СТО «027-2021 СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА. Учебно-методическая деятельность. Общие требования к организации и проведению лабораторных работ».

4. На следующем занятии отчёт предоставляется преподавателю для проверки. При защите отчёта проверяется знание теоретического материала соответствующих разделов курса и вопросов методики, связанной с выполнением работы.

Вопросы для контроля (на примере лабораторной работы «Переработка вольфрамитового концентрата с целью получения триоксида вольфрама»):

1. Что представляет собой минерал «вольфрамит».
2. Состав шихты для спекания вольфрамита.
3. Для чего в состав шихты вводится селитра.
4. Температура обжига и выщелачивания.
5. Условия проведения выщелачивания.
6. Очистка раствора вольфрамата от примесей.
7. Результаты эксперимента.

Критерии оценивания.

Правильность оформления отчетов и полнота ответов на вопросы по контрольным вопросам, приведенным к каждой лабораторной работе в методических указаниях. Подробное описание лабораторных работ и вопросы к защите отчета представлены в методических указаниях (см. п.5.1).

6.1.2 семестр 7 | Реферат

Описание процедуры.

Данный вид самостоятельной работы предполагает индивидуальное самостоятельное выполнение письменной работы (реферата) по предложенной тематике с использованием перечня рекомендуемых литературы и информационных ресурсов. В начале семестра обучающийся выбирает одну из предложенных тем для написания реферата (согласно порядковому номеру в списке группы). После самостоятельного изучения рекомендуемой литературы на последней неделе семестра обучающийся должен предоставить преподавателю отчетный документ по данному виду самостоятельной работы в виде реферата (текст реферата должен быть выполнен с помощью ПК, на листах белой бумаги формата А4). Допускается сдача реферата в электронном виде.

Текст реферата должен быть оформлен в соответствии с СТО 005-2020. «Учебно-методическая деятельность. Оформление курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ технических направлений подготовки и специальностей».

Вопросы для контроля:

Примерная тематика рефератов

1. Свойства редких металлов и их соединений.
2. Применение редких металлов.
3. Источники сырья редких металлов.
4. История развития металлургии редких металлов
5. Классификация редких металлов
6. Минерально-сырьевая база редких металлов
7. Современные методы обогащения руд редких металлов
8. Методы получения чистых редких металлов
9. Экстракционные методы разделения редких металлов
10. Очистка и рафинирование редких металлов
11. Металлургия тугоплавких металлов
12. Металлургия редкоземельных металлов
13. Экологические аспекты металлургии редких металлов
14. Экономические аспекты производства редких металлов
15. Инновационные технологии в металлургии редких металлов

Критерии оценивания.

Полнота раскрытия темы, предлагаемой для написания реферата; перечень используемых источников и уровень компилятивности по тематике; качество оформления.

6.1.3 семестр 7 | Тест

Описание процедуры.

При подготовке к тестированию самостоятельно изучить теоретический материал с помощью основной и дополнительной литературы и информационных ресурсов и прочитать конспект лекционного материала.

Пример теста (по теме "Вольфрам и молибден"):

Вариант

1. Какая из групп по технической классификации не относится к редким металлам:
А) легкие;
Б) тяжелые;
В) тугоплавкие.

2. Среднее содержание вольфрама в земной коре составляет:
- А) 10-3 % (по массе);
 - Б) 10-4 % (по массе);
 - В) 10-5 % (по массе);
3. Наиболее распространенным и промышленно важным минералом молибдена является:
- А) повеллит CaMoO_4 ;
 - Б) молибденит MoS_2 ;
 - В) вольфенит PbMoO_4 .
4. К какой группе редких металлов относится рений:
- А) легкие редкие металлы;
 - Б) тугоплавкие редкие металлы;
 - В) радиоактивные редкие металлы.
5. В какие группы периодической системы входят редкие металлы:
- А) I, II, III, IV;
 - Б) VI, VII, VIII;
 - В) все перечисленные.
6. К какой еще группе по технической классификации могут быть отнесены рассеянные элементы рубидий и цезий:
- А) к легким;
 - Б) к тугоплавким;
 - В) к редкоземельным.
7. Эксплуатируемые руды редких металлов содержат:
- А) от 0,0001 до 0,01 % извлекаемого металла;
 - Б) от 0,001 до 0,1 % извлекаемого металла;
 - В) от 0,01 до 0,1 % извлекаемого металла;
8. Какой минерал в течение многих столетий считали разновидностью графита:
- А) молибденит;
 - Б) шеелит;
 - В) вольфрамит.

Критерии оценивания.

Тест считается успешно пройденным при правильных ответах на вопросы теста более 50%.

6.1.4 семестр 8 | Устный опрос

Описание процедуры.

В методических указаниях (п.5.1) приведены темы для самостоятельного изучения разделов курса и рекомендуемая литература. Изучать материал рекомендуется по главам учебника (учебного пособия) непосредственно перед лекцией по данной теме. Следует прочитать весь материал темы, не затронутый на лекции. На лекции по теме, указанной для самостоятельного изучения, преподаватель проводит устный опрос (выборочно из обучающихся).

Вопросы для контроля (на примере темы «Технология получения редкоземельных редких металлов»):

1. Извлечение скандия при переработке уран-ториевых руд, титаномагнетитовых концентратов.
2. Получение металлического скандия.
3. Переработка монацитовых концентратов серноокислотным способом.
4. Переработка монацитовых концентратов щелочным способом.
5. Методы разделения редкоземельных элементов.

6. Исходные соединения для производства редкоземельных металлов.
7. Электролитический способ получения редкоземельных металлов.
8. Металлотермические методы получения лантаноидов.

Критерии оценивания.

Активное участие обучающегося при устном опросе на лекционных занятиях

6.1.5 семестр 8 | Тест

Описание процедуры.

При подготовке к тестированию самостоятельно изучить теоретический материал с помощью основной и дополнительной литературы и информационных ресурсов и прочитать конспект лекционного материала.

Пример теста (по теме "Вольфрам и молибден"):

Вариант

1. Какая из групп по технической классификации не относится к редким металлам:
А) легкие;
Б) тяжелые;
В) тугоплавкие.
2. Среднее содержание вольфрама в земной коре составляет:
А) 10-3 % (по массе);
Б) 10-4 % (по массе);
В) 10-5 % (по массе);
3. Наиболее распространенным и промышленно важным минералом молибдена является:
А) повеллит CaMoO_4 ;
Б) молибденит MoS_2 ;
В) вольфенит PbMoO_4 .
4. К какой группе редких металлов относится рений:
А) легкие редкие металлы;
Б) тугоплавкие редкие металлы;
В) радиоактивные редкие металлы.
5. В какие группы периодической системы входят редкие металлы:
А) I, II, III, IV;
Б) VI, VII, VIII;
В) все перечисленные.
6. К какой еще группе по технической классификации могут быть отнесены рассеянные элементы рубидий и цезий:
А) к легким;
Б) к тугоплавким;
В) к редкоземельным.
7. Эксплуатируемые руды редких металлов содержат:
А) от 0,0001 до 0,01 % извлекаемого металла;
Б) от 0,001 до 0,1 % извлекаемого металла;
В) от 0,01 до 0,1 % извлекаемого металла;
8. Какой минерал в течение многих столетий считали разновидностью графита:
А) молибденит;
Б) шеелит;
В) вольфрамит.

Критерии оценивания.

Тест считается успешно пройденным при правильных ответах на вопросы теста более 50%.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКС-5.3	Демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей процессов и режимы проведения технологических операций, а также демонстрирует знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений в области металлургии вольфрама и молибдена	Устное собеседование по вопросам экзаменационного билета
ПКС-5.8	Демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей процессов и режимы проведения технологических операций, а также демонстрирует знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений в области металлургии титана, циркония и гафния	Тестирование. Устный опрос по вопросам к зачету
ПКС-7.6	Демонстрирует способность осуществлять расчеты технических и технологических параметров процесса получения вольфрама. Работа выполнена согласно заданию в полном объеме, с привлечением дополнительно подобранных источников информации.	Защита курсовой работы

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 7, Типовые оценочные средства для курсовой работы/курсового проектирования по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Для оценки сформированности индикатора компетенции ПКС-7.6 необходимо выполнить расчетную курсовую работу (по вариантам) и ответить на контрольные вопросы при ее защите.

Задания и пример расчета приведены в методических указаниях (см. п. 5.1).

Пример задания:

Перечень вопросов к защите курсовой работы:

1. Какими преимуществами обладает процесс автоклавно-содового разложения перед процессом спекания.
2. Какие продукты поступают и получаются при расчете материального баланса выщелачивания шеелитового концентрата?
3. Что такое содовый эквивалент и как он рассчитывается?
4. Опишите основные реакции, которые протекают в процессе автоклавно-содового разложения шеелита и как рассчитать количество углекислого газа, образующегося в результате протекания реакций.
5. Перечислите основные технологические параметры процесса автоклавно-содового разложения шеелита.
6. Какое влияние оказывает степень разложения компонентов шеелитового концентрата содовым раствором при расчете материального баланса процесса?
7. В чем заключаются трудности переработки вольфрамита автоклавно-содовым способом?
8. Как рассчитать теоретический расход соды для разложения 100 кг шеелитового концентрата?
9. Какими недостатками обладает процесс автоклавно-содового разложения вольфрамовых концентратов?
10. Рассчитайте количество влаги в кеке процесса автоклавно-содового разложения при влажности кека 20% и массе 50 кг.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Демонстрирует способность осуществлять расчеты технических и технологических параметров процесса получения вольфрама. Работа выполнена согласно заданию в полном объеме,	Демонстрирует способность осуществлять расчеты технических и технологических параметров процесса получения вольфрама. Работа выполнена согласно заданию в полном объеме с	Демонстрирует слабую способность осуществлять расчеты технических и технологических параметров процесса получения вольфрама. Работа выполнена с отклонениями от задания и не в полном объеме, без	Не демонстрирует способность осуществлять расчеты технических и технологических параметров процесса получения вольфрама. Работа выполнена со значительными отклонениями от задания и не в полном объеме, без привлечения

с привлечением дополнительно подобранных источников информации	незначительными отклонениями технологических параметров, без привлечения дополнительных источников информации	привлечения дополнительных источников информации	дополнительных источников информации
--	---	--	--------------------------------------

6.2.2.2 Семестр 7, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.2.1 Описание процедуры

Процедура проведения экзамена (семестр №7) по курсу состоит из 2-х частей. Раздел курса № 1 «Технология переработки руд тугоплавких металлов» обучающийся сдает в виде теста. Остальные темы – в виде вопросов в экзаменационном билете. Если обучающийся в течение семестра unsuccessfully сдал тест по теме «Вольфрам и молибден» - данная тема также выносится на экзамен в виде теста.

1. Пример теста

1. Процесс спекания шеелита с содой проводят при температурах:

- А) 800-900 °С;
- Б) 1000-1100 °С;
- В) 1200-1400 °С.

2. Наиболее распространенным и промышленно важным минералом молибдена является:

- А) повеллит CaMoO_4 ;
- Б) молибденит MoS_2 ;
- В) вольфенит PbMoO_4 .

3. Какой из редких металлов восстанавливают непосредственно из рудного сырья:

- А) вольфрам;
- Б) молибден;
- В) редкие металлы не восстанавливают непосредственно из рудного сырья.

4. Какой элемент был открыт при разложении кислотой минерала под названием «тунгстен»:

- А) вольфрам;
- Б) молибден;
- В) ниобий.

5. С какой из перечисленных кислот вольфрам не взаимодействует даже при нагревании:

- А) H_2SO_4 ;
- Б) HCl ;
- В) HF .

Пример задания:

Вопросы к экзамену:

1. Понятие «редкие металлы». Техническая классификация редких металлов.
2. Физико-химические свойства молибдена и его соединений.
3. Получение компактных редких металлов. Основные технологические показатели процесса.
4. Разложение вольфрамитовых концентратов едким натром, спеканием с содой.

5. Сформулируйте диапазон значений производственных показателей процесса спекания шеелита с содой и песком.
6. Автоклавно-содовое разложение вольфрамсодержащего сырья. Основные показатели процесса.
7. Кислотные способы разложения вольфрамсодержащего сырья.
8. Переработка растворов вольфрамата натрия. Основные технологические показатели процесса.
9. Получение парамолибдата аммония. Основные технологические показатели процесса.
10. Применение вольфрама и его соединений. Структура потребления.
11. Окислительный обжиг молибденитовых концентратов. Основные технологические показатели процесса.
12. Применение молибдена и его соединений. Структура потребления.
13. Сырьевая база вольфрама и молибдена.
14. Разложение молибденитовых концентратов азотной кислотой. Охрана окружающей среды.
15. Выделение из растворов соединений вольфрама.
16. Принципиальная технологическая схема переработки вольфрамсодержащих концентратов.
17. Принципиальная технологическая схема переработки молибденсодержащих концентратов.
18. Получение оксида вольфрама.
19. Какое оборудование применяется для переработки руд, содержащих вольфрам и молибден?
20. Физико-химические свойства вольфрама и его соединений.

6.2.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительн о	Неудовлетворительно
Демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей процессов и режимы проведения технологических операций, а также демонстрирует знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы	Демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей процессов и режимы проведения технологических операций, демонстрирует не очень глубокие знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность	Демонстрирует слабую способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей процессов и режимы проведения технологических операций, а также демонстрирует слабые знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы предприятия, а также диапазонов	Не демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей процессов и режимы проведения технологических операций, а также не демонстрирует знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений в области металлургии вольфрама и

предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений в области металлургии вольфрама и молибдена	работы предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений в области металлургии вольфрама и молибдена	их оптимальных значений в области металлургии вольфрама и молибдена	молибдена
---	--	---	-----------

6.2.2.3 Семестр 8, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.3.1 Описание процедуры

Зачет по курсу (семестр №8) состоит из 2-х частей.

Раздел 4. "Технология получения радиоактивных редких металлов" обучающийся сдает в виде теста.

Знания по остальным темам – в виде вопросов.

Вопрос 1

Какой основной метод используется для получения радиоактивных редких металлов?

- А) Метод электролиза расплавов
- Б) Метод химического осаждения
- В) Метод термического разложения

Вопрос 2

Какое оборудование необходимо для очистки радиоактивных металлов от примесей?

- А) Центрифуга
- Б) Вакуумная колонна
- В) Дистилляционная установка

Вопрос 3

Какой параметр является критическим при получении радиоактивных металлов?

- А) Температура плавления
- Б) Уровень радиации
- В) Скорость кристаллизации

Вопрос 4

Какой метод применяется для концентрирования радиоактивных металлов из руд?

- А) Флотация
- Б) Химическое выщелачивание
- В) Магнитная сепарация

Вопрос 5

Какое вещество используется как растворитель при экстракции радиоактивных металлов?

- А) Соляная кислота
- Б) Органический растворитель
- В) Щелочной раствор

Пример задания:

Перечень вопросов к зачету:

1. Сырьевая база титана.
2. Какие продукты получают при переработке титановых концентратов. Опишите их.

3. Способы выделения циркония из растворов. Сформулируйте диапазон производственных показателей процессов.
4. Какое количество железа содержится в ильмените и почему получение хлорида титана из ильменита затруднено?
5. Условия проведения восстановительной плавки ильменита и применяемое оборудование.
6. Принципиальная технологическая схема переработки ильменитовых концентратов.
7. Опишите способы хлорирования титаносодержащих материалов и укажите основные производственные показатели процессов.
8. Дайте характеристику сернокислотному способу получения диоксида титана.
9. Сырьевая база циркония и гафния
10. Продукты переработки цирконийсодержащих концентратов.
11. Опишите процесс разложения циркона способом спекания с карбонатом натрия. Сформулируйте диапазон производственных показателей процесса.
12. Разложение циркона карбонатом кальция.
13. Основные операции технологической схемы переработки цирконового концентрата по способу спекания с карбонатом кальция.
14. Способы выделения циркония из растворов и получение диоксида циркония.
15. Какие способы получения тетрахлорида циркония Вы знаете? Дайте их краткую характеристику.
16. Какие промышленные способы разделения циркония и гафния Вы знаете? Дайте их краткую характеристику.
17. Опишите процесс восстановления тетрахлорида циркония магнием. Основные производственные показатели процесса.
18. Восстановление фтороцирконата калия натрием. Основные производственные показатели процесса.

6.2.2.3.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей процессов и режимы проведения технологических операций, а также демонстрирует знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений в области металлургии титана, циркония и гафния	Не демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей процессов и режимы проведения технологических операций, а также демонстрирует знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений в области металлургии титана, циркония и гафния

7 Основная учебная литература

1. Воскобойников В. Г. Общая металлургия : учеб. для вузов по направлению "Металлургия" / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев, 2005. - 764.
2. Теория металлургических процессов : учебник для вузов по направлению 150100 "Металлургия", специальность 150102 "Металлургия цветных металлов" / Г. Г. Минеев [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Минеева, 2010. - 522.

3. Зеликман Абрам Наумович. Металлургия редких металлов : учеб. для вузов по спец. "Металлургия цв. металлов" / Абрам Наумович Зеликман, Борис Георгиевич Коршунов, 1991. - 431.

4. Надольский А. П. Расчеты процессов и аппаратов производства тугоплавких металлов : учебное пособие для вузов по специальности "Металлургия цветных металлов" / Анатолий Павлович Надольский, 1980. - 127.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Редкие и рассеянные элементы: Химия и технология : учеб. для вузов по специальности "Хим. технология ред. и рассеян. элементов и материалов на их основе" направления подгот. диплом. специалистов "Хим. технология материалов соврем. энергетики". Кн. 3. /С. С. Коровин, В. И. Букин, П. И. Федоров, А. М. Резник / под общ. ред. С. С. Коровина, 2003. - 438.

2. Вакуумная металлургия тугоплавких металлов и твердых сплавов / М. В. Мальцев [и др.], 1981. - 271.

3. Байбеков Мурат Казмухамедович. Производство четыреххлористого титана / Мурат Казмухамедович Байбеков, Владимир Дмитриевич Попов, Иван Матвеевич Чепрасов, 1987. - 127.

4. Ниобий и тантал / А. Н. Зеликман, Б. Г. Коршунов, А. В. Елютин, А. М. Захаров, 1990. - 294.

5. Михайличенко А. И. Редкоземельные металлы / А. И. Михайличенко, Е. Б. Михлин, Ю. Б. Патрикеев, 1987. - 228.

6. Коленкова М. А. Металлургия рассеянных и легких редких металлов : учеб. пособие / М. А. Коленкова, О. Е. Крейн, 1977. - 360.

7. Металлургия циркония и гафния / Н. В. Барышников [и др.]; пол ред. Л. Г. Нехамкина, 1979. - 208.

8. Металлургия редких металлов : методические указания для курсовой работы: по направлению подготовки "Металлургия": по дисциплине "Металлургия редких металлов" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 23.

9. Металлургия редких металлов : методические указания для лабораторных работ: по направлению подготовки "Металлургия": по дисциплине "Металлургия редких металлов" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 20.

10. Металлургия редких металлов : методические указания для практической работы: по направлению подготовки "Металлургия": по дисциплине "Металлургия редких металлов" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 18.

11. Металлургия редких металлов : методические указания для самостоятельной работы: по направлению подготовки "Металлургия": по дисциплине "Металлургия редких металлов" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 17.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>

2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Windows (XP Prof + Vista Bussines) rus VLK поставка 08_2007
2. Microsoft Office 2003 VLK (поставки 2007 и 2008)

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Экран Projecta SlimScreen настенный
2. Мешалка верхнеприводная RW
3. Насос вакуумный VPA-3S с комплектом шлангов
4. Печь муфельная ЭКПС 10л 1150С
5. Весы лабораторные "Веста ВМ 153"