



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

05.02.2026 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ***

Направление подготовки (специальность)  
22.04.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы  
Химические технологии энергоносителей и сырьевых материалов в металлургии

Уровень высшего образования - магистратура


Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	1
Семестр	1

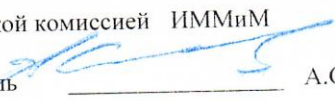
Магнитогорск  
2026 год


Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 22.04.02 Металлургия (приказ Минобрнауки России от 24.04.2018 г. № 308)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
Металлургии и химических технологий  
28.01.2026, протокол № 4

Зав. кафедрой  А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ  
05.02.2026 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:  
профессор МиХТ кафедры МиХТ, д.ф.-м.н.  Смирнов А.Н.

Рецензент:

Зав. кафедрой ТиЭС, к.техн.н.  Нешпоренко Е.Г.

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 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 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

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

## 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

являются:

- изучение современных методов исследования структуры и физико - химических свойств металлических и оксидных расплавов;
- изучение процессов фазовых превращений в металлических системах;

## 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:

Для изучения данной дисциплины необходимы знания полученные при изучении дисциплин уровня бакалавриата, а именно: химии, физики, математики, информатики, физической химии.

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

Информационные технологии для обработки эмпирических данных в химической и металлургической промышленности

Улавливание, переработка и использование промышленных газов

Синергетика в современном естествознании

Химическая технология энергоносителей в металлургии

Современные физико-химические методы исследования и анализа

Современные методы получения синтез-газа

## 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 производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области металлургии
ОПК-1.1	Решает профессиональные задачи в области металлургии и процессов металлообработки, используя фундаментальные знания
ОПК-1.2	Владеет способами и приемами решения исследовательских задач в предметной области металлургии и металлообработки
ОПК-1.3	Применяет фундаментальные междисциплинарные знания для решения задач в профессиональной деятельности

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 32,9 академических часов;
- аудиторная – 32 академических часов;
- внеаудиторная – 0,9 академических часов;
- самостоятельная работа – 75,1 академических часов;
- в форме практической подготовки – 0 академических часов;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1.								
1.1 1.Термодинамика и кинетика реакций горения в газовой фазе, гетерогенные реакции  1.1. Анализ равновесия реакций горения водорода и монооксида углерода, Кислородный потенциал газовой фазы. Реакция водяного газа. 1.2. Кинетика и механизм реакций горения. Термодинамика реакций горения углерода	1	3		3	13,7	Выполнение индивидуального домашнего задания №1 Разработка алгоритма выполнения решения задачи Выполнение индивидуального домашнего задания №1 Разработка алгоритма выполнения решения задачи Выполнение индивидуального домашнего задания №1	Проверка и защита индивидуального задания № 1. Решение задач Проверка и защита индивидуального задания № 1 Проверка и защита индивидуального задания № 1. Решение задач	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
1.2 2. Термодинамический анализ процессов термической диссоциации химических соединений 2.1. Диссоциация карбонатов и окислов 2.2. Кинетика, механизм процесса диссоциации карбонатов		2		3	11	Разработка алгоритма решения задачи при диссоциации химических соединений	Решение задач. Упругость и теплота диссоциации. Собеседование.	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
1.3 3. Механизм и основные кинетические закономерности процессов окисления металлов		3		6	18	Разработка и анализ алгоритма решения задач восстановитель	Решение задач. Особенности прямого восстановления, термичность	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3

3.1. Общая характеристика восстановительно-окислительных реакций. Механизм и кинетика восстановления оксидов 3.2. Термодинамика восстановления металлов газами 3.3. Восстановление оксидов металла водородом и оксидом углерода 3.4 Карбо - металлургическое восстановление оксидов						но - окислительных процессов. Карбо-металлотермическое восстановление. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	шихты. Собеседование.	
1.4 4. Металлургические расплавы 4.1 Активность компонентов в растворах. 4.2.Металлургические шлаки. Теории (модели) металлургических расплавов 4.3. Сущность окислительного рафинирования железных сплавов		4		3	17	Выполнение индивидуального домашнего задания №2 Разработка алгоритма выполнения решения задач. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	Собеседование по содержанию и выполнению индивидуального домашнего задания №2. Защита домашнего задания №2.	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
1.5 5. Процессы дефосфорации, десульфурации в железных сплавах. Раскисление металлов. Поверхностные явления в металлургических процессах. 5.1 Процессы дефосфорации, десульфурации в железных сплавах 5.2 Раскисление металлов 5.3 Поверхностно активные вещества	1	4		1	15,4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Анализ термодинамических и кинетических характеристик расплавов металла и шлака, диаграммы состояния.	Собеседование по теме растворимость газов в металле. Собеседование по теме способы рафинирования металла от неметаллических включений, поверхностное натяжение шлаков и железных сплавов	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		16		16	75,1			
Итого за семестр		16		16	75,1		зачёт	
Итого по дисциплине		16		16	75,1		зачет	

## 5 Образовательные технологии

Цели, поставленные при изучении курса, достигаются за счет комплексного подхода к обучению студентов, основанного на сочетании теоретического курса, практических 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.

Лекции проходят как в традиционной форме, в виде презентаций, так и в форме лекций-информаций, ориентированных на изложение и объяснение студентам научной информации, подлежащей осмыслению и запоминанию, лекций-консультаций, где теоретический материал заранее выдается студентам для самостоятельного изучения, для под-готовки вопросов лектору, таким образом, лекция проходит по типу вопросы-ответы-дискуссия.

Лекционный материал закрепляется в ходе практических занятий, на которых выполняются групповые или индивидуальные задания по пройденной теме. На практических занятиях студенты приобретают навыки исследовательской деятельности и умения объяснять результаты эксперимента, основываясь на знаниях теоретической части курса. 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 итоговой аттестации. Самостоятельная работа студентов направлена на закрепление теоретического материала, изложенного преподавателем, на проработку тем, отведенных на самостоятельное изучение, на подготовку к итоговой аттестации.

В ходе занятий предполагается использование комплекса инновационных методов интерактивного обучения студентов, включающего в себя:

- создание проблемных ситуаций с показательным решением проблемы преподавателем;
- самостоятельную поисковую деятельность в решении учебных проблем, направляемую преподавателем;
- самостоятельное решение проблем студентами под контролем преподавателя.
- проблемное обучение – стимулирование студентов к самостоятельной «добыче» знаний, необходимых для решения конкретной проблемы.
- контекстное обучение – мотивация студентов к усвоению знаний путем выявления связей между конкретным знанием и его применением.
- обучение на основе опыта – активизация познавательной деятельности студентов за счет ассоциации их собственного опыта с предметом изучения.
- индивидуальное обучение – выстраивание студентами собственных образовательных траекторий на основе формирования индивидуальных учебных планов и программ с учетом интересов и предпочтений студентов.
- междисциплинарное обучение – использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте конкретной решаемой задачи.
- опережающая самостоятельная работа – изучение студентами нового материала до его изложения преподавателем на лекции и других аудиторных занятиях.

## **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**

### **а) Основная литература:**

1. Смирнов, А. Н. Термодинамический анализ химических реакций, протекающих в металлургических системах. Практикум : учебное пособие для вузов / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 76 с. — ISBN 978-5-507-52776-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/501743>
2. Котельников, Г. И. Термодинамика и кинетика металлургических процессов: физико-химические расчеты распределения компонентов между металлом, шлаком и газом с использованием компьютерной программы «ГИББС – МИСиС» : учебное пособие / Г. И. Котельников, А. В. Павлов, А. А. Толстолицкий. — Москва : МИСИС, 2011. — 49 с. — ISBN 978-5-87623-417-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/116989>
3. Термодинамика, кинетика и расчеты металлургических процессов : учебное пособие / 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>

### **б) Дополнительная литература:**

1. 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>
2. Падерин, С. Н. Физико-химия металлов и неметаллических материалов : учебно-методическое пособие / С. Н. Падерин, Г. В. Серов. — Москва : МИСИС, 2007. — 94 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/1865>
3. Петелин, А. Л. Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Курс лекций : учебное пособие / А. Л. Петелин, Е. С. Михалина. — Москва : МИСИС, 2005. — 92 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/1846>

### **в) Методические указания:**

1. Смирнов, А. Н. Термодинамика процессов горения топлива : 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). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/3573>
2. Школьников, Е. В. Физико-химические методы анализа. Теоретические основы и контрольные задания : учебное пособие / Е. В. Школьников. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2020. — 52 с. — ISBN 978-5-9239-1189-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/159314>

3. Физико-химические методы анализа : методические указания / составители С. Б. Кочерегин, Е. В. Бочагина. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2018. — 48 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/108136>

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

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно распространяемое	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И.	<a href="https://host.megaprolib.net/MP0109/Web">https://host.megaprolib.net/MP0109/Web</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers">https://www.rsl.ru/ru/4readers</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>

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

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа

(Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации)

Учебная аудитория для проведения практических занятий (Персональные компьютеры с пакетом MS Office, вы-ходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета)

Учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (Доска, учебные столы, стулья)

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (стеллажи для хранения оборудования, методическая литература для учебных занятий)

## 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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.

## Формулировка индивидуального задания №1

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

Формулировка индивидуального задания №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  $\epsilon_{ij}$  компонентов сплавов на основе железа

при 1600 °C

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

#### Методические рекомендации для подготовки к зачету

Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине заключается в изучении теоретического материала по конспектам лекций, источникам основной и дополнительной литературы, включая темы самостоятельного изучения, ориентируясь на список контрольных вопросов по соответствующим темам.

При самостоятельном изучении материала рекомендуется заносить в тетрадь основные понятия, термины, формулировки законов, формулы и уравнения, выводы по изучаемой теме. Изучение любого вопроса необходимо проводить на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений. Это способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

В случае затруднения при изучении дисциплины следует обращаться за консультацией к преподавателю

**7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

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

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ОПК-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области металлургии	

ОПК-1.1	Решает профессиональные задачи в области металлургии и процессов металлообработки, фундаментальные знания	Термодинамика и кинетика реакций горения в газовой фазе, гетерогенные реакции. Законы Гесса, Кирхгофа и следствия из них. Термодинамические функции (потенциалы), химический потенциал. Анализ равновесия реакций горения водорода и монооксида углерода, Кислородный потенциал газовой фазы. Реакция водяного газа. Кинетика и механизм реакций горения. Термодинамика реакций горения углерода
---------	---	--

ОПК 1.2	Владеет способами и приемами решения исследовательских задач в предметной области металлургии и металлообработки	<p>Термодинамический анализ процессов термической диссоциации химических соединений. Упругость диссоциации.</p> <p>Диссоциация карбонатов и окислов. Кинетика, механизм процесса диссоциации карбонатов Механизм и основные кинетические закономерности процессов окисления металлов</p> <p>Общая характеристика восстановительно-окислительных реакций. Механизм и кинетика восстановления оксидов.</p> <p>Термодинамика восстановления металлов газами. Восстановление оксидов металла водородом и оксидом углерода. Карбо - металлотермическое восстановление оксидов.</p>
---------	--	---

ОПК 1.3	Применяет фундаментальные междисциплинарные знания для решения задач в профессиональной деятельности	Металлургические расплавы. Активность компонентов в растворах. Metallургические шлаки. Сущность окислительного рафинирования железных сплавов, вакуумировани. Процессы дефосфорации, десульфурации в железных сплавах. Раскисление металлов. Поверхностные явления в металлургических. Поверхностно активные вещества.
---------	--	--

**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.

Зачет по данной дисциплине проводится в виде теста или в устной форме по вопросам из списка, доведенного до сведения студентов.

Показатели и критерии оценивания зачета:

– оценку **«зачтено»** студент получает, если может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, может дать оценку предложенной ситуации, правильно отвечает на не менее чем 50% вопросов теста.

– оценку **«не зачтено»** студент получает, если не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации и дать оценку предложенной ситуации, правильно отвечает на менее чем 50 % вопросов теста.