



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
А.С. Савинов

03.03.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ***

Направление подготовки (специальность)  
22.03.02 Металлургия

Направленность (профиль/специализация) программы  
Металлургия черных металлов

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
заочная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материаловобработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	3

Магнитогорск  
2021 год


Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия (приказ Минобрнауки России от 02.06.2020 г. № 702)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Metallургии и химических технологий  
10.02.2021, протокол № 5

Зав. кафедрой  А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ  
03.03.2021 г. протокол № 4

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:  
ст. преподаватель кафедры МиХТ,  С.В.Юдина

Рецензент:  
доцент кафедры ТСиСА, канд. техн. наук  И.В.Понурко

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целями освоения дисциплины «Физическая химия пирометаллургических процессов» являются:

- изучение современных методов исследования структуры и физико - химических свойств металлических и оксидных расплавов;
- изучение процессов фазовых превращений в металлических системах;
- приобретение навыков применения теоретических разработок к практическим задачам исследовательской деятельности;
- дать обучающимся основы знаний в области высокотемпературных металлургических процессов;
- обеспечить подготовку к усвоению профилирующих дисциплин и самостоятельной инженерной деятельности.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Физическая химия пирометаллургических процессов входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Информатика и информационные технологии

Физическая химия

Основы металлургического производства

Математика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Теория и технология доменного процесса

Теория и технология окускования железных руд

Теория и технология выплавки стали в кислородном конвертере

Электрометаллургия стали и ферросплавов

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Физическая химия пирометаллургических процессов» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания
ОПК-1.1	Использует естественнонаучные законы и принципы при решении практических задач
ОПК-1.2	Решает стандартные профессиональные задачи с применением общеинженерных знаний
ОПК-1.3	Применяет методы моделирования и математического анализа для решения задач теоретического и прикладного характера

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц 216 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 17 акад. часов;
- аудиторная – 14 акад. часов;
- внеаудиторная – 3 акад. часов
- самостоятельная работа – 186,4 акад. часов;
- подготовка к экзамену – 12,6 акад. часа
- подготовка к зачёту – 12,6 акад. часа

Форма аттестации - зачет, экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Курс	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Раздел 1 . Термодинамика процессов горения топлива								
1.1 Кислородный потенциал газовой фазы. Реакция водяного газа	3		1/ИИ		20	Подготовка к лабораторному занятию	Собеседование по теме	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
1.2 Кинетика и механизм реакций горения. Термодинамика реакций горения углерода		0,5			25	Подготовка к лабораторному занятию	Проверка и защита индивидуального расчетно-графического задания №1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		0,5	1/ИИ		45			
2. Раздел 2. Процессы образования и диссоциации химических соединений								
2.1 Диссоциация карбонатов и окислов	3		2		10	Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Подготовка к лабораторной работе № 1	Выполнение и обсуждение данных лабораторной работы № 1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
2.2 Кинетика, механизм процесса диссоциации карбонатов			2/ИИ		5	Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Подготовка к лабораторной работе № 2	Выполнение и обсуждение данных лабораторной работы №2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу			4/ИИ		15			
3. Раздел 3. Основы теории восстановления оксидов								
3.1 Термодинамика восстановления металлов газами	3		1/ИИ		25	Подготовка к лабораторному занятию	Выполнение и обсуждение данных лабораторной работы №3	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
3.2 Восстановление оксидов металла водородом и оксидом углерода		0,5			10	Самостоятельное изучение учебной и научно литературы	Собеседование по теме	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3

3.3 Карбо-металлотермическое восстановление оксидов		0,5			20	Самостоятельное изучение учебной и научно литературы	Собеседование по теме	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		1	1/1И		55			
4. Раздел 4. Metallургические расплавы								
4.1 Активность компонентов в растворах	3	0,5			16,4	Выполнение расчетно- графической работы №2	Защита индивидуального расчетно-графического задания №2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
4.2 Metallургические шлаки. Теории (модели) металлургических расплавов			2			Подготовка к лабораторному занятию. Лабораторная работа №4	Выполнение и обсуждение данных лабораторной работы №4	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		0,5	2		16,4			
5. Раздел 5. Физико-химический анализ шлаков								
5.1 Двойные диаграммы состояния шлаковых систем.	3	1		0,5	5	Разработка алгоритма выполнения решения задач	Устный опрос (собеседование); решение задач	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
5.2 Диаграммы состояния трехкомпонентных систем.		0,5		0,5	25	Самостоятельное изучение учебной литературы	Устный опрос (собеседование); решение задач	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
5.3 Диаграмма состояния системы CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub>		0,5		1	25	Самостоятельное изучение учебной литературы. Разработка алгоритма выполнения решения задач.	Устный опрос (собеседование); решение задач	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		2		2	55			
Итого за семестр		4	8/4И	2	186,4		экзамен, зачет	
Итого по дисциплине		4	8/4И	2	186,4		зачет, экзамен	

## 5 Образовательные технологии

Образовательные технологии – это целостная модель образовательного процесса, системно определяющая структуру и содержание деятельности обеих сторон этого процесса (преподавателя и студента), имеющая целью достижение планируемых результатов с поправкой на индивидуальные особенности его участников. Технологичность учебного процесса состоит в том, чтобы сделать учебный процесс полностью управляемым.

Основными признаками образовательной технологии в ее современном понимании являются:

- детальное описание образовательных целей;
- поэтапное описание (проектирование) способов достижения заданных результатов-целей;
- использование обратной связи с целью корректировки образовательного процесса;
- гарантированность достигаемых результатов;
- воспроизводимость образовательного процесса вне зависимости от мастерства преподавателя;
- оптимальность затрачиваемых ресурсов и усилий.

Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Цели, поставленные при изучении курса, достигаются за счет комплексного подхода к обучению студентов, основанного на сочетании теоретического курса, лабораторных занятий и самостоятельной познавательной деятельности студентов. Изучение теоретического курса проводится в специализированных лекционных аудиториях с использованием видеотехники, позволяющей транслировать через монитор рисунки, схемы, модели, которые в значительной степени облегчают понимание курса.

Занятия проводятся с применением традиционной и модульно-компетентностной технологий с использованием Интернет-ресурсов.

Лекционный материал закрепляется в ходе практических занятий и лабораторных работ, на которых выполняются групповые или индивидуальные задания по пройденной теме. На практических и лабораторных занятиях студенты приобретают навыки исследовательской деятельности и умения объяснять результаты эксперимента, основываясь на знаниях теоретической части курса. При проведении лабораторных занятий используется метод контекстного обучения, который позволяет усвоить материал путем выявления связей между конкретным знанием и его применением, а также технология модульного обучения и коллективного взаимообучения (парная работа трех видов: статическая пара, динамическая пара, вариационная пара).

Индивидуальная самостоятельная познавательная деятельность студентов заключается в подборе литературы по разделам курса и ее изучении. При этом предусмотрены индивидуальные и групповые консультации по изучаемым разделам курса. В результате изучения данной дисциплины студенты должны приобрести знания, умения и определенный опыт, необходимые для будущей практической деятельности. Самостоятельная работа студентов стимулирует студентов к самостоятельной проработке тем в процессе выполнения индивидуальных заданий, в процессе подготовки к контрольным работам и итоговой аттестации. Самостоятельная работа студентов направлена на закрепление теоретического материала, изложенного преподавателем, на проработку тем, отведенных на самостоятельное изучение, на подготовку к выполнению и защите лабораторных работ, подготовку к контрольной работе и итоговой аттестации.

**6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**  
Представлено в приложении 1.

**7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**  
Представлены в приложении 2.

**8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**  
**а) Основная литература:**

1. Гольдштейн Н. Л. Краткий курс физической химии металлургических процессов [Текст]: учебное пособие / Н. Л. Гольдштейн; МГТУ. - 2-е изд. - Магнитогорск, 2012. - 338 с.: ил., диагр., граф., схемы, табл.

2. Основы металлургического производства : учебник / В. А. Бигеев, К. Н. Вдовин, В. М. Колокольцев [и др.] ; под общей редакцией В. М. Колокольцева. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 616 с. — ISBN 978-5-8114-4960-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129223> (дата обращения: 27.04.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**б) Дополнительная литература:**

1. Михайлов, Г.Г. Термодинамика металлургических шлаков : учебное пособие / Г.Г. Михайлов, В.И. Антоненко. — Москва : МИСИС, 2013. — 173 с. — ISBN 978-5-87623-729-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/47475>

2. Михайлов, Г.Г. Термодинамика металлургических процессов и систем : монография / Г.Г. Михайлов, Б.И. Леонович, Ю.С. Кузнецов. — Москва : МИСИС, 2009. — 520 с. — ISBN 978-5-87623-224-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/117016>

3. Лузгин, В.П. Теория и технология металлургии стали : учебное пособие / В.П. Лузгин, А.Е. Семин, О.А. Комолова. — Москва : МИСИС, 2010. — 72 с. — ISBN 978-5-87623-346-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2062>

4. Ивлев, С.А. Металлургические технологии. Металлургия чёрных металлов : учебное пособие / С.А. Ивлев, М.П. Клюев. — Москва : МИСИС, 2017. — 45 с. — ISBN 978-5-906846-57-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/108106>

5. Термодинамика, кинетика и расчеты металлургических процессов / С.Н. Падерин, Д.И. Рыжонков, Г.В. Серов [и др.]. — Москва : МИСИС, 2010. — 235 с. — ISBN 978-5-87623-312-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/117022>

**в) Методические указания:**

1. Смирнов А. Н. Термодинамика процессов горения топлива [Электронный ресурс]: методические указания для студентов по дисциплине "Физическая химия металлургических процессов" / А. Н. Смирнов, М. А. Шестобитов, С. В. Юдина; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=68.pdf&show=dcatalogues/1/112430/2/68.pdf&view=true> . - Макрообъект.

2. Материальные и тепловые расчеты химико-технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие / С. А. Крылова, З. И. Костина, И. В.



Понурко, А. В. Горохов; МГТУ, [каф. ХТНМиФХ]. - Магнитогорск, 2011. - 50 с.: табл. - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=36.pdf&show=dcatalogues/1/1079012/36.pdf&view=true> . - Макробъект.

3. Свечникова Н.Ю., Смирнов А.Н., Юдина С.В. Методические указания: для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Физическая химия пирометаллургических процессов» для студентов всех специальностей всех форм обучения. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2015, 29 с.

#### г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

##### Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно	бессрочно
FAR Manager	свободно	бессрочно

##### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp">http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp</a>

#### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена:
  - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;
  - специализированной мебелью.
2. Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий «Химические лаборатории» оснащена лабораторным оборудованием:
  - Химические реактивы,
  - Химическая посуда
  - Лабораторные установки
  - Плакаты по темам рабочей программы
  - специализированной мебелью.
3. Учебная аудитория для проведения практических занятий оснащена:
  - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;
  - специализированной мебелью.
4. Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащена:
  - компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
  - специализированной мебелью.
5. Помещение для самостоятельной работы оснащено:
  - компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
  - специализированной мебелью.
6. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащено:
  - специализированной мебелью: стеллажами для хранения учебного оборудования;
  - инструментами для ремонта учебного оборудования;
  - шкафами для хранения учебно-методической документации и материалов.

**6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**  
**Содержание теоретического раздела дисциплины**  
**(самостоятельное изучение)**

1. Классификация металлургических процессов. Основные законы термодинамики. Энергия Гиббса и химический потенциал. Константа химического равновесия и уравнение изотермы реакции. Стандартное изменение энергии Гиббса. Смещение равновесия и правило фаз.

2. Горение оксида углерода. Горение водорода. Реакция водяного газа. Реакция взаимодействия углерода с  $\text{CO}_2$ . Реакции неполного и полного горения углерода. Равновесный состав газа. Воспламенение газовых смесей. Цепные реакции. Кинетика и механизм горения твердого углерода. Основы кинетики гетерогенных процессов. Характеристика диффузионных процессов. Особенности процессов в кинетической и диффузионной областях.

3. Кинетика окисления металлов. Роль диффузии реагентов через окалину и кристаллохимического превращения на границе металл - оксид. Формально-кинетическое уравнение процесса и его анализ. Кинетический и диффузионный режим реакции. Влияние температуры на скорость окисления. Окислительное рафинирование жидких металлов. Последовательность окисления примесей. Термодинамический анализ реакции диссоциации карбонатов. Кинетика процесса диссоциации, особенности кристаллохимического превращения. Автокатализ процесса. Влияние измельчения твердых фаз на термодинамические и кинетические характеристики процесса.

4. Строение и свойства металлургических расплавов. Физико-химический анализ шлаков. Двойные диаграммы состояния шлаковых систем. Диаграмма состояния системы  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Расплавленные шлаки. Молекулярная теория. Вязкость шлаков.

Сера в чугунах и сталях. Процессы десульфурации железных сплавов. Газы (водород и азот) в железных сплавах. Растворимость газов. Кислород в железных сплавах. Неметаллические включения в сталях и технологические способы рафинирования металла от неметаллических включений. Поверхностные явления в металлургических процессах. Поверхностное натяжение шлаков и железных сплавов. Поверхностно-активные вещества.

**Лабораторные работы:**

Лабораторная работа № 1: Термодинамический анализ реакции диссоциации карбоната кальция;

Лабораторная работа № 2: Гравиметрическое исследование кинетики диссоциации карбоната кальция;

Лабораторная работа № 3: Гравиметрическое исследование макрокинетики окисления железа;

Лабораторная работа № 4: Определение электропроводности шлакового расплава.

**Формулировка индивидуального задания №1**  
**(Расчетно-графическая работа №1)**

Для реакции водяного газа  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$  определить возможное направление реакции и равновесный состав газа при температурах: 700, 800, 900 и 1000° С, если исходная газовая смесь содержит 23%  $\text{CO}$  и 27%  $\text{H}_2\text{O}$ , 20%  $\text{CO}_2$  и 30%  $\text{H}_2$ .

Определить равновесный состав газа в реакции Бела-Будуара  $\text{C}_{\text{тв}} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$

## Формулировка индивидуального задания № 2 (Расчетно-графическая работа №2)

### Задача 1

Определить активность оксида железа FeO в поликомпонентном шлаке (таб. 1).

Таблица 1

Состав шлакового расплава мас. %

Вариант	CaO	MgO	MnO	FeO	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	40,0	5,0	3,0	25,0	25,0	2,0

### Задача 2

Определить активность компонентов в сплавах на основе железа (табл. 2,3).

Таблица 2

Химический состав железных сплавов (масс.%)

Вариант	C	Si	Mn	Cr	S	P	O
2	0,08	0,30	0,40	0,15	0,045	0,035	0,047

Таблица 3

Параметры взаимодействия  $\varepsilon_i^j$  компонентов сплавов на основе железа при 1600 °С

Элемент i	Элемент J						
	C	Si	Mn	Cr	S	P	O
C	0,14	0,08	-0,012	-0,024	0,046	0,051	-0,34
Si	0,18	0,11	0,002	-0,0003	0,056	0,11	-0,23
Mn	-0,07	0	0	0	-0,048	-0,0035	-0,083
Cr	-0,12	-0,0043	0	-0,0003	-0,020	-0,053	-0,014
S	0,11	0,063	-0,026	-0,011	-0,028	0,29	-0,27
P	0,13	0,12	0	-0,03	0,028	0,062	0,13
O	-0,45	-0,131	-0,021	-0,04	-0,133	0,07	-0,20

### Примерные вопросы для собеседования по темам:

1. В каких технологических процессах происходит термическая диссоциация CaCO<sub>3</sub>?
2. Дайте определение термину «упругость диссоциации карбоната».
3. В чем заключается отличие констант равновесия Ka и Kp?
4. В каком случае значения Kp и упругости диссоциации CaCO<sub>3</sub> численно совпадают?
5. С какой целью перед опытом вакуумируют рабочую установку?
6. Термодинамика образования и диссоциация карбонатов; температуры начала.
7. Термодинамика горения твердого топлива
8. Как влияет степень дисперсности карбоната и извести на упругость диссоциации CaCO<sub>3</sub>.
10. Какие металлургические процессы являются топохимическими реакциями?
11. Какие химические реакции протекают по автокаталитическому механизму? Что является катализатором таких процессов?

Что такое кристаллическая решетка, и какие характеристики кристаллической решетки Вы знаете?

Распределение компонентов между металлом и шлаком; константа и коэффициент распределения

Объясните изменение скорости топохимических процессов на примере выполненной работы.

Каков механизм диссоциации карбоната кальция?

### Примерные задачи:

Задача 1. Определить равновесное парциальное давление кислорода в газовой смеси CO-CO<sub>2</sub> при температуре 1300 °С и  $P_{CO_2}/P_{CO} = 0,35$ .

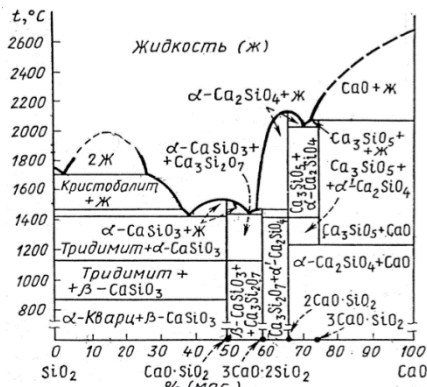
Задача 2. Определить равновесное парциальное давление кислорода в газовой смеси H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O при температуре 1500 °С и  $P_{H_2O}/P_{H_2} = 0,30$ .

Задача 3. Какое должно быть отношение %CO<sub>2</sub>/%CO в газовой смеси CO-CO<sub>2</sub>, чтобы при температуре 1200 °С равновесное давление кислорода в ней составляло  $P_{O_2} = 1,5 \cdot 10^{-5}$  Па?

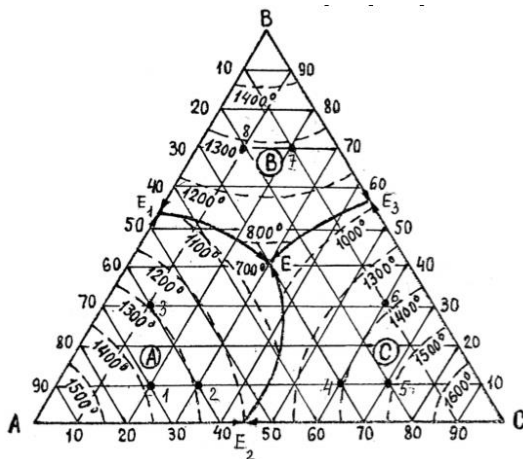
Задача 4. Какое должно быть отношение %H<sub>2</sub>O/%H<sub>2</sub> в газовой смеси H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, чтобы при температуре 1300 °С равновесное давление кислорода составляло  $P_{O_2} = 2 \cdot 10^{-5}$  Па?

Задача 5. Определить температуру, при которой равновесное парциальное давление кислорода в газовой смеси CO-CO<sub>2</sub> при отношении  $P_{CO_2}/P_{CO} = 0,2$  составит  $P_{O_2} = 4 \cdot 10^{-5}$  Па.

Задача 6. Задача 1. Охарактеризовать ход кристаллизации расплавов, содержащих 10 % CaO.



Задача 7. Для смесей, соответствующих точкам 1 – 8, изображенных на рис., определить: 1) какие фазы и в каком количественном соотношении будут находиться в равновесии при нагревании смесей до температуры 1200 °С.; 2) при какой температуре начнется и закончится плавление смесей.



## Приложение 2

### 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

#### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания		
ОПК-1.1	Использует естественнонаучные законы и принципы при решении практических задач	<b>Список вопросов для проведения зачета и экзамена по дисциплине «Физическая химия пирометаллургических процессов»</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. В каких технологических процессах происходит термическая диссоциация <math>\text{CaCO}_3</math>?</li><li>2. Дайте определение термину «упругость диссоциации карбоната».</li><li>3. В чем заключается отличие констант равновесия <math>K_a</math> и <math>K_p</math>?</li><li>4. В каком случае значения <math>K_p</math> и упругости диссоциации <math>\text{CaCO}_3</math> численно совпадают?</li><li>5. С какой целью перед опытом вакуумируют рабочую установку?</li><li>6. Термодинамика образования и диссоциация карбонатов; температуры начала.</li><li>7. Термодинамика горения твердого топлива</li><li>8. Как влияет степень дисперсности карбоната и извести на упругость диссоциации <math>\text{CaCO}_3</math>.</li><li>10. Какие металлургические процессы являются топохимическими реакциями?</li><li>11. Какие химические реакции протекают по автокаталитическому механизму? Что является катализатором таких процессов?</li><li>12. Что такое кристаллическая решетка, и какие характеристики кристаллической решетки Вы знаете?</li><li>13. Распределение компонентов между металлом и шлаком; константа и коэффициент распределения</li><li>14. Объясните изменение скорости топохимических процессов на примере выполненной работы.</li><li>15. Каков механизм диссоциации карбоната кальция?</li></ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>16. Расскажите о методике определения скорости диссоциации карбоната кальция, примененной в данном опыте.</p> <p>17. В чем заключаются различия гомогенных и гетерогенных реакций?</p> <p>18. Из каких стадий складываются гетерогенные реакции?</p> <p>19. Что называют режимом гетерогенной реакции?</p> <p>20. Каковы особенности протекания реакций в различных режимах реагирования?</p> <p>21. Как изменяется толщина пленки окалина при окислении металлов в различных режимах реагирования?</p> <p>22. В чем сущность гравиметрического метода исследования окисления металлов?</p> <p>23. Какова структура железной окалина и от каких факторов она зависит?</p> <p>24. Что такое вюстит и какова его роль в окислении железных сплавов?</p> <p>25. Сформулируйте принцип жаростойкости железных сплавов.</p> <p>26. Дайте определения константы скорости реакции и коэффициента диффузии.</p> <p>27. В чем заключается реакционная диффузия и как она проявляется при окислении железа?</p> <p>28. Каковы основные компоненты металлургических шлаков?</p> <p>29. Как определяют удельную электрическую проводимость расплавов?</p> <p>30. Что такое энергия активации электропереноса, и как она может быть определена?</p> <p>31. Каковы экспериментальные доказательства ионного строения шлаков?</p> <p>32. Дайте определение понятия "динамическая вязкость" расплава.</p> <p>33. Дайте определение понятия "кинематическая вязкость" расплава.</p> <p>34. Из каких частиц состоят металлургические шлаки?</p> <p>35. Какие частицы контролируют вязкое течение в шлаках?</p> <p>36. Как определяют вязкость шлаковых и металлических расплавов?</p> <p>37. Что такое энергия активации вязкого течения, и как она может быть определена?</p> <p>38. Что может быть причиной криволинейного характера изменения вязкости с температурой в координатах <math>\ln \eta - 1/T</math>?</p> <p>41. Дайте определение понятия "удельная электрическая электропроводность".</p> <p>42. Из каких частиц состоят металлургические шлаки?</p>
ОПК-1.2	Решает стандартные профессиональные задачи с применением общеинженерных	<p>Задачи для самостоятельного решения:</p> <p>Задача 1. Определить равновесное парциальное давление кислорода в газовой смеси CO-CO<sub>2</sub> при температуре 1300 °С и <math>P_{CO_2}/P_{CO} = 0,35</math>.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	знаний	<p>Задача 2. Определить равновесное парциальное давление кислорода в газовой смеси <math>H_2-H_2O</math> при температуре <math>1500\text{ }^\circ\text{C}</math> и <math>P_{H_2O}/P_{H_2}=0,30</math>.</p> <p>Задача 3. Какое должно быть отношение <math>\%CO_2/\%CO</math> в газовой смеси <math>CO-CO_2</math>, чтобы при температуре <math>1200\text{ }^\circ\text{C}</math> равновесное давление кислорода в ней составляло <math>P_{O_2}=1,5\cdot 10^{-5}\text{ Па}</math>?</p> <p>Задача 4. Какое должно быть отношение <math>\%H_2O/\%H_2</math> в газовой смеси <math>H_2-H_2O</math>, чтобы при температуре <math>1300\text{ }^\circ\text{C}</math> равновесное давление кислорода составляло <math>P_{O_2}=2\cdot 10^{-5}\text{ Па}</math>?</p> <p>Задача 5. Определить температуру, при которой равновесное парциальное давление кислорода в газовой смеси <math>CO-CO_2</math> при отношении <math>PCO_2/PCO=0,2</math> составит <math>P_{O_2}=4\cdot 10^{-5}\text{ Па}</math>.</p> <p>Задача 6. Определить температуру, при которой равновесное парциальное давление кислорода в газовой смеси <math>H_2-H_2O</math> при отношении <math>P_{H_2O}/P_{H_2}=0,25</math> составит <math>P_{O_2}=5\cdot 10^{-5}\text{ Па}</math>.</p> <p>Задача 7. Определить равновесный состав газовой смеси <math>H_2 - O_2 - H_2O</math> при температуре <math>700\text{ }^\circ\text{C}</math>, если исходные парциальные давления газов в закрытой системе составляли <math>0,333\text{ атм}</math>.</p> <p>Задача 8. Определить равновесный состав газовой смеси <math>CO - O_2 - CO_2</math> при температуре <math>800\text{ }^\circ\text{C}</math>, если исходные парциальные давления газов в системе составляли: <math>CO - 0,5\text{ атм}</math>, <math>O_2 - 0,3\text{ атм}</math>, <math>CO_2 - 0,2\text{ атм}</math>.</p> <p>Задача 9. Определить, при какой температуре сродство кислорода к водороду и монооксиду углерода одинаково.</p> <p>Задача 10. Определить возможное направление реакции водяного газа при температуре <math>900\text{ }^\circ\text{C}</math>, если исходная газовая смесь содержит <math>23\%\text{ CO}</math>, <math>27\%\text{ H}_2O</math>, <math>20\%\text{ CO}_2</math> и <math>30\%\text{ H}_2</math>. Общее давление в печи равно <math>105\text{ Па}</math>, а константа равновесия реакции при <math>900\text{ }^\circ\text{C}</math> равна <math>0,76</math>.</p> <p>Задача 11. Определить температуру, при которой в результате протекания реакции водяного газа равновесная газовая смесь содержит <math>26,2\%\text{ CO}</math>, <math>30,2\%\text{ H}_2O</math>, <math>16,8\%\text{ CO}_2</math> и <math>26,2\%\text{ H}_2</math>. Температурная зависимость энергии Гиббса для реакции <math>CO(g)+H_2O(g)=CO_2(g)+H_2(g)</math> имеет вид <math>G=-36600+33,5\cdot T</math>, Дж</p>
ОПК-1.3	Применяет методы моделирования и математического анализа для решения задач теоретического и прикладного характера	<p>Задание на решение задач из профессиональной области (домашнее индивидуальное задание)</p> <p><b>Задача 1.</b> Для реакции: <math>C_{(г)} + CO_{2(г)} = 2CO_{(г)}</math> уравнение зависимости константы равновесия от температуры которой имеет вид:</p>



Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																																																																																																
		<p data-bbox="936 268 1198 331"><math>\lg K_p = -\frac{9001}{T} + 9,28</math></p> <p data-bbox="936 339 2123 411">определить равновесный состав газа в зависимости от температуры и давления (табл.). Полученные значения представить в виде таблицы и графика.</p> <table border="1" data-bbox="936 448 2163 639"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Вариант</th> <th colspan="5">Температура °С</th> <th colspan="4">Состав исходной газовой смеси</th> </tr> <tr> <th>% CO</th> <th>% H<sub>2</sub>O</th> <th>% CO<sub>2</sub></th> <th colspan="2">% H<sub>2</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>500</td> <td>600</td> <td>700</td> <td>800</td> <td>900</td> <td>5</td> <td>15</td> <td>35</td> <td colspan="2">45</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>550</td> <td>650</td> <td>750</td> <td>850</td> <td>950</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> <td colspan="2">30</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1000</td> <td>1050</td> <td>1100</td> <td>1150</td> <td>1200</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>45</td> <td colspan="2">15</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="936 647 1279 679">Задача №2. Для реакции:</p> $C_{(г)} + CO_{2(г)} = 2CO_{(г)}$ <p data-bbox="936 722 1962 754">уравнение зависимости константы равновесия от температуры имеет вид:</p> $\lg K_p = -\frac{8916}{T} + 9,11$ <p data-bbox="936 834 2123 906">определить равновесный состав газа в зависимости от температуры и давления (табл.). Полученные значения представить в виде таблицы и графика.</p> <table border="1" data-bbox="936 906 2163 1093"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Вариант</th> <th colspan="5">Температура °С</th> <th colspan="4">Давление (атм.)</th> </tr> <tr> <th>% CO</th> <th>% H<sub>2</sub>O</th> <th>% CO<sub>2</sub></th> <th colspan="2">% H<sub>2</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>500</td> <td>600</td> <td>700</td> <td>800</td> <td>900</td> <td>5</td> <td>15</td> <td>35</td> <td colspan="2">45</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>550</td> <td>650</td> <td>750</td> <td>850</td> <td>950</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> <td colspan="2">30</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1000</td> <td>1050</td> <td>1100</td> <td>1150</td> <td>1200</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>45</td> <td colspan="2">15</td> </tr> </tbody> </table>	Вариант	Температура °С					Состав исходной газовой смеси				% CO	% H <sub>2</sub> O	% CO <sub>2</sub>	% H <sub>2</sub>		1	500	600	700	800	900	5	15	35	45		2	550	650	750	850	950	10	20	40	30		3	1000	1050	1100	1150	1200	15	25	45	15		Вариант	Температура °С					Давление (атм.)				% CO	% H <sub>2</sub> O	% CO <sub>2</sub>	% H <sub>2</sub>		1	500	600	700	800	900	5	15	35	45		2	550	650	750	850	950	10	20	40	30		3	1000	1050	1100	1150	1200	15	25	45	15	
Вариант	Температура °С					Состав исходной газовой смеси																																																																																												
	% CO	% H <sub>2</sub> O	% CO <sub>2</sub>	% H <sub>2</sub>																																																																																														
1	500	600	700	800	900	5	15	35	45																																																																																									
2	550	650	750	850	950	10	20	40	30																																																																																									
3	1000	1050	1100	1150	1200	15	25	45	15																																																																																									
Вариант	Температура °С					Давление (атм.)																																																																																												
	% CO	% H <sub>2</sub> O	% CO <sub>2</sub>	% H <sub>2</sub>																																																																																														
1	500	600	700	800	900	5	15	35	45																																																																																									
2	550	650	750	850	950	10	20	40	30																																																																																									
3	1000	1050	1100	1150	1200	15	25	45	15																																																																																									

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «**Физическая химия пирометаллургических процессов**» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета и экзамена.

Зачёт по данной дисциплине проводится в устной форме в виде собеседования.

**Показатели и критерии оценивания зачета:**

– на оценку «**зачтено**» – обучающийся демонстрирует высокий или средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку «**не зачтено**» – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

**Показатели и критерии оценивания экзамена:**

– на оценку «**отлично**» (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку «**хорошо**» (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку «**удовлетворительно**» (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку «**неудовлетворительно**» (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку «**неудовлетворительно**» (1 балл) – задание преподавателя выполнено частично, обучающийся не может воспроизвести и объяснить содержание, не может показать интеллектуальные навыки решения поставленной задачи.