Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Металлургии цветных металлов (129)»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры металлургии цветных металлов
Протокол №9 от 14 февраля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«МЕТАЛЛУРГИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ»

Направление: 22.03.02 Металлургия

Металлургия цветных, редких и благородных металлов

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной подписью Составитель программы: Немчинова Нина Владимировна Дата подписания: 09.05.2026	Документ подписан простой электронной подписью Утвердил и согласовал: Немчинова Нина Владимировна Дата подписания: 09.05.2026

Год набора – 2026

Иркутск, 2025 г.

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

1.1 Дисциплина «Металлургия тяжелых цветных 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-5.6, ПКС-5.9

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-5.6	Демонстрирует способность осуществлять и корректировать технологические процессы переработки руд тяжелых цветных металлов (содержащих медь, никель)	**Знать** основные параметры, оказывающие влияние на эффективность металлургических процессов (переработки руд тяжелых металлов, содержащих медь, никель) и диапазоны их оптимальных значений; основные причины нарушений работы технологических процессов в металлургии **Уметь** применять полученные знания об условиях протекания технологических процессов переработки руд тяжелых цветных металлов (содержащих медь, никель) для обеспечения правильного ведения технологического процесса **Владеть** навыками корректировки технологических процессов получения тяжелых цветных металлов (меди, никеля) в случаях нарушения технологии производства
ПКС-5.9	Демонстрирует способность осуществлять и корректировать технологические процессы переработки руд тяжелых цветных металлов (содержащих свинец, цинк)	**Знать** основные параметры, оказывающие влияние на эффективность металлургических процессов (переработки руд тяжелых металлов, содержащих свинец, цинк) и диапазоны их оптимальных значений; основные причины нарушений работы технологических процессов в металлургии **Уметь** применять полученные знания об условиях протекания

		технологических процессов переработки руд тяжелых цветных металлов (содержащих свинец, цинк) для обеспечения правильного ведения технологического процесса **Владеть** навыками корректировки технологических процессов получения тяжелых цветных металлов (свинца, цинка) в случаях нарушения технологии производства

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Металлургия тяжелых цветных металлов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Аналитическая и физическая химия», «Математика», «Металлургическая теплотехника», «Металлургические технологии», «Обогащение руд цветных металлов», «Теория гидрометаллургических процессов», «Теория пирометаллургических процессов», «Теория электрометаллургических процессов», «Оборудование металлургического производства и защита металлов от коррозии», «Производственная практика: технологическая (проектно-технологическая) практика»

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

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 6 ЗЕТ

Вид учебной работы	**Трудоемкость в академических часах** (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Семестр № 7	Семестр № 8
Общая трудоемкость дисциплины	216	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	98	48	50
лекции	52	32	20
лабораторные работы	20	0	20
практические/семинарские занятия	26	16	10
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	82	24	58
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет, Экзамен	Экзамен	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	Общие вопросы металлургии тяжелых цветных металлов: принципы и методы получения меди и никеля. Свойства и применение	1	8			1	2	2, 3, 4	10	Реферат
2	Пирометаллургия сульфидных медных, медно-никелевых руд и концентратов, окисленных никелевых руд	2, 4	14			2, 3	6	1	6	Тест
3	Конвертирование медных, никелевых и медно-никелевых штейнов. Переработка файнштейнов	3	4			4	4	1, 5	8	Решение задач
4	Рафинирование меди. Гидрометаллургия меди и никеля	5, 6	6			5, 6	4			Тест
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		32				16		60	

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	Свойства, производство и применение цинка. Обжиг цинковых сульфидных концентратов	1, 2	4	1	4	1	2	2, 3, 6, 8	14	Отчет по лабораторной работе
2	Гидрометаллургия цинка	3, 4	6	2, 3	10	2, 3	4	2, 4, 5, 6, 7	20	Отчет по лабораторной работе
3	Свойства, сырьевая база, производство и применение	5, 6	4			4, 5	4	1, 3, 4	8	Тест

	свинца. Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов									
4	Способы получения свинца	7	2	4	6			2, 5, 6, 7, 8	14	Отчет по лабораторной работе
5	Рафинирование чернового свинца	8	4					1	2	Тест
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		20		20		10		58	

4.2 **Краткое содержание разделов и тем занятий**

Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
1	Общие вопросы металлургии тяжелых цветных металлов: принципы и методы получения меди и никеля. Свойства и применение	К тяжелым цветным металлам относятся металлы с плотностью 7-11 г/см3 – свинец, цинк, медь, никель, олово. Они являются наиболее массовыми по объемам производства металлами в мире. Сырьем для получения меди служат руды, продукты их обогащения – концентраты, а также амортизационный лом и отходы (вторичное сырье). Медные руды всегда полиметаллические. Ценными спутниками являются около 30 элементов. Никелевые заводы перерабатывают два типа руд: окисленные никелевые (ОНР) и сульфидные медно-никелевые. Вторичное сырье. Топливо (в металлургии стремятся использовать качественное топливо с высокой теплотворной способностью и низким содержанием золы: природный газ, мазут, кокс), огнеупорные материалы (классифицируют по огнеупорности, химико-минералогическому составу, химической стойкости), флюсы (используют, как правило, кварц, известняк, железную руду). Тяжелые цветные металлы получают пиро- и гидрометаллургическим способами. Для всех медных и никелевых предприятий характерны многоступенчатые технологические схемы. В основе любого металлургического процесса лежит принцип перевода обрабатываемого сырья в гетерогенную систему, состоящую из двух, трех, а иногда и более фаз, которые должны отличаться друг от друга составом и физическими свойствами. При этом одна из фаз должна обогащаться извлекаемым металлом и обедняться примесями, а другие фазы, наоборот, обедняться основным компонентом. В каждой из последовательно проводимых технологических операций постепенно повышают концентрацию меди в основном

		металлсодержащем продукте за счет отделения пустой породы и сопутствующих элементов, главным образом железа и серы. На практике удаление железа и серы осуществляют за счет их окисления в три (обжиг, плавка, конвертирование), в две (плавка, конвертирование) или в одну стадию. Медь - элемент I группы Периодической системы элементов; порядковый номер 29; атомная масса - 63,546; плотность - 8,92 г/см3; tпл =1083°С; tкип = 2595°С. Медь обладает высокой тепло- и электропроводностью и легко подвергается пластической обработке. Никель – металл подгруппы железа. Устойчивая его валентность равна 2. Обладает высокой прочностью и пластичностью, хорошо обрабатывается и в холодном и в горячем состоянии. В химическом отношении малоактивен. tпл =1455°С, tкип = 2900°С. Плотность литого никеля - 8,8 г/см3.Медь применяется в электротехнике и электронике, машиностроении, транспорте, строительных материалах, химической промышленности, в изделиях и приборах бытового назначения, сельском хозяйстве. Ni - основной элемент, добавки которого улучшают свойства стали (ее прочность и вязкость при повышенной температуре). Сплавы никеля с железом (8-80% Ni) - нержавеющие и жаропрочные. Железо-медно-никелевые сплавы используют для изготовления нагревательных элементов электропечей. Никель используют для покрытия (никелирования) других металлов.
2	Пирометаллургия сульфидных медных, медно-никелевых руд и концентратов, окисленных никелевых руд	Применяют следующие процессы плавки на штейн: отражательная плавка сырых (необожженных) концентратов или огарка; плавка в руднотермических электрических печах; плавка в шахтных печах руды или концентрата после предварительного окускования путем брикетирования или агломерации; процесс «Норанда»; процесс «Мицубиси»; кислородно-факельная плавка (КФП); взвешенная (финская) плавка (Оутокумпу); плавка Ванюкова.Цель шахтной плавки ОНР – максимальное извлечение никеля и кобальта в штейн и ошлакование пустой породы. В шахтной печи при восстановительно-сульфидирующей плавке протекают следующие основные физико-химические процессы: сжигание топлива; восстановление и сульфидирование оксидов; штейно- и шлакообразование; разделение шлака и штейна. Наибольшее распространение в мире для переработки ОНР получила

		электроплавка на ферроникель.
3	Конвертирование медных, никелевых и медно-никелевых штейнов. Переработка файнштейнов	Конвертирование – окислительный процесс, заключающийся в обработке сульфидных расплавов кислородсодержащими газами (воздух, кислородно-воздушная смесь) с целью количественного удаления железа, а также частично или полностью и серы. при конвертировании медных штейнов удаляют примеси серы и получают черновую медь, содержащую менее 1 % примесей. При конвертировании медно-никелевых штейнов имеют другую цель – получение медно-никелевого файнштейна, представленного преимущественно сульфидами меди Cu2S и никеля Ni3S2. Никелевые штейны отличаются содержанием до 20 % никеля и железа в форме металлической фазы. Целью конвертирования является получение никелевого файнштейна с минимальным содержанием железа. Файнштейн представляет собой сплав сульфидов никеля и меди, в котором растворено некоторое количество сульфидов железа и кобальта, а также металлической фазы. Состав медно-никелевого файнштейна, %: 40-55 Ni, 20-30 Cu, 0,6-1,2 Co, 2,5-3,5 Fe. Состав никелевого файнштейна, %: 76-78 Ni, 19-21 S, 0,2-0,4 Fe, 0,5-0,9 Co, до 2 Cu. Для разделения меди и никеля применяют метод флотации: при медленном охлаждении компоненты расплава медно-никелевого файнштейна кристаллизуются в раздельные, четко разграниченные кристаллические фазы. Карбонильная технология (карбонилы никеля и железа при нормальной температуре являются жидкостями; различия в температурах кипения позволяют их разделять селективной возгонкой) позволяет увеличить извлечение никеля из файнштейна до 95-96% и сократить продолжительность цикла переработки файнштейна до 3-4 дней.
4	Рафинирование меди. Гидрометаллургия меди и никеля	Более 95% выплавленной черновой меди в настоящее время подвергают двухстадийному рафинированию. Цель операции огневого рафинирования – подготовить черновую медь к электролитическому рафинированию:- удалить вредные примеси (кислород, серу, железо, никель, цинк, свинец, мышьяк, сурьму, растворенные газы); - получить отливки меди в форме плотных ровных пластин постоянной массы.В результате огневого рафинирования содержание меди в анодах повышается до 99,4-99,6 %. Цель электролитического рафинирования – получение

		меди, удовлетворяющей по электропроводности требованиям международного стандарта (1,724 · 10-6 Ом·см). Такая медь содержит обычно более 99,96 % меди, около 0,02 % кислорода и 0,02 % нормируемых в сумме девяти примесей. Гидрометаллургические процессы сводятся к растворению (выщелачиванию) металла из руд и концентратов, производственных полупродуктов и различных отходов с последующим выделением из полученных растворов металла или его химического соединения. Часто проводят операции очистки раствора от примесей и концентрированию бедных растворов. В гидрометаллургии никеля для осуществления процессов выщелачивания, требующих высоких температур и участия в процессе газовой фазы, наибольшее применение имеют автоклавы и другие аппараты с интенсивным массообменом. Наиболее распространенный и дешевый реагент для выщелачивания медных руд – растворы серной кислоты. В промышленных условиях в металлургии никеля наиболее часто применяют более дешевые и доступные растворители – растворы серной кислоты и аммиака. Экстракция меди из растворов может осуществляться двумя способами: электроэкстракцией и ионообменной сорбцией. Преимущество экстракции по отношению к другим способам извлечения меди из растворов заключается в ее способности организовать непрерывный, производственный процесс, который снижает эксплуатационные затраты и увеличивает эффективность труда.

Семестр **№ 8**

№	Тема	Краткое содержание
1	Свойства, производство и применение цинка. Обжиг цинковых сульфидных концентратов	Цинк – элемент II группы периодической таблицы Д.И. Менделеева, металл синевато-белого цвета, атомный номер 30, атомная масса 65,38, валентность - 2. Zn =7,14 г/см3; tпл =419,4°С, tкип = 906°С.Холодный цинк хрупкий и не прокатывается. Цинк – сильно летучий металл. Стандартный электродный потенциал цинка = -0,763 В. Zn – самый электроотрицательный металл из тяжелых цветных металлов и вытесняет их из раствора. Сырьем являются полиметаллические руды, содержащие кроме Zn, медь, свинец, благородные металлы, редкие и рассеянные элементы, минералы железа, алюминия, кремния, кальция, магния и др. Различают сульфидные и окисленные цинксодержащие руды. Zn получают пиро- и гидрометаллургическим способами.

		Крупнейшими производителями цинка являются: Китай, Канада, Австралия. Крупнейшими потребителями цинка являются Китай; США; Япония; Германия; Великобритания; Франция; Бельгия, Канада, Италия, Австралия, Индия.Мировое потребление цинка по основным областям применения в среднем распределяется следующим образом (% от общего потребления): оцинкование стали – 36, производство латуни и бронзы – 26, фасонное литье под давлением – 26, цинковый прокат – 3, химические товары (в том числе цинковые белила) – 6,5. При окислительном обжиге окисление сульфидов металлов состоит из следующих основных стадий:1) внешней диффузии кислорода из газового объёма к поверхности сульфидов; 2) адсорбции молекулярного кислорода на поверхности сульфидов и диссоциации его при каталитическом действии поверхности на атомарный кислород; 3) диффузии кислорода внутрь решётки сульфида;4) образования первичных соединений при взаимодействии сульфида с атомарным кислородом; 5) химического взаимодействия образовавшегося промежуточного продукта (сульфата) с сульфидом с получением оксида и выделением (десорбции) SO2; 6) химического взаимодействия поверхностной плёнки оксида с сернистым ангидридом с образованием вторичного сульфата.Для обжига концентратов используют преимущественно печи «кипящего слоя (КС)». Этот способ обжига отличает высокая производительностью, стабильный режим обжига, высокое качеством огарка, автогенность процесса с высокой степенью утилизации технологического тепла, простотой обслуживания и большой длительностью кампании печей «КС», высокой концентрации SO2 в отходящих газах.
2	Гидрометаллургия цинка	Цель выщелачивания - максимальное извлечение в раствор цинка и некоторых сопутствующих ему ценных компонентов при минимальном загрязнении раствора примесями, вредными для последующих операций отделения твердого от жидкого и электроосаждания цинка. Выщелачивание цинкового огарка ведут разбавленным раствором серной кислоты (120-140 г/дм3 H2SO4) при температуре 65-70°C:ZnO + H2SO4 = ZnSO4 + H2O.Для выделения примесей из раствора сульфата цинка используют различные методы: гидролитический, цементационный, химический, электролитический.Для

		осуществления процессов выщелачивания цинкового огарка и очистки растворов от примесей используют стандартное гидрометаллургическое оборудование: агитаторы, пачуки, сгустители для разделения пульп и фильтры различной конструкции. Выделение цинка из очищенного раствора сульфата цинка с получением готового продукта осуществляют методом электролиза. Для осуществления процесса подводят электрический ток к электродам электролизной ванны: катодам (алюминиевым) и анодам (свинцовым). На катоде идет восстановление ионов Zn^{2+} из раствора до металлического состояния: $Zn^{2+} + 2e \rightarrow ZnO$. На аноде электрическая энергия расходуется на разложение воды с образованием газообразного кислорода: $H_2O - 2e \rightarrow 0{,}5O_2 + 2H$. Ванны для электролиза цинка изготовляют в основном из железобетона. Их располагают в здании цеха рядами по 20-30 ванн. Катодные Zn листы переплавляют в индукционных печах с добавкой флюса – хлористого аммония (0,5-0,6% от массы цинка). Выход чушкового цинка от массы загружаемого катодного осадка – около 98%. Разливку металла проводят на карусельных или прямолинейных разливочных машинах.
3	Свойства, сырьевая база, производство и применение свинца. Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов	Свинец – элемент IV группы периодической таблицы, атомный номер 82, атомная масса 207,19, валентность 2 или 4. tпл свинца 327,4°С, tкип - 1745°С, плотность свинца - 11,336 г/см3. В химическом отношении свинец достаточно инертен. Сырьем являются полиметаллические руды, содержащие кроме Pb, медь, цинк,благородные металлы, редкие и рассеянные элементы, минералы железа, алюминия, кремния, кальция, магния и др. Различают сульфидные и окисленные свинецсодержащие полиметаллические руды. Основной способ получения свинца – пирометаллургический.Основными производителями Pb за рубежом являются: Китай, США, Перу, Канада, Швеция, Австралия, Мексика. Основные потребители свинца – США, Великобритания, Германия, Япония, Франция, Италия, Испания. Главный потребитель свинца - аккумуляторная промышленность. Для этой цели тратится 30-45% производимого Pb. 15-20% Pb идет на нужды электротехнической промышленности, хорошие антикоррозионные свойства Pb позволяют использовать его в химической и металлургической промышленности.

		В виде сплавов с другими металлами потребляются от 5 до 15 % Pb. Назначение агломерирующего обжига – подготовить свинцовый концентрат к шахтной плавке на черновой свинец. Цель: 1) удаление из концентрата серы путем окисления сульфидного сырья кислородом воздуха (оптимальная степень десульфуризации при обжиге колеблется от 60 до 85 % и зависит от химического состава свинцовых концентратов); 2) окускование мелкого материала и получение пористого, газопроницаемого, прочного агломерата пригодного для плавки в шахтной печи; 3) перевод ценных летучих компонентов концентрата в газовую фазу с последующим извлечением их из обжиговых газов (S, As, Sb, Cd и редкие металлы). Получаемый при обжиге агломерат должен обладать следующими качествами: высокой прочностью; хорошей пористостью (суммарный объем пор 65-75%); однородностью по химическому и гранулометрическому составу; содержание серы - 1,5-2,5%, свинца 45-55%; иметь температурный интервал размягчения 950-1000°С.
4	Способы получения свинца	Пирометаллургические способы получения свинца (осадительная, реакционная плавка, КИВЦЭТ-процесс). Шахтная восстановительная плавка – универсальный способ получения свинца. Цели: получить максимальное количество свинца в виде чернового металла, содержащего Au, Ag, Cu, Bi, Sb, As, Sn, Te; ошлаковать пустую породу и перевести в шлак максимальное количество цинка. Исходными материалами для плавки являются свинцовый агломерат, кокс и воздух. Агломерат содержит свинец, сопутствующие металлы (медь, цинк, золото, серебро, висмут и т.д.) и все необходимые компоненты для образования шлака. Загрузка агломерата и кокса в печь осуществляется послойно. Продуктами шахтной восстановительной плавки являются: черновой свинец, шлак, штейн, шпейза и пыль. В черновом свинце может содержаться, %: 92-98 Pb; 1-5 Cu; 0,5-2 As; 0,5-2 Sb; 0,1-0,2 Bi; 0,01-0,05 Te; 1000-1500 г/т Ag; 50-100 г/т Au. Общее содержание примесей достигает от 2 до 10 %.
5	Рафинирование чернового свинца	Конечная степень очистки от основных примесей регламентируется ГОСТ 3778-98. Рафинирование чернового свинца от примесей проводят одним из двух методов: пирометаллургическим или электролитическим (в водных растворах).При пирометаллургическом рафинировании, осуществляемом в рафинировочных стальных

		котлах, из чернового свинца последовательно удаляют металлы: - медь ликвацией и с помощью обработки расплава элементарной серой; - теллур с помощью металлического натрия в присутствии едкого натра; - мышьяк, сурьму и олово в результате окислительных операций; - серебро и золото с помощью металлического цинка;- цинк окислением в свинцовой ванне или в щелочном расплаве, вакуумированием и другими способами; - висмут удаляют металлическим кальцием, магнием, сурьмой, при этом происходит загрязнение свинца этими металлами;- качественное рафинирование от кальция, магния и сурьмы.На каждой стадии рафинирования образуются съемы (промежуточные продукты), в которые переходят примеси и часть свинца. Их подвергают самостоятельной переработке.

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 8

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Обжиг сульфидных цинковых концентратов	4
2	Выщелачивание цинкового огарка и очистка раствора от примесей	6
3	Электролитическое осаждение цинка из сернокислых растворов	4
4	Восстановительная плавка свинцового агломерата	6

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 7

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчет рационального состава сульфидного медного концентрата	2
2	Расчет рудотермической печи плавки медных и медно-никелевых руд	2
3	Материальный баланс плавки сульфидного медного концентрата на подогретом воздушном дутье	4
4	Расчет рационального состава штейна, кварцевого флюса при конвертировании медного штейна	4
5	Устройство и принцип действия автоклава для кислотного выщелачивания никеля	2
6	Экстракционная установка для выделения меди из растворов	2

Семестр **№ 8**

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчет теплового баланса процесса обжига цинковых концентратов в печи кипящего слоя	2
2	Расчет параметров оборудования для процессов выщелачивания и очистки растворов от примесей	2
3	Задачи по гидрометаллургии цинка. Стехиометрические расчеты	2
4	Расчет рационального состава сульфидного свинцового концентрата	2
5	Выбор типа шлака и расчёт количества флюсов при агломерирующем обжиге свинцовых концентратов	2

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 7

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	10
2	Написание реферата	4
3	Подготовка к зачёту	2
4	Подготовка к практическим занятиям	4
5	Решение специальных задач	4

Семестр **№ 8**

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	4
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	8
3	Подготовка к зачёту	6
4	Подготовка к контрольным работам	8
5	Подготовка к практическим занятиям	8
6	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	10
7	Подготовка к сдаче и защите отчетов	6
8	Проработка разделов теоретического материала	8

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: тренинг, компьютерная симуляция, групповая дискуссия

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Металлургия тяжелых цветных металлов: метод. указании к практическим занятиям /сост. Н.В. Немчинова, С.С. Бельский. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 52 с.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Металлургия тяжелых цветных металлов : метод. указания по выполнению лабор. работ. /сост. Н.В. Немчинова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2001. – 49 с.
Металлургия тяжелых цветных металлов : метод. указания по выполнению лабораторных работ / сост. Н.В. Немчинова, С.С. Бельский. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 43 с.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Металлургия тяжелых цветных металлов : метод. указания по самостоятельной работе студентов / сост. Н.В. Немчинова, А.В. Аксенов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – 16 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 | 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 студент 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, оформленный в соответствии с СТО.005-2020). Допускается сдача реферата преподавателю в электронном виде.
Примерная тематика рефератов
1. Медные минералы и руды; комплексность медного сырья.
2. Отражательная плавка; особенности конструкции отражательной печи.
3. Химизм отражательной плавки; характеристика продуктов отражательной плавки.
4. Пиритная плавка медных руд, особенности полупиритной плавки.
5. Научные основы и практика автогенных процессов. Плавка во взвешенном состоянии на кислородном (подогретом) дутье; плавка в расплавах.
6. Сущность процессов огневого рафинирования меди (теория, практика). Производство вайербарсов.
7. Сущность электролитического рафинирования меди. Практика электролитического рафинирования меди.
8. Никелевые руды и минералы; комплексность медно-никелевых сульфидных руд.
9. Сущность восстановительно-сульфидирующей плавки никелевых окисленных руд.
10. Особенности шахтной плавки окисленных никелевых руд (конструкция печи, химизм процесса).
11. Теория и практика конвертирования никелевых штейнов.

12. Сущность и практика электролитического рафинирования никеля.
13. Очистка никелевого электролита от основных примесей (Fe, Cu, Co, Zn).
14. Цели и методы гидрометаллургического производства в металлургии никеля (сернокислотное и аммиачное выщелачивание).
15. Электролитическая переработка медно-никелевых сульфидных руд. Особенности конструкции рудно-термических печей.
16. Поведение благородных металлов при переработке медных и медно-никелевых сульфидных руд.
17. Плавка во взвешенном состоянии на подогретом дутье сульфидных медно-никелевых концентратов.
18. Гидрометаллургия меди – преимущества и недостатки.
19. Устройство экстракционной установки.
20. Характеристика различных флюсов, используемых в производстве меди и никеля. Их роль в процессах плавки.
21. Устройство автоклава.

Критерии оценивания.

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

6.1.2 семестр 7 | Тест

Описание процедуры.

Семестр №7
Пирометаллургия сульфидных медных, медно-никелевых руд и концентратов, окисленных никелевых руд, Конвертирование медных, никелевых и медно-никелевых штейнов
Рафинирование меди
Семестр №8
Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов
Рафинирование чернового свинца
При подготовке к тестированию самостоятельно изучить теоретический материал с помощью основной и дополнительной литературы и информационных ресурсов и прочитать конспект лекционного материала, презентаций.

Критерии оценивания.

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

6.1.3 семестр 7 | Решение задач

Описание процедуры.

По данной тематике обучающимся выдается шаблон задачи и индивидуальной задание (согласно варианту по списку в группе) для самостоятельного ее решения.
В конце семестра обучающийся сдает преподавателю выполненное задание. Допускается сдача задания преподавателю в электронном виде.

Критерии оценивания.

Правильность решения задачи.

6.1.4 семестр 8 | Тест

Описание процедуры.

Семестр №7
Пирометаллургия сульфидных медных, медно-никелевых руд и концентратов, окисленных никелевых руд, Конвертирование медных, никелевых и медно-никелевых штейнов
Рафинирование меди
Семестр №8
Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов
Рафинирование чернового свинца
При подготовке к тестированию самостоятельно изучить теоретический материал с помощью основной и дополнительной литературы и информационных ресурсов и прочитать конспект лекционного материала, презентаций.

Критерии оценивания.

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

6.1.5 семестр 8 | 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» (в рукописном виде).
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 «Обжиг сульфидных цинковых концентратов»):
1. Цель окислительного обжига цинковых концентратов.

2. Десульфуризация при обжиге.
3. Назовите основные химические реакции при окислительном обжиге цинковых концентратов.
4. Температура обжига и температура воспламенения сульфидов.
5. Условия проведения обжига.
6. Устройство печи кипящего слоя.
7. Результаты эксперимента, вывод по работе.

Критерии оценивания.

Правильность оформления отчетов, наличие вывода по лабораторной работе

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-5.6	Демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей применяемых технологических процессов получения тяжелых цветных металлов (меди, никеля) 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.	Тест, устное собеседование по вопросам к зачету
ПКС-5.9	Демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей применяемых технологических процессов получения тяжелых цветных металлов (свинца, цинка) 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.	Тест, устное собеседование по вопросам к дифференцированному зачету

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

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

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Экзамен проводится в виде тестирования по разделу курса и собеседованию по вопросам экзаменационного билета. Для успешной сдачи экзамена обучающемуся заранее выдаются контрольные вопросы.
Типовые вопросы к экзамену:
1. Способы получения меди из сульфидных руд: показатели процесса, обосновать выбор той или иной технологической схемы.
2. Способы получения никеля из сульфидных медно-никелевых руд: показатели процесса, обосновать выбор технологической схемы.
3. Способы получения никеля из окисленных никелевых руд: показатели процесса, обосновать выбор технологической схемы.
4. Какие свойства меди и никеля обусловили их применение в соответствующих отраслях промышленности.
5. Какие свойства обусловили его применение в различных областях промышленности.
6. Сущность плавки сульфидных медных концентратов: отражательной, шахтной, руднотермической. Показатели процесса.
7. Автогенные процесса: виды, показатели
8. Пиритная, полупиритная, медно-серная плавки медного сырья: показатели процесса, обосновать выбор той или иной технологии
9. Процесс конвертирования медных, медно-никелевых и никелевых штейнов: в чем основные отличия этих технологий
10. Огневое и электролитическое рафинирование меди: сущность процессов.
11. Сущность восстановительно-сульфидирующей плавки окисленных никелевых руд; основные технологические параметры, показатели процесса.
12. Производство ферроникеля из окисленных никелевых руд; основные технологические параметры, показатели процесса.

<u>Пример задания:</u>

Пример теста
1.Найти соответствие группы в классификации цветных металлов ниже приведенным металлам:
1) малые тяжёлые А) марганец, хром
2) благородные Б) никель, медь
3) лёгкие В) серебро, золото
4) основные тяжёлые Г) магний, алюминий
Д) кадмий, сурьма
2.Найти правильное окончание фразы: «Сплав меди с оловом называют …»:
А) силумин; Б) бронза; В) мельхиор.
3.Назовите сульфидный минерал меди:
А) халькопирит; Б) куприт; В) хризоколла.
4.Какое содержание (%) кислорода в технологическом кислороде:
А) 40-50;
Б) 75-80;
В) 94-96.

5. Назовите основные продукты отражательной плавки на штейн медных концентратов:
А) штейн; Б) файнштейн; В) шлак; Г) черновой металл; Д) шлам.
6.Найти правильное окончание фразы: «Температура при электроплавке медных и медно-никелевых концентратов поддерживается за счет тепла, полученного за счет …»:
А) экзотермических реакций;
Б) преобразования электрической энергии в тепловую;
В) преобразования потенциальной энергии в кинетическую.
7. Найти правильное окончание фразы: «Желательным химическим соединением железа, образующимся при окислении сульфидов железа в автогенной плавке, является …»:
А) FeO; Б) 2FeO·SiO2; В) Fe3O4.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	**Хорошо**	**Удовлетворительно**	**Неудовлетворительно**
Демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей применяемых технологических процессов получения тяжелых цветных металлов (меди, никеля) 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.	Не в полной мере демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей применяемых технологических процессов получения тяжелых цветных металлов (меди, никеля) и режимы проведения технологических операций, а также демонстрирует неполные знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений.	Слабо демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей применяемых технологических процессов получения тяжелых цветных металлов (меди, никеля) и режимы проведения технологических операций, а также демонстрирует незначительные знания основных причин нарушения работы металлургических процессов и параметров, влияющих на эффективность работы предприятия, а также диапазонов их оптимальных значений.	Не демонстрирует способность сформулировать перечень и диапазон значений производственных показателей применяемых технологических процессов получения тяжелых цветных металлов (меди, никеля) 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.

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

6.2.2.2.1 Описание процедуры

Зачет состоит из 2-х частей.
1 часть - подраздел «Рафинирование чернового свинца» обучающийся сдает в виде теста.
2 часть – устное собеседование по одному из теоретических вопросов, вынесенных на зачет с оценкой.
Для успешной сдачи зачета обучающемуся заранее выдаются контрольные вопросы.
Назвать типы свинецсодержащих руд, основные минералы: принцип выбора той или иной технологии переработки
2. Виды обжига, применяемого в металлургии свинца: обосновать цель и назначение каждого.
3. Виды агломерационных машин, их достоинства и недостатки, показатели
4. Практика шахтной плавки. Продукты плавки, их состав. Показатели процесса.
5. Способы получения металлического цинка: теоретические основы технологий.
6. Обжиг цинковых концентратов в печах «кипящего слоя»: обосновать выбор основного оборудования.
7. Назвать две стадии основной технологической схемы гидрометаллургической переработки цинкового огарка: обосновать назначение каждой.
8. Выщелачивание цинкового огарка серной кислотой, химизм процесса: требования к электролиту для электролитического получения цинка.
9. Анодный и катодный процессы, практика электроосаждения цинка: показатели процесса.
10. Что используется в качестве флюса при переплавке катодного цинка? Назначение флюса.

<u>Пример задания:</u>

Пример теста
1. Сколько примесей содержит черновой свинец, полученный методом шахтной восстановительной плавки:
А) 0,5%;
Б) 20-30%;
В) 2-10%.
2. Какие причины способствуют замедлению сульфидирования чернового свинца при тонком обезмеживании, обеспечивая полную очистку его от Cu:
А) присутствие в свинце Sn, Ag;
Б) повышение температуры;
В) продувка свинца воздухом.
3. Какой продукт от обезмеживания чернового свинца направляется на отдельную специальную переработку с целью выделения Cu, Pb и других ценных металлов:
А) “сухие” шликеры;
Б) “жирные” шликеры;
В) сульфидные шликеры.
4. С помощью какого элемента (элементов или соединений) проводится процесс обестеллуривания чернового свинца:
А) натрий;
Б) сера;

В) натриевая селитра.
5. На чем основаны способы очистки чернового свинца от As, Sn и Sb:
А) на бóльшем сродстве этих элементов к сере, чем у свинца;
Б) на бóльшем сродстве этих элементов к кислороду, чем у свинца;
В) на ликвации.
6. В виде какого соединения находится Ag в серебросодержащей пене:
А) Ag;
Б) AgZnm ;
В) Ag2O.
7. Найти неточность при описании процесса переработки висмутовых дроссов:
А) дроссы переплавляют под слоем NaOH и NaNO3 (с получением висмутистого свинца) для очистки от Ca и Mg;
Б) при электролизе висмут переходит в шлам, содержащий 90% Bi;
В) время электролиза – 2 часа.
8. Цель качественного рафинирования:
А) очистка от благородных металлов;
Б) очистка от Ca, Mg, Sb;
В) очистка от As, Sn, Sb.
9. Найти неточность при описании процесса электролитического рафинирования чернового свинца:
А) этот метод обеспечивает получение рафинированного свинца чистотой 99,9%;
Б) анодный процесс электролиза Pb: Pb – 2e = Pb2+;
В) плотность тока при электролизе – 130-180 А/м2.

6.2.2.2.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено

7 Основная учебная литература

1. Зайцев Владимир Яковлевич. Металлургия свинца и цинка : учеб. пособие по спец. "Металлургия цв. металлов" / Владимир Яковлевич Зайцев, Е.В. Маргулис, 1985. - 263.

2. Процессы и аппараты цветной металлургии : учеб. для вузов по направлению "Металлургия" и специальности "Металлургия цв. металлов" / Под ред. С. С. Набойченко, 1997. - 655.

3. Лоскутов Ф. М. Металлургия свинца : учеб. пособие для металлург. специальностей вузов / Ф. М. Лоскутов, 1965. - 528.

4. Воскобойников В. Г. Общая металлургия : учеб. для вузов по направлению "Металлургия" / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев, 2005. - 764.

5. Клёц В. Э. Основы пирометаллургических производств : учебное пособие для вузов по направлению "Металлургия" / В. Э. Клёц; В. Э. Клец, Н. В. Немчинова, В. С. Кокорин, 2009. - 143.

6. Металлургия меди, никеля и кобальта. (Альтернативный курс) : учеб. пособие для металлург. вузов и фак.: в 2 ч. / В. И. Смирнов [и др.]. Ч. 1 : Металлургия меди, 1964. - 462.

7. Металлургия меди, никеля и кобальта. (Альтернативный курс) : учеб. пособие для металлург. вузов и фак.: в 2 ч. / В. И. Смирнов [и др.]. Ч. 2 : Металлургия никеля и кобальта, 1966. - 405.

8. Лоскутов Ф. М. Расчеты по металлургии тяжелых цветных металлов : учеб. пособие для металлург. вузов и фак. / Ф. М. Лоскутов, А. А. Цейдлер, 1963. - 591.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Цейдлер А. А. Металлургия меди и никеля : учебник для горно-металлургических вузов / А. А. Цейдлер, 1958. - 391.

2. Автогенные процессы в цветной металлургии / В.П. Быстров, А.В. Тарасов, В.В. Мечев, 1991. - 412.

3. Металлургия тяжелых цветных металлов : метод. указания по выполнению лаб. работ / Иркут. гос. техн. ун-т, 2001. - 49.

4. Романтеев Ю. П. Металлургия тяжелых цветных металлов : Свинец. Цинк. Кадмий / Ю. П. Романтеев, В. П. Быстров, 2010. - 574.

5. Металлургия тяжелых цветных металлов : методические указания по выполнению лабораторных работ / Иркут. гос. техн. ун-т, 2012. - 43.

6. Металлургия тяжелых цветных металлов : методические указания для самостоятельной работы студентов / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2014 (обл. 2013). - 15 с., включ. обл.

7. Металлургия тяжелых цветных металлов : методические указания к практическим занятиям: по направлению подготовки 22.03.02 "Металлургия": программа бакалавриата / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 52.

8. Лисиенко. Оборудование промышленных предприятий : справочное издание: в 6 т. Т. 1 : Развитие цветной металлургии. Тяжелые цветные металлы, 2010. - 720.

9. Рафинирование меди [Электронный ресурс] : учебное пособие / под ред. В. П. Жукова, 2010. - 3.

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

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Проектор "Epson EB-S18"

2. Мешалка верхнепривадная JJ-5 220V

3. Весы технические лабораторные "ВТ-300"

4. Муфельная печь ЭКПС 10 (1100*С, 10л,материал камеры-волокно МКРВ)

5. Полупромышленная установка для экстракции в растворе SXK-1 Kinetics

6. Сушильный шкаф ШС-80-01 СПУ

7. Шахтная вертикальная муфельная печь СНОШ 0,9х2,5\12-2\220.

8. Установка для электролиза (выпрямитель, ячейка, ошиновка, электроды)

9. Установка для титрования

10. Химический лабораторный автоклав

11. Реагенты, концентраты и т.п. для выполнения лабораторных работ