

**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**

**«ПРОИЗВОДСТВО КРЕМНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХОВ»**

Направление: 22.03.02 Металлургия

Металлургия цветных, редких и благородных металлов

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной  
подписью  
Составитель программы: Тютрин Андрей  
Александрович  
Дата подписания: 04.05.2026

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 «Производство кремния и проектирование цехов» 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-5.10, ПКС-5.7
ПКС-6 Способность применять в практической деятельности принципы ресурсо- и энергосбережения, защиты окружающей среды для достижения высоких технико-экономических показателей металлургического производства	ПКС-6.1
ПКС-8 Способность осуществлять расчеты материальных потоков, балансов процессов и/или элементов конструкций оборудования при проектировании металлургических цехов/фабрик	ПКС-8.1

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

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-5.10	Демонстрирует способность корректировать технологические процессы электролизного производства алюминия и магния и(или) производства кремния и знания основ проектирования электролизных и (или) плавильных цехов	<b>Знать</b> основные причины нарушений работы технологических процессов в металлургии кремния; способы регулирования осуществлением металлургическим процессом получения кремния; основы проектирования цехов <b>Уметь</b> применять полученные знания об условиях протекания технологического процесса переработки кремнеземсодержащего рудного сырья для обеспечения правильного ведения технологического процесса; предлагать пути решения экологических проблем кремниевого производства; использовать справочную литературу для выполнения расчетов <b>Владеть</b> навыками корректировки технологических процессов получения кремния в случаях их нарушения; навыками составления электрических, тепловых балансов технологических процессов получения кремния

<p>ПКС-5.7</p>	<p>Демонстрирует способность осуществлять технологические процессы электролизного производства алюминия и магния и(или) производства кремния</p>	<p><b>Знать</b> современное состояние производства кремния карботермическим способом; теоретические основы получения кремния восстановительной плавкой; конструкция руднотермических печей для производства кремния; основные параметры, оказывающие влияние на эффективность пирометаллургического способа получения кремния и диапазоны их оптимальных значений  <b>Уметь</b> применять полученные знания об основных взаимодействиях в системе «S-O-C» на практике; уметь проводить анализ влияния различных факторов на основные показатели плавления  <b>Владеть</b> навыками расчетов основного металлургического оборудования, используемого при получении кремния, и металлургических балансов; навыками составления материальных балансов процессов получения кремния</p>
<p>ПКС-6.1</p>	<p>Демонстрирует способность применять принципы ресурсо- и энергосбережения, защиты окружающей среды при реализации технологических решений с высокими технико-экономическими показателями в области электрометаллургии алюминия или металлургии кремния</p>	<p><b>Знать</b> принципы рационального природопользования при производстве кремния  <b>Уметь</b> применять принципы рационального природопользования для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов производства кремния  <b>Владеть</b> навыками использования принципов рационального природопользования для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния</p>
<p>ПКС-8.1</p>	<p>Выполняет расчеты балансов электро-, пирометаллургических и иных металлургических процессов и/или конструкций принимаемого к установке основного и/или вспомогательного оборудования</p>	<p><b>Знать</b> принципы работы и особенности конструкции основных электронагревательных агрегатов (руднотермических печей)  <b>Уметь</b> производить расчеты руднотермических печей, используя современные методы проектирования; использовать справочную литературу для выполнения расчетов;</p>

		анализировать чертежи деталей и элементов конструкций металлургических агрегатов <b>Владеть</b> принципами составления балансов металлургических процессов производства кремния
--	--	--

## 2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Производство кремния и проектирование цехов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Оборудование металлургического производства и защита металлов от коррозии», «Математика», «Детали машин и основы метрологии», «Электротехника и электроника», «Физико-химия кремния»

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	72	108
Аудиторные занятия, в том числе:	88	48	40
лекции	36	16	20
лабораторные работы	16	16	0
практические/семинарские занятия	36	16	20
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	56	24	32
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	0	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен, Курсовой проект, Зачет	Зачет	Экзамен, Курсовой проект

## 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	Современное состояние производства металлургического кремния	1	2					1	12	
2	Кремнеземсодержащие сырьевые материалы	2	2	1	4			2	2	Отчет по лабораторной работе
3	Углеродистые восстановители для выплавки кремния	3	2							
4	Подготовка шихтовых материалов к плавке	4	2	2	6	1	4	2	4	Отчет по лабораторной работе
5	Теоретические основы получения кремния плавкой в электродуговых печах	5	4	3, 4	6	2, 3	4	2	4	Отчет по лабораторной работе
6	Конструкции электропечей для выплавки кремния	6	4			4, 5	8	2	2	
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		16		16		16		24	

### 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	Ведение технологического процесса выплавки	1	6			1, 2, 3	10	2	12	Реферат
2	Характеристика продуктов плавки и рафинирование кремния	2	2							Устный опрос
3	Основы проектирования цеха производства кремния	3	8			4, 5	10	1	20	
4	Вопросы экологии при производстве кремния	4	2							
5	Производство кремния высокой чистоты	5	2							Устный опрос
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен, Курсовой проект

	Всего		20			20		68	
--	-------	--	----	--	--	----	--	----	--

#### 4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

##### Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
1	Современное состояние производства металлургического кремния	Введение в дисциплину. Состояние и перспективы металлургии кремния
2	Кремнеземсодержащие сырьевые материалы	Кварц. Горный хрусталь. Кварцит Кварцитовидные песчаники. Гранулированный кварц
3	Углеродистые восстановители для выплавки кремния	Древесный уголь. Нефтекокс. Каменный уголь. Древесная щепа
4	Подготовка шихтовых материалов к плавке	Шихтоподготовка. Смешение. Дозирование. Окомкование. Применяемые связующие
5	Теоретические основы получения кремния плавкой в электродуговых печах	Горн РТП по вертикали можно разбить на 5 зон, каждая из которых характеризуется своей температурой и вероятностью протекания одной или нескольких реакций в пределах температур, соответствующих началу и окончанию взаимодействия
6	Конструкции электропечей для выплавки кремния	конструкции РВП могут быть открытыми (без свода), укрытыми (со специальным зондом), полузакрытыми и закрытыми (со сводом), как стационарными, так и с вращающимися ваннами. По количеству электродов печи делятся на одноэлектродные или двухэлектродные (однофазные печи), трёх- и шестиэлектродные (трёхфазные печи). По форме ванны различают круглые (оборудованы электродами круглой формы), прямоугольные (могут быть оборудованы как круглыми, так и плоскими электродами), треугольные и овальные печи

##### Семестр № 8

№	Тема	Краткое содержание
1	Ведение технологического процесса выплавки	Основной задачей ведения технологического процесса является обеспечение нормальной работы колошника и лётки. Процесс в печи происходит главным образом у электродов в тиглях. В верхней части тигля холодная шихта образует своеобразный свод. Стенки и свод тигля непрерывно оплавляются и замещаются новыми порциями поступающей сверху шихты
2	Характеристика продуктов плавки и рафинирование	При производстве кремния в руднотермических печах кроме основного продукт неизбежно образование газовой фазы (с пылью) и

	кремния	незначительного количества шлака. Получаемый в электродуговых печах кремний не отвечает требованиям потребителей по содержанию примесных элементов, поэтому его рафинируют от ряда примесей. Комплексная операция рафинирования при карботермическом получении кремния должна снижать содержание в кремнии Al, Ca, Ti и других примесей, а также полностью удалять мелкие и крупные включения шлака
3	Основы проектирования цеха производства кремния	Участок дозирования шихтовых материалов. Печной участок. Участок дробления и сортировки кремния
4	Вопросы экологии при производстве кремния	Производство кремния связано с образованием значительных количеств технологических газов, содержащих вредные вещества: пыль, состоящую из SiO <sub>2</sub> , SiC, C, оксидов Fe, Al, Ca, Ti, Mg, P, Na и K; газы, содержащих NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> , H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> . Кроме этого, к вредным факторам кремниевого производства относится высокая теплонапряжённость основного металлургического агрегата – дуговой электропечи, значительное выделение тепла и повышенная температура в рабочей зоне, превышающие допустимые нормы.
5	Производство кремния высокой чистоты	Для очистки полупроводниковых материалов в технологии солнечных преобразователей используется метод перекристаллизации (направленная кристаллизация из расплава и метод зонной плавки)

#### 4.3 Перечень лабораторных работ

##### Семестр № 7

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Определение термостойкости кварцитов	4
2	Брикетирование шихтовых материалов для выплавки кремния	6
3	Изучение влияния параметров гидрометаллургической обработки кремния на его химический состав	4
4	Микроскопический метод исследования рафинированного кремния	2

#### 4.4 Перечень практических занятий

##### Семестр № 7

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчёт материального баланса процесса	4

	руднотермической плавки	
2	Тепловой баланс плавки в руднотермической печи	2
3	Материальный баланс рафинирования технического кремния	2
4	Конструктивный расчет руднотермической печи	4
5	Электрический расчет руднотермической печи	4

#### Семестр № 8

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчёт материального баланса процесса руднотермической плавки с учётом распределения элементов-примесей по продуктам плавки	4
2	Перерасчёт состава шихтовых материалов при введении в модель руднотермической плавки	4
3	Термодинамические расчеты при изучении процесса карбо-термического восстановления кремнезема в электродуговых печах	2
4	Моделирование карботермического процесса выплавки кремния	4
5	Формирование базы основных термодинамических данных при моделировании карботермического процесса получения кремния	6

#### 4.5 Самостоятельная работа

##### Семестр № 7

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Подготовка к зачёту	12
2	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	12

##### Семестр № 8

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание курсового проекта (работы)	20
2	Написание реферата	12

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

#### 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:**

Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов : метод. указания по выполнению курсового проекта / сост. : Н.В. Немчинова, А.А. Тютрин, Т.А. Карканица. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 20 с.

### **5.1.2 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям**

Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов: метод. указания по выполнению практических работ / сост. : Н.В. Немчинова, А.А. Тютрин. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 91 с.

### **5.1.3 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:**

Немчинова Н.В., Бельский С.С. Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов. Лабораторный практикум. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2007. – 100 с.

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

Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов: метод. указания для обучающихся по самостоятельной работе / сост.: Н.В. Немчинова, А.А. Тютрин. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 13 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.

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 «Определение термостойкости кварцитов»):

1. Цель работы.
2. Какие виды кремнеземсодержащего сырья пригодны для плавки кремния?
3. Записать основные реакции, характеризующие процесс карбо-термической плавки.
4. На какие группы можно разделить кварциты по температурной зависимости перехода  $\text{SiO}_2$  в  $\text{SiO}$ ?
5. Какое влияние оказывают примеси на газификацию  $\text{SiO}_2$ ?
6. В чём заключается методика определения термостойкости кварцевого сырья?
7. Описать ход лабораторной работы.

### **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

## **6.1.2 семестр 8 | Реферат**

### **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).

Примерная тематика рефератов

1. Кремний – элемент живой природы. Свойства и применение.
2. Виды кремнеземсодержащего сырья, пригодного для производства кристаллического кремния.
3. Новые перспективные виды углеродистых восстановителей для выплавки кремния.
4. Подготовка шихтовых материалов к плавке.
5. Развитие конструкций электропечей для выплавки кремния.
6. Работа электрической дуги в руднотермических печах.
7. Продукты руднотермической плавки, основные характеристики.
8. Виды рафинирования технического кремния.
9. Применение осбоочистого кремния.
10. Основные свойства полупроводникового кремния, влияние дефектов и примесей.
11. Конструкция оборудования для выращивания моно- и мульткристаллического кремния.

### **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.

### 6.1.3 семестр 8 | Устный опрос

#### Описание процедуры.

После прохождения темы обучающийся отвечает на контрольные вопросы.

Вопросы для контроля:

По теме «Характеристика продуктов плавки и рафинирование кремния»

1. На каких основных физико-химических явлениях основано рафинирование технического кремния?
2. Марки кристаллического кремния.
3. Общая технологическая схема получения кремния.
4. Характеристика печного и рафинировочного шлака.
5. Состав пылегазовой смеси при производстве кремния.

По теме «Производство кремния высокой чистоты»:

1. Какие виды материалов на основе кремния используются для изготовления ФЭП?
2. Какие примесные элементы в кремнии оказывают наибольшее влияние на КПД ФЭП?
3. Какие преимущества имеет метод получения чистого кремния восстановлением тетрахлорида кремния водородом перед цинкотермическим?
4. Какие методы применяются для получения моносилана?
5. Какая реакция лежит в основе йодидного метода получения кремния, и какой его температурный режим?
6. Какие металлы используются в виде подложки в установках для получения поликристаллического кремния?
7. Какие методы перекристаллизации используются для очистки полупроводниковых материалов?
8. В чём заключается сущность зонной плавки?
9. Какое отличие метода выращивания кристаллов по Чохральскому от других известных методов Вы можете назвать?
10. Значение и расчёт коэффициента сегрегации (или распределения) примеси.
11. Как по равновесным коэффициентам распределения примесей в кремнии можно определить, какие элементы методом направленной кристаллизации удаляются неэффективно?

#### Критерии оценивания.

Правильное формулирование ответов на вопросы. Использование в ходе ответа знаний полученных в ходе практических занятий и самостоятельной подготовки (изучения дополнительной литературы).

### 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-5.10	Демонстрирует способность	Устное

	корректировать технологические процессы производства кремния и знания основ проектирования плавильных цехов	собеседование по вопросам экзаменационного билета
ПКС-5.7	Демонстрирует знания теории и технологии процессов получения кремния	Устное собеседование по вопросам к зачету
ПКС-6.1	Демонстрирует знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния	Устное собеседование по вопросам экзаменационного билета
ПКС-8.1	Глубоко и прочно усвоил принципы расчетов конструкций металлургического оборудования и составления металлургических балансов, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач при проектировании цехов металлургического производства	Выполнение и защита курсового проекта

## 6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

### 6.2.2.1 Семестр 7, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

#### 6.2.2.1.1 Описание процедуры

Зачет проводится в форме устного опроса по вопросам с предварительной подготовкой. Экзаменатор вправе задавать вопросы сверх вопросов, выносимых на зачет. 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. Выставление оценок на зачете осуществляется на основе принципов объективности, справедливости, всестороннего анализа уровня знаний и освоения компетенций обучающихся. Вопросы к зачету:

1. Назовите распространённость кремния в земной коре и его место по этому фактору среди других элементов.
2. Перечислите основные физические свойства кремния: цвет, температура плавления, плотность, твёрдость по шкале Мооса.
3. Как изменяется удельное электросопротивление кремния с изменением температуры элемента?
4. Чем объяснить полупроводниковые свойства кремния?
5. Какие основные химические свойства кремния Вы знаете (например, отношение к известным кислотам)?
6. Какие природные соединения на основе кремния Вы можете назвать?
7. Какие кремнийорганические соединения сейчас широко используются в промышленности?

8. Что такое «силиконы» и их роль в промышленном производстве?
9. Назовите основные сплавы, в которых одним из компонентов является кремний.
10. Какие предприятия по производству кремния расположены в России?

#### 6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Демонстрирует знания теории и технологии процессов получения кремния	Не демонстрирует знания теории и технологии процессов получения кремния

#### 6.2.2.2 Семестр 8, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

##### 6.2.2.2.1 Описание процедуры

Экзамен состоит из двух частей: первая часть проводится в форме теста, вторая – устного опроса по вопросам с предварительной подготовкой. Экзаменатор вправе задавать вопросы сверх билета. Экзамен проводится в период экзаменационной сессии, предусмотренной учебным планом. Критерии оценки ответа обучающегося на экзамене, а также форма его проведения доводятся преподавателем до сведения обучающихся до начала экзамена. Результат экзамена объявляется обучающемуся непосредственно после его сдачи, затем выставляется в экзаменационную ведомость и зачетную книжку обучающегося. Выставление оценок на экзамене осуществляется на основе принципов объективности, справедливости, всестороннего анализа уровня знаний и освоения компетенция обучающихся.

Тест для экзамена:

1. Выбрать основную реакцию, которая описывает процесс получения кремния в рудотермических печах:

А)  $\text{SiO} + \text{SiC} = 2\text{Si} + \text{CO}$ ;    Б)  $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ ;    В)  $\text{SiO}_2 + 3\text{C} = \text{SiC} + 2\text{CO}$ .

2. Процесс получения кремния в РТП характеризуется как:

А) бесшлаковый;    Б) малошлаковый;    В) шлаковый.

3. Печи мощностью от 10,5 до 33 МВ·А относятся к печам:

А) малой;    Б) средней;    В) большой мощности.

4. Согласно модели механизма получения кремния одной из ведущих реакций является реакция образования:

А)  $\text{SiO}$ ;    Б)  $\text{SiO}_2$ ;    В)  $\text{SiC}$ .

5. Средний расход угольных электродов на печах мощностью 25 МВ·А составляет:

А) 125 кг/т Si;    Б) 140 кг/т Si;    В) 160 кг/т Si.

Вопросы к экзамену:

1. Назовите сырьевые материалы для выплавки кристаллического кремния.
2. Назовите основные углеродистые восстановители, их физико-химические свойства.
3. Назовите основные плавильные металлургические печи.
4. В чём отличие плавильных металлургических печей от нагревательных?
5. Перечислите способы передачи тепловой энергии к целевому продукту в электродуговых печах.
6. Конструктивные особенности рудотермических печей.
7. Электроды рудовосстановительных печей (графитированные и угольные).
8. Практика работы рудотермических печей и основные технико-экономические показатели.
9. Общая технологическая схема получения кремния.
10. Охарактеризуйте продукты рафинирования.

### 6.2.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
<p>Демонстрирует полную способность корректировать технологические процессы производства кремния и знания основ проектирования плавильных цехов.</p> <p>Демонстрирует глубокие знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния</p>	<p>Демонстрирует достаточную способность корректировать технологические процессы производства кремния и знания основ проектирования плавильных цехов.</p> <p>Демонстрирует хорошие знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния</p>	<p>Демонстрирует минимальную способность корректировать технологические процессы производства кремния и знания основ проектирования плавильных цехов.</p> <p>Демонстрирует слабые знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния</p>	<p>Не демонстрирует способность корректировать технологические процессы производства кремния и знания основ проектирования плавильных цехов. Не демонстрирует знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния</p>

### 6.2.2.3 Семестр 8, Типовые оценочные средства для курсовой работы/курсового проектирования по дисциплине

#### 6.2.2.3.1 Описание процедуры

Оформление курсового проекта должно соответствовать СТО. 005–2020. «Система менеджмента качества. Учебно-методическая деятельность. Оформление курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ технических направлений подготовки и специальностей». При определении тематики ВКР не в области электротермии кремния допускается выполнение курсового проекта по элементам проектов и проектировании цехов в иных технологических процессах получения цветных металлов, электрометаллургии алюминия.

Перечень вопросов к защите курсового проекта:

1. Что необходимо предпринять для улучшения технологии плавки кремния?
2. Какие основные вредные и опасные факторы существуют в цехах по производству кремния?
3. Перечислите основные элементы короткой сети.
4. Классификация руднотермических печей.
5. Основные технологические показатели при производстве кремния (на примере ЗАО «Кремний»).

#### 6.2.2.3.2 Критерии оценивания

<b>Отлично</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Неудовлетворительно</b>
Демонстрирует глубокие знания расчетов конструкций металлургического оборудования и составления металлургических балансов	Демонстрирует хорошие знания расчетов конструкций металлургического оборудования и составления металлургических балансов	Демонстрирует слабые знания расчетов конструкций металлургического оборудования и составления металлургических балансов	Не демонстрирует знания расчетов конструкций металлургического оборудования и составления металлургических балансов

## **7 Основная учебная литература**

1. Немчинова Н. В. Физикохимия и карботермия кремния : учебное пособие при подготовке бакалавров по направлению 22.03.02 "Металлургия" / Н. В. Немчинова, 2017. - 287.
2. Катков О. М. Выплавка технического кремния : учебное пособие / О. М. Катков, 1999. - 243.

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

1. Немчинова Н. В. Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов : лаб. практикум для специальности 150102 "Металлургия цв. металлов"... / Н. В. Немчинова, С. С. Бельский, 2007. - 99.
2. Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов [Электронный ресурс] : методические указания по выполнению практических работ по направлению подготовки 22.03.02 "Металлургия" (уровень бакалавриат) / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 91.
3. Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов [Электронный ресурс] : методические указания для выполнения курсового проекта по направлению 22.03.02 "Металлургия" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 20.
4. Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов [Электронный ресурс] : методические указания для самостоятельной работы по направлению 22.03.02 "Металлургия" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 13.
5. Шадис В. С. Физико-химическое моделирование металлургических процессов (производство кремния) : пособие / В. С. Шадис, В. А. Бычинский, 1999. - 64.
6. Производство кремния : справочник металлурга / А. Е. Черных [и др.], 2004. - 555.
7. Производство кремния / А. Р. Школьников [и др.], 2001. - 268.
8. Немчинова Н. В. Кремний: свойства, получение, применение : учебное пособие / Н. В. Немчинова, В. Э. Клец, 2008. - 271.
9. 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.

## **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 Seven Professional (Microsoft Windows Seven Starter) - Seven, Vista, XP\_prof\_64, XP\_prof\_32 - поставка 2010
2. Microsoft Office 2007 Standard - 2003 Suites и 2007 Suites - поставка 2010

## **12 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Проектор "Epson EB-S18"
2. Экран Projecta SlimScreen настенный
3. 318149 Весы HL-400
4. Муфельная печь ЭКПС 10 (1300\*С, 10л, материал камеры-волокно МКРВ)
5. Секундомер однокнопочный
6. Анализатор ситовой вибрационный "АСВ-200"
7. Мешалка верхнеприводная RW
8. Насос вакуумный VPA-3S с комплектом шлангов
9. Микроскоп "Axio Lab.A1" материалов-ий бинокулярный для лаб-ых исслед.