

**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

**Оценочные материалы
по дисциплине
Теоретическая электрохимия**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скундин А.М.
	Идентификатор	R7bf1ad93-SkundinAM-18341b90

А.М.
Скундин

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

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-4 Способен к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их элементов

ИД-1 выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

ИД-2 анализирует научную проблематику области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

ИД-3 выполняет эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов, электрохимических энергоустановок, установок водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Принципы работы электрохимических устройств -1 (Контрольная работа)
2. Расчёты по законам Фарадея (Контрольная работа)
3. Расчёты по закону Оствальда, Кольрауша, первому приближению Дебая-Гюккеля (Контрольная работа)
4. Расчёты по уравнению Нернста, Гендерсона, Гиббса-Гельмгольца (Контрольная работа)

БРС дисциплины

5 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Расчёты по законам Фарадея (Контрольная работа)
- КМ-2 Расчёты по закону Оствальда, Кольрауша, первому приближению Дебая-Гюккеля (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчёты по уравнению Нернста, Гендерсона, Гиббса-Гельмгольца (Контрольная работа)
- КМ-4 Принципы работы электрохимических устройств -1 (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4

	Срок КМ:	4	8	12	16
Роль электрохимии в современном мире. Законы Фарадея					
Роль электрохимии в современном мире. Законы Фарадея	+				
Электролиты (Общие свойства электролитов. Теория электролитической диссоциации. Теория сильных электролитов. Электропроводность и числа переноса. Полимерные, неводные, расплавленные и твердые электролиты).					
Общие свойства электролитов. Теория электролитической диссоциации.		+			
Теория сильных электролитов		+			
Электропроводность и числа переноса		+			
Полимерные, неводные, расплавленные и твердые электролиты		+			
Электрохимическая термодинамика (Типы электродов и электродные реакции. Электродный потенциал. 1 начало термодинамики в электрохимии. Уравнение Нернста. Цепи с переносом. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Двойной электрический слой. Электрохимическая адсорбция).					
Типы электродов и электродные реакции. Электродный потенциал. 1 начало термодинамики в электрохимии. Уравнение Нернста. Цепи с переносом. Уравнение Гиббса-Гельмгольца			+		
Двойной электрический слой. Электрохимическая адсорбция			+		
Основы электрохимической кинетики. (Диффузионная кинетика. Теория замедленного разряда. Сложные электродные процессы. Электрохимическая природа коррозии					
Основы электрохимической кинетики					+
Теория замедленного разряда.					+
Сложные электродные процессы и электрохимическая природа коррозии					+
Вес КМ:	25	25	25	25	25

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-4	ИД-1 _{ПК-4} выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов	Знать: источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по электрохимии Уметь: собирать и анализировать исходные данные, проводить электрохимические расчеты с использованием логического, аналитического, графического и численного анализа экспериментальных и теоретических данных	КМ-1 Расчёты по законам Фарадея (Контрольная работа)
ПК-4	ИД-2 _{ПК-4} анализирует научную проблематику области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов	Знать: знать основы современных теорий классических направлений электрохимии, новые направления, достижения и тенденции развития в	КМ-4 Принципы работы электрохимических устройств -1 (Контрольная работа)

		области электрохимии Уметь: проводить системный анализ результатов определения термодинамических и кинетических характеристик электрохимических процессов	
ПК-4	ИД-ЗПК-4 выполняет эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов, электрохимических энергоустановок, установок водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями	Знать: особенности измерения электрохимических характеристик (потенциала, электропроводности, чисел переноса, импеданса) Уметь: проводить эксперименты по заданной методике и анализировать результаты с привлечением соответствующего математического аппарата	КМ-2 Расчёты по закону Оствальда, Кольрауша, первому приближению Дебая-Гюккеля (Контрольная работа) КМ-3 Расчёты по уравнению Нернста, Гендерсона, Гиббса-Гельмгольца (Контрольная работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Расчёты по законам Фарадея

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии.

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области Законов Фарадея

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по электрохимии	1. Электролизный цех по производству алюминия имеет производительность 25 т/сутки. Полагая, что все ванны в серии соединены параллельно, а среднее напряжение составляет 4 В, рассчитать токовую нагрузку и мощность электролизной установки.
Уметь: собирать и анализировать исходные данные, проводить электрохимические расчеты с использованием логического, аналитического, графического и численного анализа экспериментальных и теоретических данных	1. Электролизёр для производства алюминия работает с нагрузкой 100 кА и выходом по току 93%. Рассчитать среднемесячную производительность электролизёра (расчётное число дней в месяце 30).

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Расчёты по закону Оствальда, Кольрауша, первому приближению Дебая-Гюккеля

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии.

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области электролитов

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: проводить эксперименты по заданной методике и анализировать результаты с привлечением соответствующего математического аппарата	1. Константа диссоциации уксусной кислоты равна $1,754 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Вычислить степень диссоциации в сантимольярном растворе по точному уравнению (15) и приближенному уравнению (16) и определить pH такого раствора. 2. Константа диссоциации синильной кислоты равна $7,9 \cdot 10^{-10}$ моль/л. Вычислить степень диссоциации в растворе с концентрацией 10–5 моль/л и определить pH такого раствора.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Расчёты по уравнению Нернста, Гендерсона, Гиббса-Гельмгольца

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии.

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области потенциалов электродов

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: особенности измерения электрохимических характеристик (потенциала, электропроводности, чисел переноса, импеданса)	1.С использованием уравнения Гендерсона рассчитать диффузионный потенциал на границе растворов нитрата калия с концентрациями 0,02 и 0,2 моль/л. Число переноса катиона калия равно 0,50. 2.Разряд водно-активируемого элемента проходит по уравнению: $2 \text{AgCl} + \text{Mg} \rightarrow 2 \text{Ag} + \text{MgCl}_2$. Рассчитать стандартное значение э.д.с. такого элемента, принимая, что стандартные свободные энергии образования хлоридов серебра и магния равны, соответственно, $-109,7$ и $-592,3$ кДж/моль.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. Принципы работы электрохимических устройств -1

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии.

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области электрохимических устройств

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: основы современных теорий классических направлений	1.Рассчитать концентрационную поляризацию при катодном процессе с

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
электрохимии, новые направления, достижения и тенденции развития в области электрохимии	участием хлорида алюминия при температуре 25 оС, если ток составляет 60% от предельного.
Уметь: проводить системный анализ результатов определения термодинамических и кинетических характеристик электрохимических процессов	1.Плотность тока обмена реакции выделения/ионизации водорода на серебре составляет $5 \cdot 10^{-8}$ А/см ² . Рассчитать плотность тока катодного выделения водорода при перенапряжении 5 мВ.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Теория электролитической диссоциации. Степень диссоциации. Константа диссоциации. Закон разведения Оствальда.
2. Электродный потенциал. Измерение электродного потенциала. Электроды сравнения. Уравнение Нернста.

Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-4} выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

Вопросы, задания

1. Двойной электрический слой. Поверхностные избытки. Адсорбционное уравнение Гиббса. Электрокапиллярные кривые. Уравнение Липпмана.
2. Полярография.
3. Теория Дебая и Гюккеля. Ионная атмосфера. Ионная сила растворов. Активность и коэффициенты активности. Зависимость коэффициента активности от концентрации
4. Теория электролитической диссоциации. Степень диссоциации. Константа диссоциации. Закон разведения Оствальда.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Рассчитать, какое количество серебра можно осадить импульсом тока 1 мкА длительностью 1 мс. Расходом электричества на зарядку двойного слоя пренебречь.

Ответы:

Реакция осаждения серебра имеет вид: $\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$, атомная масса серебра 108 г/моль.

Верный ответ: По законам Фарадея количество осаждённого серебра составляет: $10^{-6} \text{ А} \cdot 10^{-3} \text{ с} \cdot 108 \text{ г/моль} : 96485 \text{ Кл/моль} = 1,1 \cdot 10^{-12} \text{ г} = 1,1 \text{ пг}$.

2. С использованием предельного закона Дебая-Гюккеля (первое приближение теории сильных электролитов) рассчитать коэффициент активности γ водного раствора KBr с концентрацией 0,005 М для температуры 25 °С

Ответы:

Ионная сила I раствора KBr с концентрацией 0,005 М равна $0,5[0,005 \cdot 12 + 0,005 \cdot (-1)^2] = 0,005$ моль/л. По уравнению (24')

$\lg \gamma = -z^2 h \bar{O}J$, где $h = 1,825 \cdot 106 / (\epsilon T)^{3/2} (\text{л/моль})^{1/2} K^{3/2}$

Относительная диэлектрическая проницаемость воды ϵ равна 78, абсолютная температура $T = 273 + 25 = 298 \text{ К}$, следовательно, $h = 0,507$

$$\ddot{O}J = \ddot{O}0,005 = 0,0707, \lg \gamma = -0,507 \cdot 0,0707 = -0,0358; \gamma = 0,92$$

Верный ответ: 0,92

2. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ПК-4} анализирует научную проблематику области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

Вопросы, задания

- 1.Неводные электролиты. Расплавленные и твердые электролиты. Правило Вальдена
- 2.Межфазные потенциалы на границах металл-вакуум, металл-металл, металл-электролит. Гальвани-потенциал и Вольта-потенциал. Закон Вольта
- 3.Числа переноса, методы их измерения
- 4.Особенности электрохимических реакций. Стадии электрохимических реакций. Основные законы электрохимической кинетики.
- 5.Электродный потенциал. Измерение электродного потенциала. Электроды сравнения. Уравнение Нернста
- 6.Теория электролитической диссоциации. Степень диссоциации. Константа диссоциации. Закон разведения Оствальда.

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.Константа диссоциации уксусной кислоты равна $1,754 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Вычислить степень диссоциации в сантимольном растворе по точному уравнению (15) и приближенному уравнению (16) и определить pH такого раствора.

Ответы:

- Решение уравнения (15) при $K = 1,754 \cdot 10^{-5}$ моль/л и $c = 0,01$ моль/л даёт $\alpha = 0,041$.
Решение уравнения (16) при тех же значениях K и c даёт $\alpha = 0,042$. Концентрация ионов водорода равна $0,041 \cdot 0,01 = 0,00041$ моль/л. $\lg 0,00041 = -3,387$. pH такого раствора 3,39.

Верный ответ: 3,39

3. Компетенция/Индикатор: ИД-3_{ПК-4} выполняет эксперименты по параметрам и характеристикам химических реакторов, топливных элементов, электрохимических энергоустановок, установок водородной энергетики и их элементов в соответствии с установленными полномочиями

Вопросы, задания

- 1.Сильные и слабые электролиты. Ион-дипольное и ион-ионное взаимодействие. Числа сольватации.
- 2.Сильные и слабые электролиты. Ион-дипольное и ион-ионное взаимодействие. Числа сольватации.
- 3.Нестационарная диффузия. Уравнения электрохимической кинетики при нестационарной диффузии.
- 4.Электростатическая и специфическая адсорбция. Изотермы адсорбции.
- 5.Диффузионная кинетика. Стационарные процессы. Вращающийся дисковый электрод
- 6.Виды электролитов. Особенности электролитов, их отличие от растворов, не имеющих ионной проводимости
- 7.Модели строения двойного слоя. Модель Гельмгольца. Модель Гуи-Чепмена. Модель Штерна-Грэма
- 8.Теория Дебая и Гюккеля. Электрофоретический эффект. Релаксационный эффект. Эффект Вина. Эффект Дебая-Фалькенгагена
- 9.Поляризационные кривые. Предельный ток

10. Гальваническая цепь и электрохимическая система Токообразующая реакция. Э.д.с. гальванической цепи. Температурная зависимость э.д.с.
11. Нестационарная диффузия. Уравнения электрохимической кинетики при нестационарной диффузии
12. Электропроводность электролитов. Удельная и эквивалентная электропроводность. Закон Кольрауша
13. Гальваническая цепь и электрохимическая система Токообразующая реакция. Э.д.с. гальванической цепи. Температурная зависимость э.д.с.
14. Второй закон термодинамики в электрохимии. Температурная зависимость э.д.с.
15. Электрохимический механизм коррозии. Смешанные потенциалы
16. Платиновый электрод. Кривые заряджения. Адсорбция водорода и кислорода
17. Теория замедленного разряда. Влияние двойного слоя на кинетику электродных процессов

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Определить выход по току при хромировании из бихроматно-сульфатного электролита, если при плотности тока 10 А/дм² за 6 мин. нарастает слой толщиной 1 мкм. Атомная масса хрома составляет 52 г/моль, плотность хрома принять равной 7,1 г/см³.

Ответы:

Хром в бихроматно-сульфатном электролите находится в шестивалентном состоянии, катодный процесс упрощенно описывается уравнением $\text{Cr(VI)} + 6e \rightarrow \text{Cr}$.

При 100%-ном выходе по току за 6 мин. (0,1 часа) осадился бы слой хрома толщиной $10 \text{ А/дм}^2 \cdot 0,1 \text{ ч} \cdot 52 \text{ г/моль} : 100 \text{ см}^2/\text{дм}^2 : 26,8 \text{ Ач/моль} : 6 : 7,1 \text{ г/см}^3 = 0,00046 \text{ см} = 4,6 \text{ мкм}$. Следовательно, выход хрома по току составляет $1 : 4,6 = 22\%$.

Верный ответ: 22%

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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