

**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**

**«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛУРГИИ»**

---

Направление: 22.04.02 Металлургия

---

Совершенствование и оптимизация технологических процессов производства цветных металлов

---

Квалификация: Магистр

---

Форма обучения: очная

---

Документ подписан простой электронной подписью  
Составитель программы: Немчинова Нина Владимировна  
Дата подписания: 05.05.2026

Документ подписан простой электронной подписью  
Утвердил и согласовал: Немчинова Нина Владимировна  
Дата подписания: 05.05.2026

Год набора – 2026

Иркутск, 2025 г.

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

## 1.1 Дисциплина «Современные проблемы металлургии» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ОПК-5 Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в отрасли металлургии и смежных областях	ОПК-5.1, ОПК-5.2

## 1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ОПК-5.1	Демонстрирует умение оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований в области металлургии, систематизируя и обобщая достижения	<b>Знать</b> основные результаты научно-технических разработок, научных исследований в выбранном направлении металлургии <b>Уметь</b> оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований в области металлургии <b>Владеть</b> навыками обоснования собственного выбора направления исследований и(или) разработок, систематизируя и обобщая достижения в соответствующей отрасли металлургии
ОПК-5.2	Демонстрирует умение обосновывать выбор оптимального решения проблем в области металлургии, систематизируя и обобщая достижения в данных областях на основе оценки результатов разработок и исследований	<b>Знать</b> основные результаты научно-технических разработок, научных исследований в области повышения качества готовой металлургической продукции <b>Уметь</b> оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований в области повышения качества готовой металлургической продукции <b>Владеть</b> навыками обоснования собственного выбора направления исследований и(или) разработок, систематизируя и обобщая достижения в соответствующей отрасли металлургии по получения качественной готовой продукции

## 2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Современные проблемы металлургии» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: Нет

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Учебная практика: ознакомительная практика», «Производственная практика: технологическая (проектно-технологическая) практика», «Переработка отходов металлургического производства», «Производственная практика: научно-исследовательская работа (научно-исследовательский семинар)»

### 3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 4 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Семестр № 1	Семестр № 2
Общая трудоемкость дисциплины	144	108	36
Аудиторные занятия, в том числе:	43	30	13
лекции	28	15	13
лабораторные работы	0	0	0
практические/семинарские занятия	15	15	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	65	42	23
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен, Зачет	Экзамен	Зачет

### 4 Структура и содержание дисциплины

#### 4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

##### Семестр № 1

№ 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	Основные современные принципы переработки сырья цветных металлов и кремния, достижения, проблемы	1	1			6	3	1, 2, 3, 4	26	Творческое задание

	отрасли									
2	Современное состояние и проблемы развития производства первичного алюминия; основные научные достижения.	2, 7, 8	8			1, 3	6	2, 4	10	Тест
3	Современные проблемы производства тяжелых цветных металлов	3	2			4	4	2	4	Решение задач
5	Современное состояние производства благородных металлов	5	2			5	2	2	2	Решение задач
6	Современное состояние, основные научные достижения и проблемы производства технического кремния	6	2							
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		15				15		78	

## Семестр № 2

№ 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	Проблемы повышения качества металлов. Теоретические основы процессов пирометаллургического рафинирования цветных металлов и кремния	1, 2	6					1, 2	15	Реферат
2	Рафинирование черного свинца и цинка	3	4					3	4	Решение задач
3	Рафинирование алюминия и кремния	4	3					3	4	Решение задач
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		13						23	

## 4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

### Семестр № 1

№	Тема	Краткое содержание
1	Основные современные принципы переработки сырья цветных металлов и кремния, достижения, проблемы отрасли	Современная металлургическая промышленность России представляет собой мощнейшую комплексную отрасль промышленности. Цветная металлургия продолжает оставаться в числе ключевых отраслей промышленности, она вносит существенный вклад в экономику страны, обладает высокой динамикой роста. Главной целью дальнейшего преобразования отрасли является повышение ее технологичности, эффективности и конкурентоспособности на мировом рынке. Такие высокие позиции страна Россия удерживает благодаря наличию уникальной сырьевой базы цветных металлов, что позволяет ей входить в десятку стран по обеспеченности сырьем, а по запасам никеля, олова, цинка и титана ей принадлежит первое место. Многие подотрасли отечественной цветной металлургии располагают рядом крупных резервных разведанных месторождений. Таких месторождений около 20, треть из них находится в разработке. Наиболее развитыми горнорудными районами российской цветной металлургии являются Кольский полуостров, Северный Кавказ, Урал, Восточная Сибирь и Дальний Восток.
2	Современное состояние и проблемы развития производства первичного алюминия; основные научные достижения.	Запасы бокситов, основного сырья алюминиевой промышленности, очень ограничены — в мире всего семь бокситоносных районов. Алюминиевая отрасль отличается жесткой конкуренцией и высокой концентрацией. На долю шести крупнейших в мире производителей алюминия приходится более 40% мирового производства крылатого металла. Основные тенденции развития мировой алюминиевой промышленности базируются на следующих направлениях: строительство новых мощностей в форме интегрированных металлургических комплексов; повышение энергоэффективности действующих предприятий; интенсификация действующих производств; экология; увеличение выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью; поиск новых технологий производства алюминия; переработка низкосортного сырья и альтернативные технологии производства глинозема. Основные проблемы отрасли - дефицит сырья (глинозема) и накопление значительных объемов твердых отходов. Основные научные достижения для решения данных проблем.

3	Современные проблемы производства тяжелых цветных металлов	<p>Создание малоотходной и безотходной технологии на предприятиях цветной металлургии предполагает наиболее полное извлечение всех ценных составляющих, комплексную переработку твердых отходов производства с доизвлечением металлов и утилизацией нерудной части в строительстве и других отраслях народного хозяйства, улавливание и утилизацию отходящих газов, использование замкнутых схем водопользования. Особенность металлургии тяжелых цветных металлов - большое разнообразие руд и концентратов, которые поступают на металлургические заводы. Практически все руды цветных металлов являются комплексными, в том числе и медно-цинковые руды Урала, Восточного Казахстана, Северного Кавказа, которые содержат медь, цинк, свинец, благородные и редкие металлы. Истощение богатых руд и постоянное снижение содержания основных металлов в минеральном сырье приводят к увеличению объема добычи и переработки руд, поэтому экономия сырья - чрезвычайно важная задача, решение которой во многом заключается в повышении комплексности переработки сырья.</p>
5	Современное состояние производства благородных металлов	<p>Несмотря на низкое содержание благородных металлов в рудах, во всем мире в производство этих металлов вкладывают огромные средства: в геологическую разведку, горные работы, в обогащение, металлургию и технологию получения изделий. И эти затраты окупаются. Извлечение золота из коренных руд, представляющих монолитное рудное тело, требует применения дорогостоящих энергоёмких процессов предварительного дробления и измельчения (для высвобождения металлических включений золота) с последующим использованием гравитационных (для более крупного металла), флотационных или гидрометаллургических (для тонкого металла) методов. Извлечение золота из россыпных руд значительно проще и дешевле. Поэтому россыпные месторождения разрабатывают даже при очень низком содержании в них золота, вплоть до 100 мг/м<sup>3</sup> породы (кларк концентрации при этом порядка 10<sup>2</sup>).</p>
6	Современное состояние, основные научные достижения и проблемы производства технического кремния	<p>Современное производство кремния для различных отраслей промышленности зависит от объемов производства металлургического (технического) кремния. В области производства кремния (восстановлением кремнезёмсодержащего сырья углеродистым восстановителем в</p>

		<p>электродуговых печах) в нашей стране накоплен богатейший опыт, который обеспечивает высокие технологические показатели металлургического производства на уровне лучших зарубежных производителей кремния. В Восточной Сибири и на Урале, обладающими сравнительно дешёвыми топливно-энергетическими ресурсами, проблемы оптимизации и интенсификации производства кремния стоят достаточно остро в связи с возросшей потребностью в нём. Технология выплавки кремния в руднотермических печах (РТП), относящихся к рудовосстановительным печам, может быть описана одной основной реакцией: <math>\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}</math>.</p>
--	--	--

## Семестр № 2

№	Тема	Краткое содержание
1	Проблемы повышения качества металлов. Теоретические основы процессов пирометаллургического рафинирования цветных металлов и кремния	Показатели качества металлов. Стандартизация качества металлов и металлических изделий и деталей. Стандарты качества международные, государственные (национальные) и региональные. Технические условия как нормативный документ. Общая характеристика продукции металлургического предприятия. Основные положения и понятия. Классификация методов рафинирования. Электролитическое рафинирование металлов. Ликвация. Окислительно-восстановительное, щелочное рафинирование. Дистилляция, ректификация, вакуумирование. Кристаллизационные методы очистки для получения металлов и кремния особой чистоты.
2	Рафинирование черного свинца и цинка	Технологическая схема пирометаллургического рафинирования черного свинца. Практика проведения процессов очистки свинца. Ликвационное, дистилляционное, химическое и ректификационное рафинирование цинка. Практика процесса очистки цинка.
3	Рафинирование алюминия и кремния	Хлорирование. Электролитическое рафинирование алюминия. Виды рафинирования технического кремния. Окислительное рафинирование кремния. Технология рафинирования и разлива кремния.

### 4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

### 4.4 Перечень практических занятий

## Семестр № 1

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Составление материального баланса процесса электролиза криолит-глиноземных расплавов	2
3	Тепловой баланс выплавки кремния в руднотермической печи	4
4	Расчет рационального состава концентратов тяжелых цветных металлов	4
5	Расчет производительности оборудования при переработке золотосодержащей руды	2
6	Современные проблемы металлургической отрасли	3

#### 4.5 Самостоятельная работа

##### Семестр № 1

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение письменных творческих работ (писем, докладов, сообщений, ЭССЕ)	10
2	Подготовка к практическим занятиям	15
3	Решение специальных задач	9
4	Тест (СРС)	8

##### Семестр № 2

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание реферата	10
2	Подготовка к зачёту	5
3	Решение специальных задач	8

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: тренинг, разбор конкретных ситуаций

#### 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

Практические занятия предназначены для закрепления навыков решения практических задач в области металлургии.

За время, отведенное на подготовку к практическим занятиям, студент должен изучить материал по теме практического занятия и предварительно к нему подготовиться. При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо работать с источниками, указанными в списке рекомендуемой литературы, интернет-ресурсами, презентациями.

План занятий

1. Ознакомление с теоретическими аспектами темы, вынесенной на занятие.
2. Разбор конкретных примеров решения задач, обсуждение, выявление положительных и отрицательных аспектов обсуждаемой проблемы; решение задач по вариантам (по списку группы).

### 3. Формулировка предложений и рекомендаций.

При подготовке к практическому (семинарскому) занятию следует в первую очередь рассмотреть вопросы по теме занятия. При подготовке к практическим занятиям необходимо проработать литературу, указанную преподавателем, в объеме изучаемой темы. Самостоятельное изучение разделов курса производится с использованием литературных источников и интернет-ресурсов.

Пример практического занятия на тему: «Тепловой баланс выплавки кремния в руднотермической печи»)

Краткие теоретические сведения

В Восточной Сибири и на Урале, обладающими сравнительно дешёвыми топливно-энергетическими ресурсами, проблемы оптимизации и интенсификации производства кремния стоят достаточно остро в связи с возросшей потребностью в металлургическом кремнии.

Электродуговые печи (руднотермические печи (РТП)) нашли наиболее широкое распространение в чёрной и цветной металлургии, химической промышленности. Превращение электрической энергии в тепловую происходит в них при электрическом разряде (дуге): между электродами возникает термическая ионизация газа, и в межэлектродном пространстве в столбе дуги образуется смесь электронов, ионизированных и нейтральных атомов и молекул, способных проводить электрический ток.

Наибольшее распространение для производства кремния получили круглые трёхэлектродные и прямоугольные шестиэлектродные печи средней мощности. Для любого металлургического агрегата необходимо эффективно использовать подведенную электроэнергию с соблюдением теплового баланса. Поэтому знание статей прихода и расхода тепла в, частности, РТП является необходимым условием для достижения показателей эффективной работы любой пирометаллургической технологии.

Задание:

Рассчитать тепловой баланс выплавки кремния в руднотермической печи (по варианту согласно списку группы).

Дано:

Для расчета прихода тепла

Таблица 1

Состав кварцита, масс. %

Вар.	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	99,77	0,08	0,03	0,125
2	99,668	0,10	0,025	0,13
3	99,71	0,09	0,021	0,115
4	99,69	0,085	0,02	0,122
5	99,72	0,075	0,018	0,119
6	99,75	0,082	0,019	0,124
7	99,695	0,077	0,022	0,12
8	99,705	0,083	0,019	0,121
9	99,697	0,074	0,023	0,117
10	99,66	0,079	0,029	0,123

Таблица 2

Расход углеродных материалов на 100 кг кварцита, кг

Вар.	Н/кокс	Др. уг.	Кам. уг.	Др. щепы	Уг. эл-ды
1	11,0	20,0	35,1	58,1	3,35

2	11,5	22,0	35,75	55,5	3,25
3	10,5	21,5	35,05	57,5	3,31
4	12,1	20,5	33	56,5	3,32
5	9,95	22,5	35,7	58,5	3,4
6	10,1	20,78	35,5	57,0	3,35
7	10,2	20,05	34,5	58,2	3,33
8	10,3	20,7	34,0	58,05	3,37
9	10,4	19,9	35,2	57,9	3,29
10	10,6	21,01	35,0	58,0	3,28

Для расчета расхода тепла

Таблица 3

Расплав кремния, масс. %

Вар.	Si	Fe	Al	Ca
1	43,061	0,1673	0,1693	0,1432
2	43,062	0,1682	0,1674	0,1435
3	43,085	0,168	0,1683	0,1436
4	43,059	0,166	0,1687	0,1462
5	43,055	0,161	0,1682	0,1468
6	43,049		0,17	0,1692 0,1445
7	43,053		0,171	0,1673 0,1437
8	43,056		0,16	0,1691 0,1426
9	43,052	0,167	0,1679	0,1429
10	43,058	0,163	0,1689	0,1437

Таблица 4

Состав шлака, масс. %

Вар.	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
1	1,42	0,041	0,314	0,271
2	1,397	0,034	0,321	0,277
3	1,395	0,048	0,32	0,274
4	1,405	0,047	0,33	0,269
5	1,4	0,043	0,305	0,279
6	1,391	0,04	0,311	0,278
7	1,41	0,042	0,312	0,269
8	1,415	0,044	0,313	0,27
9	1,385	0,039	0,316	0,275
10	1,39	0,038	0,299	0,273

SiO<sub>2</sub> – 5,9, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,08; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,61, CaO – 0,53; остальное – др. составляющие.

Таблица 5

Состав пыли, масс. %

Вар.	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
1	6,01	0,085	0,65	0,536
2	5,92	0,087	0,68	0,563
3	5,99	0,09	0,63	0,539
4	5,95	0,075	0,615	0,543
5	5,94	0,089	0,6	0,548
6	5,96	0,08	0,605	0,551
7	5,98	0,079	0,64	0,557
8	5,89	0,077	0,635	0,564

9	5,88	0,078	0,63	0,555
10	5,85	0,08	0,631	0,531

Таблица 6

Количество и состав отходящих газов

Вар.	Кол-во газов, кг	Состав отходящих газов, масс.% ( =100%)				
		CO	CO2	CH4	H2	O2
1	246,865	90,0	4,45	1,55	3,5	0,5
2	246,798	90,5	4	1,5	3,5	0,5
3	246,156	89,0	5,15	1,45	4,0	0,4
4	245,973	89,5	4,55	1,5	4,0	0,45
5	246,387	90,1	4,8	1,6	3,0	0,5
6	247,0	90,15	4,95	1,4	3,0	0,5
7	246,999	90,05	4,85	1,5	2,9	0,7
8	246,8	89,55	5,31	1,49	2,85	0,8
9	246,905	90	4,89	1,51	3,1	0,5
10	246,901	90,0	5,35	1,5	2,7	0,45

Таблица 7

Масса влаги (Мв) в шихте

Вар.	1	2	3	4	5	6	7			
	8	9	10							
Мв, кг	14,63	14,72	14,84	14,55	14,57	14,49	14,42	14,51	14,5	14,52

Таблица 8

Потери тепла в окружающую среду печью и принимаемые потери электрической мощности на нагрев элементов короткой сети

Вар.	Выделение тепла в окружающую среду РТП, кДж	Потери, %
1	65250,65	8,35
2	75250,25	8,32
3	75215,15	8,23
4	77210,05	8,14
5	68980,65	8,18
6	70320,75	8,19
7	76575,05	8,25
8	77325,25	8,28
9	73210,10	8,24
10	69000,05	8,22

Приход тепла в ванну РТП осуществляется следующим путем:

- за счет преобразования электрической энергии в тепловую (электрическая дуга);
- за счет физического тепла шихтовых материалов.

Расход внесенного тепла в ванну печи осуществляется по следующим статьям:

- на протекание эндотермических реакций;
- в виде физического тепла расплава кремния;
- в виде физического тепла печного шлака;
- в виде физического тепла отходящих газов;
- в виде физического тепла образовавшейся пыли; - на нагрев и испарение воды из шихтовых материалов;
- потеря тепла в окружающую среду футеровкой ванны печи;
- потери электрической мощности на нагрев элементов короткой сети.

Для выполнения теплового баланса плавки нам необходимы следующие термодинамические величины.

Энтальпия оксидов  $\Delta H$ , кДж/кг.моль:

SiO<sub>2</sub> – 862680; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1676178; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 825300; CaO – 637980; CO – 110947.

Средние теплоёмкости оксидов при 25°C составляют, кДж/кг·град:

SiO<sub>2</sub> – 0,7858; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,8925; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,6510; CaO – 0,7358.

Теплоёмкость металлов и кремния в расплавленном состоянии, кДж/кг·град:

Si – 0,8568; Al – 1,2936; Fe – 1,05; Ca – 0,7014.

Теплоёмкость газов, кДж/кг·град:

CO – 1,39; CO<sub>2</sub> – 2,1; CH<sub>4</sub> – 2,5; H<sub>2</sub> – 1,32; O<sub>2</sub> – 1,45.

Решение:

Расчет теплового баланса проводится по примеру расчета, выданного преподавателем.

Ответ:

Все расчеты по тепловому балансу выплавки кристаллического (металлургического) кремния сводятся в итоговую таблицу.

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС:

Обучающийся знакомится с РПД, в которой указан перечень практических занятий и рекомендуемая основная и дополнительная литература, интернет-ресурсы.

Критерии оценки качества выполнения задания на практическом занятии

Активная работа обучающегося на практическом занятии (анализ полученных в результате расчетов результатов, предложение путей изменения исходных данных для достижения правильности расчета, баланса и т.п.).

Современные проблемы металлургии и материаловедения [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям по направлению подготовки 22.04.02 "Металлургия" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 39 с.

### **5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:**

Выполнение научно-технического обзора (отчета) по тематике научного направления. Цель. Приобрести опыт самостоятельной творческой деятельности в области изучения современного состояния и проблем металлургической отрасли (применительно к направлению научного исследования магистранта).

Задание на СРС.

Данный вид СРС предполагает индивидуальное самостоятельное выполнение письменной работы (научно-технического обзора по вопросам современного состояния отрасли производства цветной металлургии, в которой предполагается выполнение выпускной квалификационной работы) по тематике научного исследования с использованием рекомендуемых литературы и информационных ресурсов.

Требования к форме и содержанию отчетных материалов

В начале семестра магистрант выбирает научное направление будущей выпускной квалификационной работы в рамках выбранного направления подготовки 22.04.02 «Металлургия». После самостоятельного изучения рекомендуемой литературы на последней неделе семестра магистрант должен предоставить преподавателю отчетный документ по данному виду СРС.

Рекомендации по выполнению задания.

Обучающийся при выполнении данного вида СРС может пользоваться как рекомендуемой литературой и информационными ресурсами, так и подбирать и использовать новые информационные источники по тематике научно-технического обзора.

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС

В начале семестра выдается задание на написание научно-технического обзора по тематике выбранного научного направления.

Критерии оценки качества выполнения данного вида СРС

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

#### 5.1.2.2 Подготовка к практическим занятиям

Цель

Формирование в ходе занятий компетенций, развитие навыков металлургических расчетов применительно к металлургическим технологиям.

Задание на СРС

Изучить основную и дополнительную литературу по теме предстоящего практического занятия.

Рекомендации к выполнению задания

При подготовке к практическому (семинарскому) занятию следует в первую очередь рассмотреть вопросы по теме занятия. При подготовке к практическим занятиям необходимо проработать литературу, указанную преподавателем, в объеме изучаемой темы. Самостоятельное изучение разделов курса производится с использованием литературных источников и интернет-ресурсов.

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС

Обучающийся знакомится с РПД, в которой указан перечень практических занятий и рекомендуемая основная и дополнительная литература.

Контроль за выполнением СРС: активная работа обучающегося на практическом занятии (анализ полученных в результате расчетов результатов, предложение путей изменения исходных данных и т.п.).

#### 5.1.2.3 Решение специальных задач

Цель

Проверить усвоение методики металлургических расчетов как способность использования фундаментальных инженерных знаний в профессиональной деятельности .

Задание на СРС.

Обучающийся после каждого практического занятия самостоятельно решает свой вариант задачи и сдает преподавателю перед началом следующего занятия.

Тест (СРС)

Целью подготовки к текущему контролю знаний (тестированию) является закрепление знаний по теме №2 «Современное состояние и проблемы развития производства первичного алюминия»

Для текущего контроля знаний обучающихся по данной дисциплине предусмотрен тест.

При подготовке к тесту обучающемуся необходимо проработать теоретический материал дисциплины.

Задание на СРС

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

Рекомендации по выполнению заданий

Для успешного выполнения тестирования обучающемуся рекомендуется воспользоваться конспектом лекций, интернет-ресурсами и закрепить теоретические сведения изучением дополнительной литературы.

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС

Подготовка к тестированию осуществляется по теме №2 и проводится после освоения материала данного раздела.

Критерии оценки качества выполнения данного вида СРС

Правильность ответов на вопросы теста – более 50%.

## **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 1 | Решение задач**

##### **Описание процедуры.**

Цель. Приобрести опыт самостоятельного решения металлургических задач.  
Задание на СРС. В начале семестра обучающемуся выдается задание по темам. Данный вид СРС предполагает индивидуальное выполнение письменной работы по вариантам. Требования к форме и содержанию отчетных материалов. После самостоятельного изучения литературы на последней неделе семестра обучающийся должен предоставить преподавателю отчетный документ (допускается в электронном виде) по данному виду СРС в виде решенных задач.  
Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС. В начале семестра выдается задание.

##### **Критерии оценивания.**

Правильность решения.

#### **6.1.2 семестр 1 | Тест**

##### **Описание процедуры.**

Темы (разделы): «Современное состояние и проблемы развития производства первичного алюминия»

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:

1. Найти лишнее название завода ОК «РУСАЛ», не производящего глинозем:

- А) Eurallumina
- Б) Богословский алюминиевый завод
- В) Кандалакшский алюминиевый завод
- Г) Уральский алюминиевый завод

2. На каком месте находится Россия по объему производства алюминия в 2019 г.:

- А) на 2-ом
- Б) на 3-ем
- В) на 1-ом
- Г) на 4-ом

3. Найти государство, на территории которого нет предприятий ОК «РУСАЛ»:

- А) Гвинея
- Б) Гайана
- В) Гана
- Г) Украина

4. Какая отрасль потребления Al имеет большее распространение (среди приведенных

ниже):

А) транспорт

Б) машиностроение

В) фольга

Г) упаковка

5. Найти правильное расположение стран-производителей алюминия по объемам производства алюминия в 2022 г.:

А) Китай, Канада, ОАЭ, Россия

Б) Китай, Индия, Россия, Канада

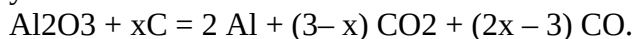
В) Китай, Россия, Индия, Австралия

Г) Китай, США, Россия, Индия

6. Найти неточность при описании процесса получения первичного алюминия:

А) Схема получения Al: «добыча руды, содержащей  $Al_2O_3$ , – измельчение руды – получение глинозема – электролиз криолит-глиноземных расплавов – выделение алюминия на катоде».

Б) Основная химическая реакция получения алюминия электролизом в промышленных условиях:



В) Лучшим сырьем для получения первичного алюминия электролизом криолит-глиноземных расплавов является глинозем, полученный из алунитов.

Г) Процесс получения первичного алюминия осуществляется на электролизерах с самообжигающимися анодами и с предварительно обожженными анодами.

7. Найти правильное соотношение:

А) Основоположником(ами) промышленного способа

получения Al электролизом расплавов являе(ю)тся:

1. Ч. Холл

2. Ж. Гей-Люссак

3. П. Эру

4. Г.Х. Эрстэд

5. Р. Нобель

### **Критерии оценивания.**

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

### **6.1.3 семестр 1 | Творческое задание**

#### **Описание процедуры.**

Тема (раздел)

№1 «Основные современные принципы переработки сырья цветных металлов и кремния»

Описание процедуры:

Данный вид СРС предполагает индивидуальное самостоятельное выполнение письменной работы (научно-технического обзора) по предложенной тематике с использованием перечня рекомендуемой литературы, информационных ресурсов. В начале семестра обучающийся выбирает одну из предложенных тем для написания научно-технического обзора (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 (текст обзора должен быть выполнен с помощью ПК, на листах белой бумаги

формата А4, иметь титульный лист). Допускается сдача выполненного задания преподавателю в электронном виде.

Вопросы для контроля:

Примерная тематика научного направления для написания обзора:

1. Современное состояние алюминиевой отрасли России.
2. Компания «РУСАЛ» - крупнейший производитель алюминия и изделий из него в мире.
3. Современное состояние черной металлургии.
4. Переработка отходов алюминиевого производства.
5. Экологические проблемы предприятия цветной металлургии.
6. Моделирование металлургических процессов.
7. Карботермия кремния: тенденции современного развития.
8. Переработка упорных золотосодержащих руд.
9. Кучное выщелачивание.
10. Отходы золотоперерабатывающих предприятий.
11. Поиск альтернативных сырьевых источников для выплавки кремния.
12. Окомкование шихты в металлургии кремния.
13. Методы исследования фазово-химического состава образцов металлургического кремния.
14. Разработка технологии обогащения золотосодержащей руды для последующей пирометаллургической схемы ее переработки.
15. Роль аналитических методов исследований в металлургии

### **Критерии оценивания.**

Полнота раскрытия темы, предлагаемой для написания научно-технического обзора по выбранной теме; перечень используемых источников и уровень компилятивности по тематике; качество оформления: % процент оригинальности по системам проверки «Антиплагиат» и «Рукобукс» (научно-технический обзор считается выполненным при не менее 50 % оригинального текста). Оформление - в соответствии с СТО.005-2020

### **6.1.4 семестр 2 | Реферат**

#### **Описание процедуры.**

Тема «Теоретические основы процессов пирометаллургического рафинирования цветных металлов и кремния»

Описание процедуры:

После самостоятельного изучения рекомендуемой литературы на последней неделе семестра обучающийся должен предоставить преподавателю отчетный документ по данному виду СРС в виде реферата (текст реферата должен быть выполнен на ПК, на листах белой бумаги формата А4).

Вопросы для контроля:

Примерная тематика рефератов

1. Карбонилирование как способ пирометаллургического рафинирования цветных металлов.
2. Аппаратурное оформление способа выращивания монокристаллов кремния по методу Чохральского.
3. Аппаратурное оформление процесса непрерывного обезмеживания черного свинца.
4. Переработка щелочных плавов после рафинирования свинца от мышьяка, олова и сурьмы.
5. Способы переработки висмутовых дрессов.

6. Аппаратурное оформление процесса ректификационного рафинирования черного цинка.
7. Переработка промежуточных продуктов при рафинировании черного цинка.
8. Диаграмма состояния «Pb-Zn».
9. Устройство стационарной отражательной печи для рафинирования меди.
10. Устройство и поворачивающейся (поворотной) печи для рафинирования меди.
11. Основные конструктивные особенности электролизера для рафинирования алюминия, показатели процесса.
12. Теоретические основы получения алюминия высокой чистоты зонной плавкой.
13. Виды аппаратурно-технологических схем рафинирования и разлива кремния.
14. Характеристика продуктов рафинирования кремния.
15. Новые направления в области рафинирования кремния.
16. Краткое описание диаграмм состояния кремния с примесными элементами (железо, алюминий, кальций).
17. Карботермический способ получения кремния высокой чистоты: преимущества и перспективы.

### **Критерии оценивания.**

- глубокая теоретическая проработка исследуемых проблем на основе анализа изученных источников;
- всестороннее использование статистических и других необходимых аналитических данных и сведений, характеризующих рассматриваемые процессы;
- умелая систематизация изучаемого материала, обобщению и выделению главного;
- аналитический и критический подход к изучаемым фактам в интересах проблемы, поставленной в работе;
- аргументированность выводов, обоснованности предложений и рекомендаций;
- логичность, последовательность и самостоятельность изложения решаемой проблемы.

## **6.1.5 семестр 2 | Решение задач**

### **Описание процедуры.**

Цель. Приобрести опыт самостоятельного решения металлургических задач. Задание на СРС. В начале семестра обучающемуся выдается задание по темам. Данный вид СРС предполагает индивидуальное выполнение письменной работы по вариантам. Требования к форме и содержанию отчетных материалов. После самостоятельного изучения литературы на последней неделе семестра обучающийся должен предоставить преподавателю отчетный документ (допускается в электронном виде) по данному виду СРС в виде решенных задач. Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС. В начале семестра выдается задание.

### **Критерии оценивания.**

Правильность решения.

## **6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

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

<b>Индикатор достижения компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации</b>
ОПК-5.1	Умеет оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований в выбранном направлении металлургии, систематизируя и обобщая достижения в соответствующей отрасли металлургии, для решения проблем отрасли	Устное собеседование по вопросам экзаменационного билета
ОПК-5.2	Демонстрирует умение обосновывать выбор оптимального решения проблем получения качественной металлургической продукции в области металлургии (первичных металлов), систематизируя и обобщая достижения в данных областях на основе оценки результатов разработок и исследований	Зачет в виде тестирования

## **6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации**

### **6.2.2.1 Семестр 1, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине**

#### **6.2.2.1.1 Описание процедуры**

Экзамен проводится в виде устного собеседования по вопросам экзаменационного билета и обсуждению предлагаемого обучающимся решения конкретной возможной проблемной ситуации на металлургическом предприятии.

#### Пример задания:

Для проведения экзамена (семестр №1) предусмотрены экзаменационные билеты, каждый из которого включает 2 задания: 1 – ответ на теоретический вопрос (возможно в виде теста); 2 - предложение решения проблемной ситуации в металлургическом производстве.

#### 1. Типовые вопросы к экзамену:

1.1 Какие основные экологические проблемы алюминиевого производства? основные ученые в данной области.

1.2 Современное состояние сырьевой базы производства алюминия и источники ее пополнения

1.3 Природные ресурсы как сырьевая база для получения глинозема (расставить по возрастанию с точки зрения качества получаемого глинозема) Назовите основные научные разработки в данной сфере.

1.4 Какие новые методы исследований, применяемые для изучения свойств сырья и готовой продукции, вы знаете?

1.5 Источники загрязнения окружающей среды в металлургии меди

- 1.6 Источники загрязнения окружающей среды в металлургии никеля
- 1.7 Источники загрязнения окружающей среды в металлургии первичного алюминия
- 1.8 Источники загрязнения окружающей среды в металлургии меди, золота
- 1.9 Какие основные принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды вы можете назвать?
- 1.10 Что относится ко вторичным источникам металлов?
- 1.11 Материальный баланс технологического процесса получения алюминия: статьи прихода и расхода
- 1.12 Статьи теплового баланса процесса получения алюминия

2. Примеры разбора конкретных ситуаций:

- 2.1. Основные проблемы обеспеченности глиноземом предприятия производства алюминия: пути решения.
- 2.2. Пути снижения себестоимости единицы продукции металлургического предприятия.
- 2.3. Проблема утилизации твердых отходов алюминиевого производства: примеры.
- 2.4. Проблемы переработки упорных золотосодержащих руд: примеры.
- 2.5. Парниковый эффект от деятельности предприятий, производящих первичный алюминий. Пути решения.
- 2.6 Пути решения экологических проблем производства глинозема.
- 2.7 Основными знаниями каких фундаментальных инженерных наук необходимо владеть в профессиональной деятельности (в области металлургии)?

**6.2.2.1.2 Критерии оценивания**

<b>Отлично</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Неудовлетворительно</b>
Умеет оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований в выбранном направлении металлургии, систематизируя и обобщая достижения в соответствующей отрасли металлургии, для решения проблем отрасли	Умеет оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований в выбранном направлении металлургии, систематизируя и обобщая достижения в соответствующей отрасли металлургии (но не в полном объеме), для решения проблем отрасли	Умеет слабо оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований в выбранном направлении металлургии, систематизируя и обобщая достижения в соответствующей отрасли металлургии, для решения проблем отрасли	Не умеет оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований в выбранном направлении металлургии, систематизируя и обобщая достижения в соответствующей отрасли металлургии, для решения проблем отрасли

**6.2.2.2 Семестр 2, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине**

### 6.2.2.2.1 Описание процедуры

Зачет по дисциплине состоит из теста в системе Moodle. Зачет проводится в период экзаменационной сессии, предусмотренной учебным планом. Критерии оценки ответа обучающегося на зачете, а также форма его проведения доводятся преподавателем до сведения обучающихся до начала зачета. Результат зачета объявляется обучающемуся непосредственно после его сдачи, затем выставляется в экзаменационную ведомость и зачетную книжку обучающегося.

#### Пример задания:

Пример теста:

1. Способ рафинирования основанный селективном окислении примесей и ошлаковании образующихся оксидов металлов-примесей  
А) Ликвационный  
Б) Окислительный  
В) Электролитический
2. Способ рафинирования состоящий в многократном повторении испарения и конденсации  
А) Дистилляция  
Б) Ректификация  
В) Зонная перекристаллизация
3. Какой вид рафинирования цинка основан на уменьшении растворимости примесей в цинке с понижением его температуры и отделением фазы, образованной примесью, от цинка по разности их плотностей?  
А) Ликвационное  
Б) Дистилляционное  
В) Ректификационное
4. На чем основаны способы очистки черного свинца от As, Sn и Sb:  
А) Бóльшем сродстве этих элементов к сере, чем у свинца  
Б) Бóльшем сродстве этих элементов к кислороду, чем у свинца  
В) Ликвации
5. Выберите ВЕРНОЕ требование предъявляемое к рафинирующему флюсу при окислительном рафинировании кремниевого расплава:  
А) Инертность по отношению к Si  
Б) Большое содержание более электроположительных элементов, чем Si  
В) Не растворять неметаллические примеси  
Г) Не окислять металлы-примеси.

### 6.2.2.2.2 Критерии оценивания

<b>Зачтено</b>	<b>Не зачтено</b>
Демонстрирует умение обосновывать выбор оптимального решения проблем получения качественной металлургической продукции в области металлургии (первичных металлов), систематизируя и обобщая достижения в данных областях на основе оценки результатов разработок и исследований	Не демонстрирует умение обосновывать выбор оптимального решения проблем получения качественной металлургической продукции в области металлургии (первичных металлов), систематизируя и обобщая достижения в данных областях на основе оценки результатов разработок и исследований

## **7 Основная учебная литература**

1. Бегунов А. И. Проблемы модернизации алюминиевых электролизеров / А. И. Бегунов, 2000. - 105.
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. Немчинова Н. В. Физикохимия и карботермия кремния : учебное пособие при подготовке бакалавров по направлению 22.03.02 "Металлургия" / Н. В. Немчинова, 2017. - 287.
4. Клёц В. Э. Основы пирометаллургических производств : учебное пособие для вузов по направлению "Металлургия" / В. Э. Клёц; В. Э. Клещ, Н. В. Немчинова, В. С. Кокорин, 2009. - 143.
5. Воскобойников В. Г. Общая металлургия : учеб. для вузов по направлению "Металлургия" / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев, 2005. - 764.

## **8 Дополнительная учебная литература и справочная**

1. Развитие теории и практики металлургических технологий : в 3 т. : монография / под ред. В. Н. Перетяцько, Е. В. Протопопова, И. Ф. Селянина. Т. 1 : Теория и практика интенсификации технологического процесса в шахтных печах малого диаметра / И. Ф. Селянин [и др.], 2010. - 378.
2. Краткий справочник физико-химических величин / Сост. Н. М. Барон и др., 1999. - 230.
3. Немчинова Н. В. Кислотно-ультразвуковое рафинирование кремния : монография / Н. В. Немчинова, А. А. Тютрин, 2017. - 160.
4. Гуськов В. М. Электролитическое рафинирование алюминия / В. М. Гуськов, 1945. - 69.
5. Рафинирование меди [Электронный ресурс] : учебное пособие / под ред. В. П. Жукова, 2010. - 3.
6. Бегунов А. И. Технологии получения легких металлов : монография / А. И. Бегунов, 2017. - 223.
7. Тютрин А. А. Переработка отходов металлургического производства : учебное пособие / А. А. Тютрин, Н. В. Немчинова, 2017. - 77.
8. Макаров Г. С. Рафинирование алюминиевых сплавов газами / Г. С. Макаров, 1983. - 118.
9. Современные проблемы металлургии и материаловедения [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям по направлению подготовки 22.04.02 "Металлургия" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 39.
10. Бегунов А. И. Газогидродинамика и потери металла в алюминиевых электролизерах / Альберт Иванович Бегунов, 1992. - 286.

## **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. Проектор "Epson EB-S18"