

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Автономные энергетические системы

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

|                                                         |                                                                 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Блок:</b>                                            | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>                 | <b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b> |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>                  | <b>Б1.Ч.09.04</b>                                               |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>                | <b>7 семестр - 4;</b>                                           |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>                 | <b>144 часа</b>                                                 |
| <b>Лекции</b>                                           | <b>7 семестр - 32 часа;</b>                                     |
| <b>Практические занятия</b>                             | <b>7 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Лабораторные работы</b>                              | <b>7 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Консультации</b>                                     | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>Самостоятельная работа</b>                           | <b>7 семестр - 79,7 часа;</b>                                   |
| <b>в том числе на КП/КР</b>                             | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Иная контактная работа</b>                           | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>включая:</b><br>Тестирование<br>Дискуссия<br>Реферат |                                                                 |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>                        |                                                                 |
| <b>Зачет с оценкой</b>                                  | <b>7 семестр - 0,30 часа;</b>                                   |

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

---

|                                                                                   |                                                    |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|                                                                                   | Владелец                                           | Нефедкин С.И.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | Re4207b7b-NefedkinSI-3a80b823 |

С.И. Нефедкин

---

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

---

|                                                                                   |                                                    |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|                                                                                   | Владелец                                           | Ланская И.И.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R3db6324d-Lanskyall-6f410db9 |

И.И. Ланская

---

Заведующий выпускающей  
кафедрой

---

|                                                                                   |                                                    |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|                                                                                   | Владелец                                           | Кулешов Н.В.                  |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | Re9c42de9-KuleshovNV-bc390ed6 |

Н.В. Кулешов

---

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение классических и современные методов физико-химических исследований применительно к технологиям водородной и электрохимической энергетики с целью исследования и улучшения параметров электрохимических устройств, таких как топливные элементы и электролизные ячейки, электрохимические аккумуляторы и конденсаторы..

### Задачи дисциплины

- изучить традиционные и современные методы физико-химических исследований применительно к технологиям водородной и электрохимической энергетики;  
- освоить методы проведения научных исследований в области водородной и электрохимической энергетики, использовать освоенные физико-химические методы для создания новых элементов электрохимических устройств (электроды-катализаторы, мембраны и диафрагмы), понимать тенденции развития и новые возможности современных методов исследования с использованием последних науки и техники.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции                                                                                                      | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                | Запланированные результаты обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-4 Способен к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их элементов | ИД-2 <sub>ПК-4</sub> анализирует научную проблематику области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов                             | знать:<br>- методы характеристики катализаторов, электродов и других элементов электрохимических устройствах преобразования энергии;<br>- основные закономерности классических и новых физико-химических методов исследований (электрохимических, спектральных, термографических и хроматографических) применительно в технологиям водородной и электрохимической энергетики;.<br><br>уметь:<br>- проводить исследования процессов и материалов в электрохимических устройствах преобразования энергии (топливные элементы, электролизеры, аккумуляторы);<br>- анализировать и использовать на практике результаты исследований, давать рекомендации по улучшению параметров исследуемых устройств. |
| ПК-4 Способен к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их элементов | ИД-3 <sub>ПК-4</sub> выполняет эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов, электрохимических энергоустановок, установок | знать:<br>- возможности доступа и анализа информационных научных ресурсов (научные журналы, патенты, книги).<br><br>уметь:<br>- использовать информационные мировые ресурсы (научные журналы,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции                              | Запланированные результаты обучения                                |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                | водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями | патенты, книги) для выполнения исследований на современном уровне. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Автономные энергетические системы (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать фундаментальные представления о физико-химических процессах
- знать использовать данные знания в термодинамических расчетах
- знать теоретические основы химических источников тока
- уметь выполнять термохимические расчеты физико-химических процессов теплоэнергетики и теплотехники
- уметь выполнять расчет кинетических характеристик процессов для выбора оптимальных параметров работы теплоэнергетических и теплотехнических систем

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

| №<br>п/п | Разделы/темы<br>дисциплины/формы<br>промежуточной<br>аттестации                                                                                                       | Всего часов<br>на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |    |      |    |    |                      | Содержание самостоятельной работы/<br>методические указания |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------|-----|----|--------------|----|------|----|----|----------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                                                                                                       |                          |         | Контактная работа                                                    |     |    |              |    |      |    | СР |                      |                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|          |                                                                                                                                                                       |                          |         | Лек                                                                  | Лаб | Пр | Консультация |    | ИКР  |    | ПА | Работа в<br>семестре |                                                             | Подготовка к<br>аттестации<br>/контроль                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|          |                                                                                                                                                                       |                          |         |                                                                      |     |    | КПР          | ГК | ИККП | ТК |    |                      |                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1        | 2                                                                                                                                                                     | 3                        | 4       | 5                                                                    | 6   | 7  | 8            | 9  | 10   | 11 | 12 | 13                   | 14                                                          | 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1        | Равновесные и<br>неравновесные<br>электрохимические<br>методы анализа.<br>Электрохимические<br>методы исследования<br>топливных элементов<br>и электролизных<br>ячеек | 29                       | 7       | 9                                                                    | 4   | 2  | -            | -  | -    | -  | -  | 14                   | -                                                           | <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для<br>выполнения заданий по лабораторной работе<br>необходимо предварительно изучить тему и<br>задачи выполнения лабораторной работы, а<br>так же изучить вопросы вариантов<br>обработки результатов по изученному в<br>разделе "Равновесные и неравновесные<br>электрохимические методы анализа.<br>Электрохимические методы исследования<br>топливных элементов и электролизных<br>ячеек" материалу.<br><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Изучение материалов по разделу<br>Равновесные и неравновесные<br>электрохимические методы анализа.<br>Электрохимические методы исследования<br>топливных элементов и электролизных ячеек<br>и подготовка к контрольной работе<br><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br>Изучение материала по разделу<br>"Равновесные и неравновесные<br>электрохимические методы анализа.<br>Электрохимические методы исследования<br>топливных элементов и электролизных<br>ячеек" подготовка к выполнению заданий на<br>практических занятиях<br><b><u>Самостоятельное изучение<br/>теоретического материала:</u></b> Изучение |
| 1.1      | Равновесные и<br>неравновесные<br>электрохимические<br>методы анализа.<br>Электрохимические<br>методы исследования<br>топливных элементов<br>и электролизных<br>ячеек | 29                       |         | 9                                                                    | 4   | 2  | -            | -  | -    | -  | -  | -                    | 14                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|     |                                                                                                                 |    |  |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|----|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                                                                                 |    |  |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   | дополнительного материала по разделу "Равновесные и неравновесные электрохимические методы анализа. Электрохимические методы исследования топливных элементов и электролизных ячеек"<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 7-73, 98-131<br>[2], стр. 25<br>[4], стр. 240-246                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2   | Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии. | 36 |  | 10 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 18 | - | <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии." материалу.                                                                                                                                                                                                                       |
| 2.1 | Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии. | 36 |  | 10 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 18 | - | <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии."<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 20-42, 160-175, 185-211<br>[3], стр. 19 |

|     |                                                                                                                              |    |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3   | Спектральные и хроматографические методы.<br>Термогравитометрия.<br>Исследование водных технологических сред.                | 35 |  | 7 | 4 | 6 | - | - | - | - | - | 18 | - | <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 3.1 | Спектральные и хроматографические методы.<br>Термогравитометрия.<br>Исследование водных технологических сред.                | 35 |  | 7 | 4 | 6 | - | - | - | - | - | 18 | - | разделе "Спектральные и хроматографические методы. Термогравитометрия. Исследование водных технологических сред." материалу.<br><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br>Изучение материала по разделу "Спектральные и хроматографические методы. Термогравитометрия. Исследование водных технологических сред." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Спектральные и хроматографические методы. Термогравитометрия. Исследование водных технологических сред."<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 131-153, 175-185 |
| 4   | Физико-химические свойства водорода и методы его контроля.<br>Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки | 26 |  | 6 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 4.1 | Физико-химические свойства водорода и методы его контроля.<br>Исследование работы топливного элемента и электролизной        | 26 |  | 6 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | разделе "Физико-химические свойства водорода и методы его контроля. Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки" материалу.<br><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br>Изучение материала по разделу "Физико-химические свойства водорода и методы его                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|  |                  |        |  |    |    |    |   |   |   |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--|------------------|--------|--|----|----|----|---|---|---|------|------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ячейки           |        |  |    |    |    |   |   |   |      |      |      | контроля. Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки"<br>подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Физико-химические свойства водорода и методы его контроля. Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки"<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 20-42<br>[2], стр.6 |
|  | Зачет с оценкой  | 18.00  |  | -  | -  | -  | - | - | - | 0.30 | -    | 17.7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|  | Всего за семестр | 144.00 |  | 32 | 16 | 16 | - | - | - | 0.30 | 62   | 17.7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|  | Итого за семестр | 144.00 |  | 32 | 16 | 16 | - | - | - | 0.30 | 79.7 |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПР – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### 3.2 Краткое содержание разделов

#### 1. Равновесные и неравновесные электрохимические методы анализа.

##### Электрохимические методы исследования топливных элементов и электролизных ячеек

###### 1.1. Равновесные и неравновесные электрохимические методы анализа.

Электрохимические методы исследования топливных элементов и электролизных ячеек

Вводная лекция по специальности с обоснованием места изучаемой дисциплины в общем учебном плане подготовки бакалавров. Физико-химические методы. Объекты исследований и классификация методов. Электрохимическая система. Электродный потенциал. Электрохимические ячейки. Электроды: индикаторные и сравнения. Водородная шкала потенциалов. Хлорсеребряный, каломельный, окисно-ртутный электроды сравнения. Методическое обеспечение электрохимических измерений. Равновесные электрохимические методы исследования. Уравнение Нернста. Потенциометрия. рН-метрия. Стекланный электрод. Ионоселективные электроды. Метод градуировочного графика. Метод стандартных добавок. Изопотенциальная точка. Газочувствительные электроды. Ферментные электроды. Неравновесные электрохимические методы исследования. Вольтамперометрия. Шкала потенциалов восстановления ионов. Индикаторные электроды для определения ионов в катодной и анодной области потенциалов. Ртутный электрод. Полярография. Платиновый и стеклоуглеродный электроды. Методы разделения фарадеевского и емкостного токов. Инверсионная вольтамперометрия. Электрохимические методы исследования топливных элементов и электролизных ячеек. Основные положения термодинамики и кинетики электрохимических систем. Вольтамперная характеристика (ВАХ). Анализ работы топливного элемента по вольтамперной характеристике. Виды поляризации. Измерение потенциалов и омических потерь в мембрано-электродном блоке. Влияние парциального давления кислорода и «crossover» эффекта ВАХ топливного элемента. Определение режима максимальной мощности ТЭ. Тестовые станции ТЭ. Исследование составляющих напряжения электролизной ячейки. Определение тока обмена электрода по ВАХ. Определение контактного сопротивления на границе электрод-диафрагма (мембрана) электрохимического элемента. Определение активной поверхности катализаторов электрохимическими методами. Удельная поверхность. Фактор шероховатости. Методы исследования полимерных мембран..

#### 2. Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии.

2.1. Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии.

Закономерности процессов массообмена и кинетики на обтекаемых электродах. Дисковый вращающийся электрод (ВДЭ). Уравнение Левича. Использование ВДЭ для определения лимитирующей стадии и кинетических параметров электрохимической реакции. Дисковый вращающийся электрод с кольцом. Электрохимическая импедансная спектроскопия (ЭИС). Эквивалентная схема замещения электрохимической ячейки. Импеданс и годограф импеданса. Диффузионный импеданс Варбурга. Определение составляющих напряжения топливного элемента с использованием ЭИС. Основные характеристики пористых материалов и методы их определения. Экспрессные методы определения характеристик пористых электродов. Методы порометрии. Классификация методов порометрии и диапазоны их применимости. Метод ртутной порометрии. Метод эталонной контактной порометрии. Метод низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ). Изотерма БЭТ. Микроскопия. Классификация и диапазоны применимости. Оптическая микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Просвечивающая микроскопия. Сканирующая атомно-силовая и туннельная микроскопия..

### 3. Спектральные и хроматографические методы. Термогравитометрия. Исследование водных технологических сред.

3.1. Спектральные и хроматографические методы. Термогравитометрия. Исследование водных технологических сред.

Элементный анализ поверхности. Элементный анализ объемного состава жидкой и твердой фаз. Фазовый анализ. Спектрофотометрия. Атомно-абсорбционная спектрометрия. Люминесцентный метод анализа. Дифрактометрия. Хроматографические методы. Классификация видов хроматографии. Термогравитометрия. Термический гравиметрический анализ (ТГА) и дифференциальный термический анализ (ДТА).

### 4. Физико-химические свойства водорода и методы его контроля. Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки

4.1. Физико-химические свойства водорода и методы его контроля. Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки

Физико-химические свойства водорода. Свойства водорода на восстановителя и как топлива. Методы контроля концентрации водорода (диффузионные, термохимические, термокондуктометрические. Вольтамперная характеристика топливного элемента и электролизной ячейки. Определение составляющих напряжения. Тестовые ячейки и методы измерений. Тестовые станции. Потенциостаты..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Изучение физико-химических методов исследования на примере разбора и обсуждения научных статей из ведущих научных журналах по теме специальности. Студенты по согласованию с преподавателями выбирают научную статью, переводят ее с английского, делают презентацию, в которой разбирают используемые физико-химические методы исследования, предложенные авторами статьи. В качестве источника информации – необходимо использовать ведущие научные журналы на английском языке, выбранные на портале [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) International Journal of Hydrogen Energy, Journal of Power Sources, Electrochimica Acta Electrochemistry Communications

Для подготовки доклада выделяется время, запланированное на самостоятельную подготовку, а также время практических занятий для доклада и публичного обсуждения из расчета 1 час на одну студенческую презентацию (доклад и обсуждение)..

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Лабораторная работа №3 [2, стр. 25–36] (4 часа) Исследование физико-химических показателей водных технологических сред;
2. Лабораторная работа №2 [2, С.25-36] Исследование вольтамперной характеристики водород-воздушного топливного элемента;
3. Лабораторная работа №7 [4, С. 6–15] Определение активной поверхности электродов-катализаторов электрохимическими методами.

### **3.5 Консультации**

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Равновесные и неравновесные электрохимические методы анализа. Электрохимические методы исследования топливных элементов и электролизных ячеек"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии."
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Спектральные и хроматографические методы. Термогравитометрия. Исследование водных технологических сред."
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физико-химические свойства водорода и методы его контроля. Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)                                                                                                                                                   | Коды<br>индикаторов | Номер раздела<br>дисциплины (в<br>соответствии с<br>п.3.1) |   |   |   | Оценочное средство<br>(тип и наименование)                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|---|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                      |                     | 1                                                          | 2 | 3 | 4 |                                                                                                               |
| <b>Знать:</b>                                                                                                                                                                                                                        |                     |                                                            |   |   |   |                                                                                                               |
| основные закономерности классических и новых физико-химических методов исследований ( электрохимических, спектральных, термографических и хроматографических) применительно в технологиям водородной и электрохимической энергетики; | ИД-2ПК-4            | +                                                          |   |   |   | Тестирование/Термодинамика топливного элемента                                                                |
| методы характеристики катализаторов, электродов и других элементов электрохимических устройства преобразования энергии                                                                                                               | ИД-2ПК-4            |                                                            | + |   |   | Тестирование/Электроды сравнения, электродные потенциалы                                                      |
| возможности доступа и анализа информационных научных ресурсов (научные журналы, патенты, книги)                                                                                                                                      | ИД-3ПК-4            |                                                            |   |   | + | Реферат/Поиск источников по базам данных Интернет-ресурсов                                                    |
| <b>Уметь:</b>                                                                                                                                                                                                                        |                     |                                                            |   |   |   |                                                                                                               |
| анализировать и использовать на практике результаты исследований, давать рекомендации по улучшению параметров исследуемых устройств                                                                                                  | ИД-2ПК-4            |                                                            |   | + |   | Дискуссия/Защита лабораторной работы "Исследование физико-химических показателей водных технологических сред" |
| проводить исследования процессов и материалов в электрохимических устройствах преобразования энергии (топливные элементы, электролизеры, аккумуляторы)                                                                               | ИД-2ПК-4            |                                                            |   | + |   | Дискуссия/Защита лабораторной работы "Исследование физико-химических показателей водных технологических сред" |
| использовать информационные мировые ресурсы (научные журналы, патенты, книги) для выполнения исследований на современном уровне                                                                                                      | ИД-3ПК-4            |                                                            |   |   | + | Реферат/Поиск источников по базам данных Интернет-ресурсов                                                    |

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**7 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Поиск источников по базам данных Интернет-ресурсов (Реферат)

Форма реализации: Письменная работа

1. Термодинамика топливного элемента (Тестирование)
2. Электроды сравнения, электродные потенциалы (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы "Исследование физико-химических показателей водных технологических сред" (Дискуссия)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №7)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Нефедкин, С. И. Физико-химические методы исследований в технологиях водородной и электрохимической энергетики. Курс лекций : учебное пособие по курсу "Физико-химические методы исследований в технологиях водородной и электрохимической энергетики" по направлению "Теплоэнергетика" / С. И. Нефедкин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 216 с. - ISBN 978-5-383-00282-7 .;
2. Нефедкин, С. И. Физико-химические методы исследований. Лабораторные работы N 1-6: Лабораторный практикум : учебное пособие по курсу "Физико-химические методы исследований в технологиях водородной энергетики" по направлению "Теплоэнергетика" / С. И. Нефедкин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 78 с. - ISBN 978-5-383-00159-2 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=384>;
3. Нефедкин, С. И. Физико-химические методы получения и исследования дисперсных сред и наноматериалов : лабораторные работы № 1-6 : лабораторный практикум / С. И. Нефедкин, М. А. Климова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 96 с. - ISBN 978-5-7046-2134-8 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10863>;
4. Коровин Н. В., Кулешов Н. В., Гончарук О. Н., Камышова В. К., Ланская И. И., Мясникова Н. В., Осина М. А., Удрис Е. Я., Яштулов Н. А.- "Общая химия. Теория и задачи", (5-е изд.,

стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (492 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/158949>.

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

## **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
10. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
11. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
12. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

| <b>Тип помещения</b>                                                    | <b>Номер аудитории, наименование</b>                                                              | <b>Оснащение</b>                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | А-409, Учебная аудитория каф. "ХиЭЭ"                                                              | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран                                                                        |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | Б-301а, Научно-образовательная лаборатория "Водородная энергетика и электрохимические технологии" | рабочее место сотрудника, стул, стол письменный, оборудование для экспериментов, оборудование учебное, компьютер персональный, принтер, учебно-наглядное пособие |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий                   | А-324, Научно-образовательная лаборатория "Водородная энергетика и электрохимические технологии"  | стол, стул, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, тумба, компьютер персональный, кондиционер, наборы демонстрационного оборудования, стенд лабораторный  |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | А-409, Учебная аудитория каф. "ХиЭЭ"                                                              | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран                                                                        |

|                                      |                                         |                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Помещения для самостоятельной работы | А-413/3, Компьютерный класс каф. "ХиЭЭ" | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, ноутбук, компьютер персональный |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Физико-химические методы исследования

(название дисциплины)

## 7 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Термодинамика топливного элемента (Тестирование)

КМ-2 Электроды сравнения, электродные потенциалы (Тестирование)

КМ-3 Защита лабораторной работы "Исследование физико-химических показателей водных технологических сред" (Дискуссия)

КМ-4 Поиск источников по базам данных Интернет-ресурсов (Реферат)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины                                                                                                                             | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|------|------|------|
|               |                                                                                                                                               | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 15   |
| 1             | Равновесные и неравновесные электрохимические методы анализа. Электрохимические методы исследования топливных элементов и электролизных ячеек |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Равновесные и неравновесные электрохимические методы анализа. Электрохимические методы исследования топливных элементов и электролизных ячеек |            | +    |      |      |      |
| 2             | Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии.                               |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Электрохимические методы исследования. Методы исследования пористых и дисперсных элементов. Методы микроскопии.                               |            |      | +    |      |      |
| 3             | Спектральные и хроматографические методы. Термогравитометрия. Исследование водных технологических сред.                                       |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Спектральные и хроматографические методы. Термогравитометрия. Исследование водных технологических сред.                                       |            |      |      | +    |      |
| 4             | Физико-химические свойства водорода и методы его контроля. Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки                     |            |      |      |      |      |
| 4.1           | Физико-химические свойства водорода и методы его контроля. Исследование работы топливного элемента и электролизной ячейки                     |            |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |                                                                                                                                               |            | 25   | 25   | 25   | 25   |