

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Исаев Игорь Магомедович  
Должность: Проректор по учебной и научной работе  
Дата подписания: 16.01.2024 14:33:31  
Уникальный идентификатор:  
d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)  
**Прикладная термодинамика и кинетика  
металлургических процессов**

Закреплена за подразделением Кафедра металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов

Направление подготовки 22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ

Профиль Цифровое управление технологическими процессами металлургии и машиностроения

|                         |         |  |  |
|-------------------------|---------|--|--|
| Квалификация            | Магистр |  |  |
| Форма обучения          | очная   |  |  |
| Общая трудоемкость      | 3 ЗЕТ   |  |  |
| Часов по учебному плану | 108     | Формы контроля в семестрах:<br>зачет 1 |  |
| в том числе:            |         |  |  |
| аудиторные занятия      | 34      |  |  |
| самостоятельная работа  | 74      |  |  |

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр<br>( <b>&lt;Курс&gt;.&lt;Семестр на<br/>курсе&gt;</b> ) | <b>1 (1.1)</b> |     | Итого |     |
|---|----------------|-----|-------|-----|
| Неделя  | 18             |     |       |     |
| Вид занятий   | УП             | РП  | УП    | РП  |
| Лекции  | 17             | 17  | 17    | 17  |
| Практические  | 17             | 17  | 17    | 17  |
| Итого ауд.  | 34             | 34  | 34    | 34  |
| Контактная работа   | 34             | 34  | 34    | 34  |
| Сам. работа   | 74             | 74  | 74    | 74  |
| Итого   | 108            | 108 | 108   | 108 |

Программу составил(и):

*д.т.н., профессор, Павлов Александр Васильевич*

Рабочая программа

**Прикладная термодинамика и кинетика металлургических процессов**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

Направление 22.04.02 Металлургия, 22.04.02-ММТ-23-13.plx Цифровое управление технологическими процессами металлургии и машиностроения, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

Направление 22.04.02 Металлургия, Цифровое управление технологическими процессами металлургии и машиностроения, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов**

Протокол от 09.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Дуб Алексей Владимирович

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

|     |  |
|-----|--|
| 1.1 | Научить использованию основных законов и понятий физической химии для расчетов и анализа термодинамических и кинетических закономерностей процессов, протекающих в металлургических системах, разработке на этой основе технологических рекомендаций, направленных на повышение эффективности производства и качества продукции. |
|-----|--|

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| Блок ОП: |   | Б1.В.ДВ.01 |
| 2.1      | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>  |            |
| 2.2      | <b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |            |
| 2.2.1    | Современные методы металлургии, машиностроения и материаловедения   |            |
| 2.2.2    | Моделирование и оптимизация металлургических процессов  |            |
| 2.2.3    | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  |            |
| 2.2.4    | Преддипломная практика  |            |
| 2.2.5    | Научно-исследовательская практика   |            |
| 2.2.6    | Научно-исследовательская работа   |            |
| 2.2.7    | Автоматизация машин и агрегатов ОМД   |            |
| 2.2.8    | Инновационное производство высоколегированной стали и сплавов   |            |
| 2.2.9    | Оборудование и технологии специальной электрометаллургии  |            |
| 2.2.10   | Разработка и реализация предпринимательских проектов  |            |
| 2.2.11   | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  |            |
| 2.2.12   | Преддипломная практика  |            |

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

**ПК-3: Умение моделировать технические объекты и технологические процессы с использованием инновационных средств автоматизированного и компьютерного проектирования**

**Знать:**

ПК-3-31 основные законов и понятия физической химии для расчетов и анализа термодинамических и кинетических закономерностей процессов

**Уметь:**

ПК-3-У1 осуществлять решение задач по подготовке исходных условий для компьютерного расчета равновесных концентраций при заданных значениях температуры и давления

**ПК-4: Способность проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов**

**Владеть:**

ПК-4-В2 постановки и решения задач получения и рафинирования металла на основе термодинамического анализа

ПК-4-В1 владения техникой термохимического анализа гетерогенных металлургических систем

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ**

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/   | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|---|----------------|-------|------------------------------------|--------------------------|------------|----|--------------------|
|             | <b>Раздел 1. Термодинамика процессов с участием металлических и шлаковых растворов</b>  |                |       |                                    |                          |            |    |                    |
| 1.1         | 01. Компьютерный расчет равновесия между металлом шлаком с помощью современных пакетов прикладных термодинамических программ. /Лек/ | 1              | 5     | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2    | Л1.1<br>Л1.2Л2.2         |            |    |                    |
| 1.2         | Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №1) /Ср/  | 1              | 2     | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2    | Л1.1<br>Л1.2Л2.2<br>Э1   |            |    | Р1                 |

|      |  |   |    |                                 |                             |  |  |    |
|------|--|---|----|---------------------------------|-----------------------------|--|--|----|
| 1.3  | 02. Термодинамика расплавов железа – углерод – кислород. /Лек/                               | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2            |  |  |    |
| 1.4  | Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №2) /Ср/                                 | 1 | 8  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2<br>Э1      |  |  |    |
| 1.5  | 03. Термодинамический анализ взаимодействия расплавов с оксидами. /Лек/                      | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2            |  |  |    |
| 1.6  | Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №3) /Ср/                                 | 1 | 6  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2<br>Э1      |  |  | Р1 |
| 1.7  | 04. Расчет термодинамических характеристик раскисления стали. /Лек/                          | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2            |  |  |    |
| 1.8  | Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №4) /Ср/                                 | 1 | 6  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2<br>Э1      |  |  |    |
| 1.9  | 05. Термодинамика растворов азота и водорода в расплавах. /Лек/                              | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2            |  |  |    |
| 1.10 | Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №5) /Ср/                                 | 1 | 6  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2<br>Э1      |  |  |    |
| 1.11 | Подготовка к практическим занятиям №1-№7 /Ср/  | 1 | 34 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л2.1Л3.1<br>Л3.2 Л3.3<br>Э1 |  |  |    |
| 1.12 | Практическая работа №1: Компьютерный расчет обезуглероживания стали /Пр/                     | 1 | 5  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л2.1Л3.1<br>Л3.2 Л3.3       |  |  |    |
| 1.13 | Практическая работа №2: Компьютерный расчет дефосфорации стали /Пр/                          | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л2.1Л3.1<br>Л3.2 Л3.3       |  |  |    |
| 1.14 | Практическая работа №3: Компьютерный расчет раскисления стали /Пр/                           | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л2.1Л3.1<br>Л3.2 Л3.3       |  |  |    |
| 1.15 | Практическая работа №4: Компьютерный расчет легирования стали /Пр/                           | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л2.1Л3.1<br>Л3.2 Л3.3       |  |  |    |
| 1.16 | Практическая работа №5: Компьютерный расчет десульфурации стали /Пр/                         | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л2.1Л3.1<br>Л3.2 Л3.3       |  |  |    |
| 1.17 | Практическая работа №6: Компьютерный расчет растворимости азота и водорода /Пр/              | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л2.1Л3.1<br>Л3.2 Л3.3       |  |  |    |
| 1.18 | Практическая работа №7: Компьютерный расчет обезуглероживания высокохромистых расплавов /Пр/ | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л2.1Л3.1<br>Л3.2 Л3.3       |  |  |    |
|      | <b>Раздел 2. Кинетика процессов с участием металлических и шлаковых растворов</b>            |   |    |                                 |                             |  |  |    |
| 2.1  | 01. Общая характеристика кинетики металлургических реакций. /Лек/                            | 1 | 2  | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2            |  |  |    |

|     |  |   |   |                                 |                        |  |  |  |
|-----|--|---|---|---------------------------------|------------------------|--|--|--|
| 2.2 | Проработка лекционного материала (Раздел №2, Лекция №1) /Ср/   | 1 | 6 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2<br>Э1 |  |  |  |
| 2.3 | 02. Признаки для выявления лимитирующей стадии процесса. /Лек/ | 1 | 2 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2       |  |  |  |
| 2.4 | Проработка лекционного материала (Раздел №2, Лекция №2) /Ср/   | 1 | 6 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 | Л1.1<br>Л1.2Л2.2<br>Э1 |  |  |  |

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки  |
|--------|-------------------------|------------------------------------|---|
| КМ1    | зачет                   | ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-4-В1;ПК-4-В2    | Выполнение всех практических заданий<br>Практическая работа №1: Компьютерный расчет обезуглероживания стали<br>Практическая работа №2: Компьютерный расчет дефосфорации стали<br>Практическая работа №3: Компьютерный расчет раскисления стали<br>Практическая работа №4: Компьютерный расчет легирования стали<br>Практическая работа №5: Компьютерный расчет десульфурации стали<br>Практическая работа №6: Компьютерный расчет растворимости азота и водорода<br>Практическая работа №7: Компьютерный расчет обезуглероживания высокохромистых расплавов |

### 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
|------------|-----------------|------------------------------------|-------------------|
|------------|-----------------|------------------------------------|-------------------|

|    |                 |                                 |   |
|----|-----------------|---------------------------------|---|
| P1 | Домашняя работа | ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-4-В1;ПК-4-В2 | <p>1. Сложные металлургические системы. Химические и физико-химические особенности. Способы анализа.</p> <p>2. Газовые атмосферы металлургических агрегатов. Классификация, химические свойства, кислородный потенциал.</p> <p>3. Условия равновесия в газовых атмосферах. Способы расчета равновесного состава в сложных газовых системах при изотермических условиях.</p> <p>4. Равновесие в газах при адиабатических условиях. Расчет температуры горения газового топлива.</p> <p>5. Кинетические свойства газовых атмосфер металлургических систем. Диффузия в газах, капиллярная диффузия.</p> <p>6. Твердые металлургические фазы. Кристаллическая структура, химическая связь, дефекты кристаллической структуры.</p> <p>7. Диаграмма железо – кислород. Оксиды железа, вюстит и проблема нестехиометричности.</p> <p>9. Стандартные состояния реагентов в металлургических процессах, в т.ч. компонентов расплавов. Количественное описание отклонений от законов Рауля и Генри.</p> <p>10. Виды коэффициентов активности и их определение при проведении расчетов. Параметры взаимодействия компонентов.</p> <p>11. Расчет растворимостей газов в жидком железе и многокомпонентных расплавах на его основе (при различных температурах и давлениях).</p> <p>12. Термодинамика раскисления стали.</p> <p>13. Взаимодействие кислорода с жидким железом. Растворимость. Предел растворимости. Влияние давления, температуры и легирующих на взаимодействие Fe-O.</p> <p>14. Взаимодействие Fe-C-O в расплавах. Влияние давления температуры и легирующих на взаимодействие Fe-C-O.</p> <p>15. Водород в расплавах на основе железа. Влияние давления, температуры и легирующих элементов на взаимодействие водорода с железом.</p> <p>16. Особенности кинетики гетерогенных реакций металлургического производства.</p> <p>17. Признаки определения лимитирующего этапа сложного гетерогенного процесса.</p> |
|----|-----------------|---------------------------------|---|

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен по дисциплине не предусмотрен

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Для получения зачет по дисциплине необходимо наличие:

1. Практических работ №1-№7
2. Курсового проекта (защита+пояснительная записка)

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

|      | Авторы, составители                                     | Заглавие   | Библиотека             | Издательство, год      |
|------|---|--|------------------------|------------------------|
| Л1.1 | Петелин Александр Львович, Михалина Екатерина Сергеевна | Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Курс лекций: учеб. пособие для студ. вузов спец. Металлургия чер. металлов                          | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2005        |
| Л1.2 | Михалина Екатерина Сергеевна, Петелин Александр Львович | Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Окислительно-восстановительные системы: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 'Металлургия' | Библиотека МИСиС       | М.: Изд-во МИСиС, 2011 |

#### 6.1.2. Дополнительная литература

|  | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|--|---------------------|----------|------------|-------------------|
|--|---------------------|----------|------------|-------------------|

|      | Авторы, составители   | Заглавие  | Библиотека             | Издательство, год      |
|------|---|---|------------------------|------------------------|
| Л2.1 | Григорян Вули Аршакович, Стомахин Александр Яковлевич, Уточкин Юрий Иванович, др. | Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов. Сб. задач с решениями: учебное пособие для студ. вузов спец. - Metallurgy | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2007        |
| Л2.2 | Бокштейн Б. С., Менделев М. И., Похвиснев Ю. В.                                   | Физическая химия: термодинамика и кинетика: учебник   | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2012 |

### 6.1.3. Методические разработки

|      | Авторы, составители  | Заглавие   | Библиотека       | Издательство, год      |
|------|--|--|------------------|------------------------|
| Л3.1 | Котельников Георгий Иванович, Павлов А. В., Толстоуцкий Алексей Александрович, др.               | Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Физико-химические расчеты распределения компонентов между металлом, шлаком и газом с использованием компьютерной программы "ГИББС - МИСиС": учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 150100 - Metallurgy     | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2011 |
| Л3.2 | Котельников Георгий Иванович, Семин Александр Евгеньевич, Толстоуцкий Алексей Александрович, др. | Теория и технология металлургии стали: технологические расчеты на базе равновесного распределения компонентов в системе металл - шлак - газ с использованием компьютерной программы "ГИББС - МИСиС": учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 150100 - Metallurgy | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2011 |
| Л3.3 | Котельников Георгий Иванович, Павлов А. В., Косырев Константин Львович, др.                      | Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Физико-химические расчеты по термодинамике и кинетике поведения газов и неметаллических включений в стали: практикум: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. - Metallurgy                                  | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2013 |

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

|    |   |   |
|----|---|---|
| Э1 | Курс "Прикладная термодинамика и кинетика металлургических процессов" на платформе LMS Canvas | <a href="https://lms.misis.ru/login/ldap">https://lms.misis.ru/login/ldap</a> |
|----|---|---|

### 6.3 Перечень программного обеспечения

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| П.1 | ИВТАН ТЕРМО                |
| П.2 | Therm_DZ                   |
| П.3 | Microsoft Office           |
| П.4 | LMS Canvas                 |
| П.5 | MS Teams                   |
| П.6 | ThermoCalc                 |
| П.7 | Statistica Base Windows v6 |

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|------|------------|-----------|
|------|------------|-----------|

|                                    |                    |  |
|------------------------------------|--------------------|--|
| Читальный зал №3 (Б)               |                    | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |
| Читальный зал №4 (Б)               |                    | комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета  |
| Читальный зал электронных ресурсов |                    | комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.   |
| A-311                              | Компьютерный класс | комплект учебной мебели на 15 рабочих мест, оснащенных компьютерами с подключением к сети «Интернет»(14 шт) и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, доска, проектор   |
| A-311                              | Компьютерный класс | комплект учебной мебели на 15 рабочих мест, оснащенных компьютерами с подключением к сети «Интернет»(14 шт) и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, доска, проектор   |

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Для успешного освоения дисциплины "Прикладная термодинамика и кинетика металлургических процессов" обучающемуся необходимо:

1. Посещать лекционные и практические занятия
2. Зарегистрироваться на электронный курс «Прикладная термодинамика и кинетика металлургических процессов»
3. При самостоятельной работе активно пользоваться основной и дополнительной литературой, а также рекомендованными электронными ресурсами.
4. При возникновении каких-либо вопросов своевременно обращаться к преподавателю (очно/MS Teams)