

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
Протокол №09 от 09 февраля 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

«ФИЗИКО-ХИМИЯ КРЕМНИЯ»

Направление: 22.03.02 Metallургия

Металлургия цветных, редких и благородных металлов

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной подписью Составитель программы: Бельский Сергей Сергеевич Дата подписания: 31.05.2026

Документ подписан простой электронной подписью Утвердил и согласовал: Немчинова Нина Владимировна Дата подписания: 08.06.2026

Год набора – 2026

Иркутск, 2026 г.

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

1.1 Дисциплина «Физико-химия кремния» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКС-1 Готовность использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, электрохимии в профессиональной деятельности	ПКС-1.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-1.1	Использует основные понятия термодинамики и термодинамические модели применительно к области кремния и/или редкоземельных элементов	Знать основные понятия, законы термодинамики в области металлургии кремния Уметь прогнозировать и определять свойства кремния и его соединений, направление протекания химических реакций, применять на практике знания законов термодинамики Владеть навыками расчета основных термодинамических характеристик и построения термодинамической модели процесса в области металлургии кремния

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Физико-химия кремния» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Математика», «Физика», «Химия»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Производство кремния и проектирование цехов», «Теория пирометаллургических процессов»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 3
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	32	32
лекции	16	16
лабораторные работы	16	16
практические/семинарские занятия	0	0

Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	76	76
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 3

№ 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	Кремний как неотъемлемая часть периодической системы химических элементов	1	5	1	4			1	20	Отчет по лабораторной работе, Тест
2	Основные природные минералы с кремнеземом, их структура	2	3							
3	Применение кремния	3	1	2	4			4	14	Отчет по лабораторной работе
4	Физико-химические свойства кремния	4	3	3	4			2, 3	28	Отчет по лабораторной работе
5	Физико-химические превращения в кремнезёмсодержащих материалах при нагревании	5	2	4	4			5	14	Отчет по лабораторной работе
6	Основы получения кремния	6	2							
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		16		16				76	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Кремний как неотъемлемая часть	Положение кремния в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева.

	периодической системы химических элементов	Положение кремния - 4 группа и 3 период. Химические свойства кремния: взаимодействие с кислотами, щелочами. Взаимодействие с водородом. Взаимодействие с галогенами. Взаимодействие с элементами VI группы (кислород, сера, селен). Взаимодействие с элементами V группы (азот, фосфор, мышьяк, сурьма). Взаимодействие с элементами IV группы (вышележащий углерод, нижележащий германий). Взаимодействие с элементами III группы (бор, алюминий, галлий). Взаимодействие с металлами: силициды, ферросилиций.
2	Основные природные минералы с кремнеземом, их структура	Кремнезём и его разновидности. Кварцевое стекло. Скрытокристаллический кремнезём. Аморфный кремнезём. Силикатные минералы и материалы. Кремнийорганические соединения
3	Применение кремния	Применение в производстве сплавов. Применение в солнечной энергетике. Применение в электронике. Применение в строительстве (цемент, бетон, стекла, песок и глина, керамика). Каолин (белая глина) как основа для получения фарфора и фаянса. Красная глина для производства кирпичей, черепицы и проч. Кремний в природе. Кремниевая кислота. Силикаты Алумосиликаты. Двуокись кремния. Структурная формула двуокиси кремния. Кристаллы природного кварца, минералы двуокиси кремния. Кремний в морях и озерах. Кремний и его роль в живых организмах
4	Физико-химические свойства кремния	Физические свойства кремния. Химические свойства кремния. Некоторые важные соединения кремния. Нитрид кремния. Свойства и области применения нитрида кремния. Карбид кремния (карборунд). Природный карбид кремния - муассанит. Распространение карбида кремния в космосе. Полиморфизм SiC. Структуры основных политипов карбида кремния. Подobie структуре алмаза. 250 кристаллических форм карбида кремния. Физические и химические свойства SiC. Области применения карбида кремния. Кремнийорганические соединения. Физические свойства кремния: строение атома. Характер s-ргибридизации орбиталей. Электропроводность. Полупроводниковые свойства. Аллотропия. Аморфный кремний. Кристаллический кремний.
5	Физико-химические превращения в кремнезёмсодержащих материалах при нагревании	Модификационные формы кремнезема (природные и синтетические). Фазовые переходы. Особенности кристаллической решетки
6	Основы получения кремния	Получение кремния в лаборатории (восстановлением из оксида магнием или

		алюминием) и в промышленности. Получение кремний технической чистоты (95-98%) восстановлением кремнезема. Методы получения чистого и особо чистого кремния в двух видах: поликристаллического и монокристаллического. Получение аморфного кремния.
--	--	--

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 3

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Применение физико-химического моделирования при изучении свойств кремния, его соединений и технологии его получения	4
2	Компьютерная программа «Программа подготовки данных для ввода в физико-химические модели технологических процессов (версия 1)»	4
3	Формирование базы основных термодинамических данных при моделировании с помощью программного комплекса «Селектор» карботермического процесса получения кремния	4
4	Термодинамика химических реакций, составляющих основу получения кремния	4

4.4 Перечень практических занятий

Практических занятий не предусмотрено

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	20
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	14
3	Подготовка к зачёту	14
4	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	14
5	Подготовка к сдаче и защите отчетов	14

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

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Физико-химия кремния [Электронный ресурс] : методические указания по выполнению лабораторных работ: по направлению подготовки 22.03.02 "Металлургия": программа бакалавриата / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 16.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

5.1.2.1 Выполнение тренировочных и обучающих тестов

Целью подготовки к текущему контролю знаний (тестированию) является закрепление знаний по теме 1 «Кремний как неотъемлемая часть периодической системы химических элементов».

Для текущего контроля знаний обучающихся по данной дисциплине предусмотрен тест. При подготовке к тесту обучающемуся необходимо проработать лекционный 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 и закрепить теоретические сведения изучением дополнительной литературы.

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС

Подготовка к тестированию осуществляется по разделу дисциплины №1 «Кремний как неотъемлемая часть периодической системы химических элементов» и проводится после освоения материала данного раздела.

Критерии оценки качества выполнения данного вида СРС

Правильность ответов на вопросы теста – более 50%.

5.1.2.2 Подготовка к зачету

Цель

Проверка сформированности запланированной компетенции в период изучения дисциплины.

Задание на СРС.

Обучающийся получает для подготовки перечень вопросов к зачету по тематике дисциплины с учетом проверки сформированности запланированной компетенции.

Требования к форме и содержанию отчетных материалов

Зачет проводится в виде устного собеседования по вопросам, вынесенным на зачет.

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС

Подготовка к зачету осуществляется на зачетной неделе.

Критерии оценки качества выполнения работы

Зачет по дисциплине на основе правильных ответов на вопросы.

5.1.2.3 Подготовка к лабораторным работам

Цель работы: перед проведением лабораторных работ - ознакомление обучающихся с соответствующими теоретическими вопросами, что способствует активному участию обучающихся в проведении лабораторных работ и их успешной защите.

Задание на СРС.

За время, отведённое на подготовку и защиту лабораторной работы обучающийся должен изучить материал по теме лабораторных работ.

Требования к форме и содержанию отчетных материалов.

Отчёт по лабораторным работам должен содержать цель работы, выполненные расчёты, таблицы и графики, выводы и т.п. Отчёты по лабораторным работам оформляются в

соответствии с требованиями методических указаний по выполнению каждой лабораторной работы и требованиями стандарта СТО 027-2021.

Рекомендации по выполнению задания.

Правильно выполненный отчёт по лабораторным работам обучающийся должен защитить, ответив на вопросы.

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС

Данный вид СРС проводится в течение семестра согласно учебному плану подготовки бакалавров.

Критерии оценки качества выполнения работы

Формой контроля данного вида СРС являются правильность оформления отчетов и полнота ответов на вопросы по контрольным вопросам к работам.

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 3 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

Цель работы: перед проведением лабораторных работ - ознакомление обучающихся с соответствующими теоретическими вопросами, что способствует активному участию обучающихся в проведении лабораторных работ и их успешной защите.

Задание на СРС.

За время, отведённое на подготовку и защиту лабораторной работы обучающийся должен изучить материал по теме лабораторных работ.

Требования к форме и содержанию отчетных материалов.

Отчёт по лабораторным работам должен содержать цель работы, выполненные расчёты, таблицы и графики, выводы и т.п. Отчёты по лабораторным работам оформляются в соответствии с требованиями методических указаний по выполнению каждой лабораторной работы и требованиями стандарта СТО 027-2021.

Рекомендации по выполнению задания.

Правильно выполненный отчёт по лабораторным работам обучающийся должен защитить, ответив на вопросы.

Рекомендуемый график выполнения отдельных этапов СРС

Данный вид СРС проводится в течение семестра согласно учебному плану подготовки бакалавров.

Вопросы для контроля (на примере лабораторной работы " Применение физико-химического моделирования при изучении свойств кремния, его соединений и технологии его получения"):

1. Каковы основные принципы моделирования (физического, химического, математического)?
2. Возможности ЭВМ при создании модели производственного процесса
3. Каковы основные принципы создания физико-химических моделей в виде компьютерных программ?
4. Теоретические предпосылки создания термодинамической модели
5. В чем заключается связь термодинамических закономерностей с технологическими параметрами?
6. Как определить величину извлечения кремния по результатам моделирования?

Критерии оценивания.

Отчет считается сданным, если предложенные задания выполнены правильно, в нем представлены знания теоретического материала, необходимого для выполнения работ. Отчет считается защищенным, если во время опроса обучающийся продемонстрировал знания теории по контрольным вопросам.

6.1.2 семестр 3 | Тест

Описание процедуры.

Тема (раздел)

№1. «Кремний как неотъемлемая часть периодической системы химических элементов»

Описание процедуры:

В конце семестра (в последнюю неделю) обучающийся проходит тестирование.

Ниже приведен пример теста.

Вариант

1. Укажите правильное значение содержания кремния в земной коре:

А) 27,6 %; Б) 1,4 %; В) 49,5 %.

2. Плотность кремния составляет:

А) 2,3 г/см³; Б) 2,7 г/см³; В) 8,94 г/см³.

3. Как изменяется плотность кремния с повышением температуры:

А) увеличивается; Б) уменьшается; В) остается неизменной.

4. Какой из перечисленных минералов кремнезема наиболее широко распространен в природе:

А) тридимит; Б) кварц; В) кристобалит.

5. Какой из нижеприведенных минералов содержит кремний:

А) ортоклаз; Б) апатит; В) кальцит.

Вопросы для контроля:

Кремний в природе.

Сырьевая база для получения кремния

Минералы кремния

Рудные кремнеземсодержащие материалы

Физические свойства кремния

Химические свойства кремния

Зависимость свойств кремния и его основных соединений от температуры

Биологическая роль кремния.

Химия силикатов.

Термодинамические свойства соединений кремния.

Кремний как основа солнечных элементов.

Кремний – полупроводник.

Жильный кварц: свойства, применение.

Углеродистые восстановители для получения кремния.

Применение физико-химического моделирования в химии и металлургии кремния.

Критерии оценивания.

Тестирование считается пройденным, если обучающийся дал более 50 % правильных ответов.

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-1.1	Демонстрирует знания основных понятий термодинамики и навыки формирования термодинамических моделей применительно к области получения кремния	Тестирование

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 3, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Зачет проводится в форме тестирования по вопросам для проведения зачета.

Контрольные вопросы к зачету:

1. Назовите распространённость кремния в земной коре и его место по этому фактору среди других элементов.
2. Как объяснить стабильность атома Si с известного расположения нейтронов и протонов в ядре этого элемента на определённых энергетических уровнях?
3. Перечислите основные физические свойства кремния: цвет, температура плавления, плотность, твёрдость по шкале Мооса.
4. Как изменяется удельное электросопротивление кремния с изменением температуры элемента?
5. Чем объяснить полупроводниковые свойства кремния?
6. Какие основные химические свойства кремния Вы знаете (например, отношение к известным кислотам)?
7. Назовите галогенидные соединения кремния.
8. Какие природные соединения на основе кремния Вы можете назвать?
9. Что представляет собой «кварцевое стекло»?
10. Какие изделия из керамики, выполненные в глубокой древности, сохранились до наших дней?
11. Как можно охарактеризовать собой «цемент, портландцемент, бетон»?
12. Какие разновидности силикатного стекла нашли широкое применение в промышленности?
13. Как можно охарактеризовать «фарфор, глазури, эмали»?
14. Какие кремнийорганические соединения сейчас широко используются в промышленности?
15. Какова роль кремния в живом мире?
16. Что такое «силиконы» и их роль в промышленном производстве?
17. Назовите основные сплавы, в которых одним из компонентов является кремний.
18. Производство и потребление кремния. Страны и объёмы производства (конец XX в. – начало XXI в.).
19. Для каких изделий различного назначения с учетом эксплуатационных требований может применяться кремний?
20. С учетом требований охраны окружающей среды в составе каких материалов и отрасли применяется кремний?

21. Назовите зарубежные заводы по производству кремния и ферросплавов.
22. Какие предприятия по производству кремния расположены в России?

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Демонстрирует знания основных понятий термодинамики и навыки формирования термодинамических моделей применительно к области получения кремния	Не демонстрирует знания основных понятий термодинамики и навыки формирования термодинамических моделей применительно к области получения кремния

7 Основная учебная литература

1. Катков О. М. Выплавка технического кремния : учеб. пособие / О. М. Катков, 1997. - 243.
2. Немчинова Н. В. Кремний: свойства, получение, применение : учебное пособие / Н. В. Немчинова, В. Э. Клец, 2008. - 271.
[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-35851.pdf>
3. Немчинова Н. В. Физикохимия и карботермия кремния : учебное пособие при подготовке бакалавров по направлению 22.03.02 "Металлургия" / Н. В. Немчинова, 2017. - 287.
[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-41252.pdf>
4. Шадис В. С. Физико-химическое моделирование металлургических процессов (производство кремния) : пособие / В. С. Шадис, В. А. Бычинский, 1999. - 64.
[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-38484.pdf>

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Физико-химия кремния [Электронный ресурс] : методические указания по выполнению лабораторных работ: по направлению подготовки 22.03.02 "Металлургия": программа бакалавриата / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 16.
[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-16993.pdf>
2. Электрометаллургия кремния и алюминия / Б. С. Громов, Р. В. Пак, В. И. Скорняков и др., 2000. - 505.
3. 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.
4. Клёц В. Э. Основы пирометаллургических производств : учебное пособие для вузов по направлению "Металлургия" / В. Э. Клёц; В. Э. Клец, Н. В. Немчинова, В. С. Кокорин, 2009. - 143.
[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-38491.pdf>

5. Немчинова Н. В. Развитие теории и практики получения кремния высокой чистоты карботермическим способом : диссертация ... доктора технических наук: 05.16.02 / Немчинова Нина Владимировна, 2010. - 364.

6. Немчинова Н. В. Развитие теории и практики получения кремния высокой чистоты карботермическим способом : автореферат диссертации ... доктора технических наук: 05.16.02 / Немчинова Нина Владимировна, 2010. - 39.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-4342.pdf>

7. Немчинова Н. В. Термодинамическое моделирование при изучении карботермического процесса получения кремния : монография [для направления 150400 "Металлургия" и научной специальности 05.16.02 "Металлургия черных, цветных и редких металлов"] / Н. В. Немчинова, 2013. - 99.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-2655.pdf>

8. Комплексное устойчивое управление отходами. Metallургическая промышленность : учебное пособие для вузов по направлениям 05.03.06 – «Экология и природопользование» [и др.] / Н. В. Немчинова [и др.], 2016. - 493.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-1230.pdf>

9. Гиббс Дж. В. Термодинамические работы : пер. с англ. / Дж. В. Гиббс, 1950. - 492.

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
2. Экран Projecta SlimScreen настенный