

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

Структурное подразделение «Металлургии цветных металлов»

УТВЕРЖДЕНА:

на заседании кафедры металлургии цветных металлов

Протокол №9 от 14 февраля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ПРОИЗВОДСТВО КРЕМНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХОВ»

Направление: 22.03.02 Металлургия

Металлургия цветных, редких и благородных металлов

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: заочная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Тютрин Андрей
Александрович
Дата подписания: 12.06.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Немчинова Нина
Владимировна
Дата подписания: 12.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

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

1.1 Дисциплина «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-5.7
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-6.1	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	Знать принципы рационального природопользования при производстве кремния Уметь применять принципы рационального природопользования для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов производства кремния Владеть навыками использования принципов рационального природопользования для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния
ПКС-8.1	Выполняет расчеты балансов электро-, пирометаллургических и иных металлургических процессов, конструкций принимаемого к установке основного и/или вспомогательного оборудования	Знать принципы работы и особенности конструкции основных электронагревательных агрегатов (руднотермических печей) Уметь производить расчёты руднотермических печей, используя современные методы проектирования; использовать справочную литературу для выполнения расчетов; анализировать чертежи деталей и элементов конструкций металлургических агрегатов

		Владеть принципами составления балансов металлургических процессов производства кремния
ПКС-5.7	Демонстрирует способность осуществлять и корректировать технологические процессы электролизного производства алюминия и магния и(или) производства кремния, а также знания основ проектирования электролизных и (или) плавильных цехов	Знать основные причины нарушений работы технологических процессов в металлургии кремния; способы регулирования осуществлением металлургическим процессом получения кремния; основы проектирования цехов Уметь 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 Владеть навыками корректировки технологических процессов получения кремния в случаях их нарушения; навыками составления электрических, тепловых балансов технологических процессов получения 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 № 4	Семестр № 5
Общая трудоемкость дисциплины	180	36	144

Аудиторные занятия, в том числе:	22	2	20
лекции	8	2	6
лабораторные работы	6	0	6
практические/семинарские занятия	8	0	8
Контактная работа, в том числе	0	0	0
в форме работы в электронной информационной образовательной среде	0	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	149	34	115
Трудоемкость промежуточной аттестации	9	0	9
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	, Экзамен, Курсовой проект		Экзамен, Курсовой проект

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 4

№ 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 металлургическог о кремния	1	1					1	14	
2	Кремнеземсодерж ащие сырьевые материалы	2	1					1	20	
	Промежуточная аттестация									
	Всего		2						34	

Семестр № 5

№ 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	Теоретические основы получения кремния плавкой в электродугowych	1	1	1	4			1, 3, 5	38	Отчет по лаборатор ной работе

	печах									
2	Конструкции электропечей для выплавки кремния	2	1			1, 2	8	4, 5	13	
3	Ведение технологического процесса выплавки	3	1					5	8	Контрольная работа
4	Характеристика продуктов плавки и рафинирование кремния	4	1	2	2			3, 5	12	Отчет по лабораторной работе
5	Основы проектирования цеха производства кремния	5	1					2, 5	34	
6	Вопросы экологии при производстве кремния	6	1					5	10	
	Промежуточная аттестация								9	Экзамен, Курсовой проект
	Всего		6		6		8		124	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 4

№	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

Семестр № 5

№	Тема	Краткое содержание
1	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
2	Конструкции электропечей для выплавки кремния	конструкции РВП могут быть открытыми (без свода), закрытыми (со специальным зондом), полузакрытыми и закрытыми (со сводом), как со 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
3	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
4	Характеристика продуктов плавки и рафинирование кремния	При производстве кремния в руднотермических печах кроме основного продукт неизбежно образование газовой фазы (с пылью) и 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
5	Основы проектирования цеха производства кремния	Участок дозирования шихтовых материалов. Печной участок. Участок дробления и сортировки кремния
6	Вопросы экологии при производстве кремния	Производство кремния связано с образованием значительных количеств технологических газов, содержащих вредные вещества: пыль, состоящую из SiO ₂ , SiC, C, оксидов Fe, Al, Ca, Ti, Mg, P, Na и K; газы, содержащих NO, NO ₂ , SO ₂ , C _x H _y , H ₂ , CO, CO ₂ . 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.

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 5

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Определение термостойкости кварцитов	4
2	Микроскопический метод исследования рафинированного кремния	2

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 5

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Конструктивный расчет руднотермической печи	4
2	Электрический расчет руднотермической печи	4

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Проработка разделов теоретического материала	34

Семестр № 5

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Контрольная работа для студентов заочной формы обучения	24
2	Написание курсового проекта (работы)	24
3	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	6
4	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	3
5	Проработка разделов теоретического материала	58

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:

Самостоятельная работа студента включает проработку отдельных разделов теоретического курса, подготовку к практическим и лабораторным занятиям, оформление отчетов по лабораторным работам, выполнение контрольной работы и написание курсового проекта.

5.1.4.1 Проработка отдельных разделов теоретического курса

Обучающемуся необходимо самостоятельно изучить основную и дополнительную литературу и информационные ресурсы по предложенным преподавателем темам.

Примерные темы для самостоятельной проработки раздела дисциплины:

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 особоочистого кремния.
10. Основные свойства полупроводникового кремния, влияние дефектов и примесей.
11. Конструкция оборудования для выращивания моно- и мультикристаллического кремния.

5.1.4.2 Подготовка к практическим и лабораторным занятиям

Перед проведением практического и лабораторного занятия студенту необходимо изучить основную и дополнительную литературу по теме предстоящего занятия.

За время, отведенное на подготовку к практическим и лабораторным занятиям, студент должен изучить материал по теме занятия и предварительно к нему подготовиться.

Перечень заданий, вопросов или тем, которые будут рассмотрены на занятиях, сообщаются преподавателем и указаны в методических указаниях по практическим и лабораторным работам.

5.1.4.3 Оформление отчетов по лабораторным работам

Обучающемуся необходимо проработать теоретический материал по теме работы, изучить методические указания по проведению лабораторной работы, разобраться в методике эксперимента, принципе работы установки для его проведения. В методических указаниях по выполнению лабораторных работ имеется перечень контрольных вопросов для подготовки к ним и защиты, охватывающих тему, к которой относится та или иная работа. При подготовке использовать рекомендуемую литературу, справочные данные, контрольные вопросы, приведенные в описании содержания лабораторной работы. Требования к форме и содержанию отчетных материалов изложены в методических указаниях по выполнению работы и СТО «027-2021 СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА. Учебно-методическая деятельность. Общие требования к организации и проведению лабораторных работ».

5.1.4.4 Выполнение контрольной работы

Описание задания для выполнения контрольной работы приведены в методических указаниях:

Производство тугоплавких металлов и кремния и проектирование цехов : метод. указания по освоению дисциплины студентами заочной формы обучения // сост. : Н.В. Немчинова, А.А. Тютрин,. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2018.

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 учебный год 5 | Контрольная работа

Описание процедуры.

В методических указаниях для студентов заочной формы обучения (см. п. 5.1.4.4) приведено описание структуры контрольной работы (теоретический вопрос и задача) по вариантам.

Во время занятий по дисциплине до промежуточной аттестации обучающийся сдает выполненную самостоятельно контрольную работу, оформленную в соответствии с СТО в виде печатного документа на бумаге формата А4 в печатном или электронном виде.

Критерии оценивания.

Полнота раскрытия темы, предлагаемой для выполнения теоретической части контрольной работы; список использованных источников и уровень компилятивности по тематике; качество оформления; правильность решения задачи.

6.1.2 учебный год 5 | 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 SiO_2 в SiO ?
5. Какое влияние оказывают примеси на газификацию SiO_2 ?
6. В чём заключается методика определения термостойкости квар-цевого 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 (см. п.5.1.3)

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-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	Демонстрирует знания расчетов конструкций металлургического оборудования и составления металлургических балансов	Защита курсового проекта
ПКС-5.7	Демонстрирует знания теории и технологии процессов получения кремния, способен корректировать технологические процессы производства кремния и знания основ проектирования плавильных цехов	Устное собеседование по вопросам экзаменационного билета

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 5, Типовые оценочные средства для курсовой работы/курсового проектирования по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Оформление курсового проекта должно соответствовать СТО. 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 АО «Кремний»).

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
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

6.2.2.2 Семестр 5, 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) SiO ; Б) SiO_2 ; В) 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 руднотермических печей и основные технико-экономические показатели.
9. Общая технологическая схема получения кремния.
10. Охарактеризуйте продукты рафинирования.

6.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Демонстрирует глубокие знания теории и технологии процессов получения кремния и знания основ проектирования плавильных цехов, способен полно корректировать технологические процессы производства кремния. Демонстрирует глубокие знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния	Демонстрирует основные знания теории и технологии процессов получения кремния и знания основ проектирования плавильных цехов, способен достаточно корректировать технологические процессы производства кремния. Демонстрирует хорошие знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния	Демонстрирует слабые знания теории и технологии процессов получения кремния и знания основ проектирования плавильных цехов, способен минимально корректировать технологические процессы производства кремния. Демонстрирует слабые знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния	Не демонстрирует знания теории и технологии процессов получения кремния и знания основ проектирования плавильных цехов, не способен корректировать технологические процессы производства кремния. Не демонстрирует знания принципов рационального природопользования и умения их применять для энерго- и ресурсосбережения технологических процессов в металлургии кремния

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. Микроскоп "Axio Lab.A1" материалов-ий бинокулярный для лаб-ых исслед.