

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

**Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электротехнологические процессы и установки с системами питания и управления**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Теория нагрева электрической дугой**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Нехамин С.М.
	Идентификатор	Rd64b2150-NekhaminSM-a909e7a

(подпись)

С.М.

Нехамин

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Федин М.А.
	Идентификатор	R3e9797a9-FedinMA-34f385d8

(подпись)

М.А. Федин

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Цырук С.А.
	Идентификатор	Raf2c04da-TsyrukSA-47ef358f

(подпись)

С.А. Цырук

(расшифровка  
подписи)

## 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-1 Способен проводить научные исследования в области электротехнологических процессов и установок с системами питания и управления
  - ИД-1 Демонстрирует понимание физических процессов и закономерностей в электротехнологических установках и системах различных видов
  - ИД-3 Демонстрирует умение проводить анализ и моделирование систем электропитания и автоматического управления электро-технологических установок (комплексов)
  
2. ПК-2 Способен оптимально выбирать наиболее эффективные из известных и проектировать новые технические решения в области электротехнологических установок и систем
  - ИД-1 Демонстрирует умение выбирать критерии принятия проектных решений
  - ИД-2 Демонстрирует умение проводить оптимальный выбор проектных решений
  - ИД-3 Демонстрирует владение методами расчёта, проектирования и конструирования электротехнологических установок и систем и их элементов
  
3. ПК-3 Способен принимать участие в разработке проекта системы автоматического управления электротехнологической установкой (комплексом)
  - ИД-1 Демонстрирует умение разработать концепцию системы автоматического управления электро-технологической установкой (комплексом)
  - ИД-2 Демонстрирует понимание структуры мероприятий по защите авторских прав на решения, содержащиеся в разрабатываемом проекте

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет коэффициента теплоотдачи и мощности излучения дуги в ДППТ заданной ёмкости (Домашнее задание)
2. Расчет радиуса, мощности излучения и температуры дуги ДППТ заданной ёмкости в заданный период плавки (Домашнее задание)
3. Реферат. Газодинамическая модель дуги Меккера. Физическая структура и теплообменные свойства дуги в ЭТУ (Реферат)

Форма реализации: Проверка задания

1. Расчет кинетических характеристик плазмы столба дуги ДПиУСН (Домашнее задание)

## БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %
-------------------	---------------------------------

	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Особенности нагрева электрической дугой в электротехнологических установках					
Особенности нагрева электрической дугой в электротехнологических установках		+	+		+
Процессы формирования тепловых потоков электрической дугой					
Процессы формирования тепловых потоков электрической дугой		+			
Физико-математические основы проектирования печей и установок с нагревом электрической дугой (НЭД)					
Физико-математические основы проектирования печей и установок с нагревом электрической дугой (НЭД)		+			+
Теплообменная модель электрической дуги (ТОМЭД) дуговых печей постоянного тока					
Теплообменная модель электрической дуги (ТОМЭД) дуговых печей постоянного тока		+		+	
Вес КМ:		15	15	30	40

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## 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-1	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует понимание физических процессов и закономерностей в электро-технологических установках и системах различных видов	Знать: физические закономерности процессов переноса и преобразования энергии в плазме столба электрической дуги в ЭТУ закономерности и физические основы теплообменной модели электрической дуги (ТОМЭД) дуговых печей и установок с НЭД	Реферат. Газодинамическая модель дуги Меккера. Физическая структура и теплообменные свойства дуги в ЭТУ (Реферат)
ПК-1	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует умение проводить анализ и моделирование систем электропитания и автоматического управления электро-технологических установок (комплексов)	Уметь: определить цели и направления моделирования процессов НЭД в разработке, проектировании и наладке дуговых печей	Расчет кинетических характеристик плазмы столба дуги ДПиУСН (Домашнее задание) Расчет радиуса, мощности излучения и температуры дуги ДППТ заданной ёмкости в заданный период плавки (Домашнее задание)
ПК-2	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует умение выбирать критерии принятия проектных решений	Знать: математические методы ТОМЭД в расчетах и анализе характеристик плазмы столба дуги в	Реферат. Газодинамическая модель дуги Меккера. Физическая структура и теплообменные свойства дуги в ЭТУ (Реферат)

		проектировании и наладке дуговых печей	
ПК-2	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует умение проводить оптимальный выбор проектных решений	Уметь: использовать методы теплообменной модели электрической дуги (ТОМЭД) в расчете характеристик дуговых печей и установок с НЭД	Расчет коэффициента теплоотдачи и мощности излучения дуги в ДППТ заданной ёмкости (Домашнее задание)
ПК-2	ИД-3 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует владение методами расчёта, проектирования и конструирования электротехнологических установок и систем и их элементов	Знать: методы расчёта, проектирования и конструирования электротехнологических установок и систем	Реферат. Газодинамическая модель дуги Меккера. Физическая структура и теплообменные свойства дуги в ЭТУ (Реферат)
ПК-3	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Демонстрирует умение разработать концепцию системы автоматического управления электро-технологической установкой (комплексом)	Уметь: сформировать математическое обеспечение решения задачи моделирования электрического режима и характеристик дуговых печей и установок с НЭД	Расчет радиуса, мощности излучения и температуры дуги ДППТ заданной ёмкости в заданный период плавки (Домашнее задание)
ПК-3	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Демонстрирует понимание структуры мероприятий по защите авторских прав на решения, содержащиеся в разрабатываемом проекте	Знать: задачи и основные направления развития современных дуговых печей и установок с НЭД современные проблемы проектирования дуговых печей	Реферат. Газодинамическая модель дуги Меккера. Физическая структура и теплообменные свойства дуги в ЭТУ (Реферат)

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Реферат. Газодинамическая модель дуги Меккера. Физическая структура и теплообменные свойства дуги в ЭТУ

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Реферат

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обмен файлами

#### Краткое содержание задания:

Самостоятельно написать и оформить реферат по тематике лекций - газодинамическая модель дуги Меккера, физическая структура и теплообменные свойства дуги в ЭТУ. Объем реферата 4-5 стр машинописного текста с обязательным указанием списка используемой литературы.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: закономерности и физические основы теплообменной модели электрической дуги (ТОМЭД) дуговых печей и установок с НЭД	1. Дать анализ влияния процессов в катодном пятне на структурные характеристики дуги
Знать: физические закономерности процессов переноса и преобразования энергии в плазме столба электрической дуги в ЭТУ	1. Пояснить метод расчета показателя интенсивности теплообмена дуги
Знать: математические методы ТОМЭД в расчетах и анализе характеристик плазмы столба дуги в проектировании и наладке дуговых печей	1. Пояснить физический смысл формулы скорости движения плазмы в модели дуги Меккера и структурных характеристик дуги в ЭТУ
Знать: методы расчёта, проектирования и конструирования электротехнологических установок и систем	1. Рассчитайте и поясните расчёт линейной плотности теплового потока излучения дуги
Знать: задачи и основные направления развития современных дуговых печей и установок с НЭД	1. Провести анализ граничных условий и структуры дуги в ЭТУ на основе структурной модели Меккера
Знать: современные проблемы проектирования дуговых печей	1. Пояснить физический смысл уточненной структурной модели дуги Меккера

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

*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

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

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

## **КМ-2. Расчет кинетических характеристик плазмы столба дуги ДПиУСН**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проведение расчета. Обмен электронными документами.

### **Краткое содержание задания:**

Выполнить расчет кинетических характеристик плазмы заданного химического состава:

- 1) Степени ионизации;
- 2) Концентрации электронов, ионов и атомов;
- 3) Частоты столкновения электронов с атомами и ионами;
- 4) Средней длины свободного пробега электронов;
- 5) Удельной электропроводности плазмы;
- 6) Степени термического неравновесия плазмы.

### **Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: определить цели и направления моделирования процессов НЭД в разработке, проектировании и наладке дуговых печей	1.Поясните метод расчета параметров термической плазмы в ЭТУ 2.Поясните влияние химического состава на параметры плазмы
---	--

### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*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

*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

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

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



### КМ-3. Расчет коэффициента теплоотдачи и мощности излучения дуги в ДППТ заданной ёмкости

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проведение расчета. Обмен файлами.

#### Краткое содержание задания:

Рассчитать коэффициента теплоотдачи и мощность излучения дуги ДППТ заданной ёмкости при плавке стали в периоде начала проплавления «колодца» в шихте после завалки

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: использовать методы теплообменной модели электрической дуги (ТОМЭД) в расчете характеристик дуговых печей и установок с НЭД	1. Рассчитайте и поясните расчёт коэффициента теплоотдачи дуги в отдалении от электрода с учетом граничной температуры на поверхности столба 2. Рассчитайте и поясните расчёт линейной плотности теплового потока излучения дуги 3. Рассчитайте и поясните расчёт рекомендуемого для заданной емкости печи рабочий тока дуги
--	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

### КМ-4. Расчет радиуса, мощности излучения и температуры дуги ДППТ заданной ёмкости в заданный период плавки

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проведение расчёта. Обмен файлами.

#### Краткое содержание задания:

Рассчитать радиус, мощность излучения и температуру дуги ДППТ вблизи привязки анодного пятна при плавке стали в периоде конца проплавления колодца

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: определить цели и направления моделирования	1. Рассчитайте и поясните расчёт средней температуры в сечении столба дуги вблизи анодного
--	--

процессов НЭД в разработке, проектировании и наладке дуговых печей	пятна
Уметь: сформировать математическое обеспечение решения задачи моделирования электрического режима и характеристик дуговых печей и установок с НЭД	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рассчитайте и поясните расчёт радиуса столба дуги вблизи привязки анодного пятна</li> <li>2. Рассчитайте и поясните расчёт линейной плотности теплового потока излучения дуги</li> <li>3. Рассчитайте и поясните расчёт теплового потока излучения плазмы дуги</li> <li>4. Рассчитайте и поясните расчёт средних значений электропроводности плазмы в сечении столба дуги вблизи анодного пятна</li> </ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 1 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. 1. Пояснить условие прозрачности плазмы для собственного излучения столба дуги в ЭТУ. Пояснить цель преобразования уравнение энергии дуги с учетом условия суперпозиции электрического поля
2. 2. Пояснить принцип расчета универсальных характеристик дуги

### Процедура проведения

Экзамен проводится в письменной форме. После проверки у студента есть возможность пояснить предоставленные им ответы.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует понимание физических процессов и закономерностей в электро-технологических установках и системах различных видов

#### Вопросы, задания

1. Дать анализ связи электрических характеристик дуги с помощью универсальных характеристик дуги
2. Пояснить физический смысл структурной характеристики неравновесия плазмы
3. Объяснить суть проблемы верификации структурных характеристик дуги для графитированных электродов дуговых печей

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. На какие части делится столб дуги по модели Меккера?

Ответы:

Развернутый ответ с возможными пояснениями

Верный ответ: Деление по модели Меккера столба дуги на конусную и цилиндрическую части является базовым положением современной теории нагрева электрической дугой в дуговых печах, позволяющим связать электрические характеристики дуги с тепловыми характеристиками процесса нагрева

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует умение проводить анализ и моделирование систем электропитания и автоматического управления электро-технологических установок (комплексов)

#### Вопросы, задания

1. Пояснить представление функции средней по длине дуги напряженности электрического поля с учетом структурных характеристик дуги
2. Пояснить причину искажения формы тока дуги и понятие ДВАХ ДСП

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Пояснить метод расчета показателя реактивности ДСП высокой мощности для произвольного периода плавки

Ответы:

Развернутый ответ с возможными пояснениями

Верный ответ: Привести метод расчета, пояснить влияние составляющих.

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-2 Демонстрирует умение выбирать критерии принятия проектных решений

**Вопросы, задания**

1.Пояснить метод формирования структурной характеристики геометрической неоднородности ТОМЭД ДППТ для номинального тока электрода

**Материалы для проверки остаточных знаний**

1.Формулу напряжения дуги

Ответы:

Развернутый ответ с возможными пояснениями

Верный ответ: Вывести формулу, объяснить влияние составляющих на напряжение дуги

**4. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Демонстрирует умение проводить оптимальный выбор проектных решений

**Вопросы, задания**

1.Пояснить алгоритм решения задачи №1 (электротермической) для цилиндрической модели дуги

**Материалы для проверки остаточных знаний**

1.Пояснить структуру эквивалентной схемы ДСП

Ответы:

Развернутый ответ с возможными пояснениями

Верный ответ: Показать структуру эквивалентной схемы ДСП, пояснить составляющие и варианты

**5. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-2 Демонстрирует владение методами расчёта, проектирования и конструирования электротехнологических установок и систем и их элементов

**Вопросы, задания**

1.Дать вывод формулы связи структурных характеристик дуги

**Материалы для проверки остаточных знаний**

1.Пояснить алгоритм решения электротермической задачи для цилиндрической модели дуги.

Ответы:

Развернутый ответ с возможными пояснениями

Верный ответ: Объяснить ход решения задачи.

**6. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-3 Демонстрирует умение разработать концепцию системы автоматического управления электро-технологической установкой (комплексом)

**Вопросы, задания**

1.Пояснить метод верификации функций напряженности электрического поля цилиндрической модели дуги на основе экспериментальных ВАХ ДППТ-85

**Материалы для проверки остаточных знаний**

1.Расчет универсальных характеристик дуги.

Ответы:

Развернутый ответ с возможными пояснениями

Верный ответ: Пояснить принцип расчета универсальных характеристик дуги.

**7. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-3 Демонстрирует понимание структуры мероприятий по защите авторских прав на решения, содержащиеся в разрабатываемом проекте

### **Вопросы, задания**

1. Провести анализ граничных условий и структуры дуги в ЭТУ на основе структурной модели Меккера

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Какие мероприятия по защите авторских прав вы знаете?

Ответы:

Развернутый ответ с возможными пояснениями

Верный ответ: Перечислите и раскройте содержание мероприятий.

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*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

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка на экзамене проставляется с учетом составляющей БАРС.