

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электрические и электронные аппараты**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Термические явления в электрических аппаратах**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дергачев П.А.
	Идентификатор	Rpc655738-DergachevPavA-c35942

(подпись)

П.А.

Дергачев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курбатов П.А.
	Идентификатор	R1a0c0ffa-KurbatovPA-23b01cca

(подпись)

П.А.

Курбатов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киселев М.Г.
	Идентификатор	R572ca413-KiselevMG-f37ee096

(подпись)

М.Г.

Киселев

(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-5 Способен использовать методы математического анализа и компьютерного моделирования для изучения принципов функционирования и исследования характеристик и особенностей работы электрических и электронных аппаратов различного функционального назначения

ИД-2 Демонстрирует знание тепловых и электромагнитных процессов, создает и анализирует упрощенные модели объектов профессиональной деятельности

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1: Моделирование стационарных тепловых процессов (Контрольная работа)

2. Контрольная работа №2: Моделирование нестационарных тепловых процессов (Контрольная работа)

3. Тест "Основы термических явлений" (Тестирование)

## БРС дисциплины

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	14
Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности					
Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности	+				
Основы полевого моделирования теплофизических процессов, свойства элементов электрических аппаратов и их гомогенизация					
Основные источники теплоты в электрических аппаратах	+		+		
Описание электро- и теплофизических свойств элементов электрических аппаратов. Гомогенизация электрофизических свойств обмоток и шихтованных сердечников.			+		

Совместное моделирование электромагнитных и тепловых задач.			+	
Построение и анализ полевых стационарных тепловых моделей				
Моделирование стационарных тепловых полей		+		+
Общие вопросы электрических контактов.		+		+
Математические модели электрических контактов.		+		+
Тепло- и массоперенос в электрических контактах.		+		+
Построение и анализ полевых нестационарных тепловых моделей с прямым расчетом конвективного теплообмена				
Построение и анализ полевых нестационарных тепловых моделей с прямым расчетом конвективного теплообмена		+	+	+
Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами				
Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами		+	+	+
Вес КМ:	10	25	25	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-5	ИД-2ПК-5 Демонстрирует знание тепловых и электромагнитных процессов, создает и анализирует упрощенные модели объектов профессиональной деятельности	Знать: основы тепловых и электромагнитных процессов принципы построения узлов электрических аппаратов с учетом термических режимов и ограничений Уметь: моделировать тепловые процессы с учетом конвективного теплообмена, контактных явлений и электромагнитных источников тепла проводить анализ термической стойкости элементов электрических аппаратов	Тест "Основы термических явлений" (Тестирование) Контрольная работа №1: Моделирование стационарных тепловых процессов (Контрольная работа) Контрольная работа №2: Моделирование нестационарных тепловых процессов (Контрольная работа) Защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

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

### КМ-1. Тест "Основы термических явлений"

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается тест, необходимо выбрать правильные варианты ответов.

#### Краткое содержание задания:

Выбрать правильные варианты ответов

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основы тепловых и электромагнитных процессов	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Какой метод решения тепловых задач используется в COMSOL Multiphysics?</li><li>2.Выберите все способы распространения тепла</li><li>3.Выберите правильные единицы измерения для коэффициента теплопроводности в системе СИ</li><li>4.Выберите правильную формулу закона Джоуля-Ленца</li><li>5.За счет какой силы образуется свободная конвекция?</li><li>6.У какого материала выше теплопроводность?</li><li>7.У какого материала выше теплоёмкость?</li><li>8.Какой параметр влияет на теплоотдачу за счет излучения?</li><li>9.Что в большей степени влияет на распределение тока в медной шине при протекании переменного тока?</li><li>10.Какие параметры материалов необходимо задавать для решения стационарных тепловых задач</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*

## КМ-2. Контрольная работа №1: Моделирование стационарных тепловых процессов

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа на компьютерах с использованием COMSOL Multiphysics

### Краткое содержание задания:

Построить стационарную модель теплового состояния контактной пары при протекании постоянного тока, с учетом контактного сопротивления в электрической и тепловой подсистемах. (задание по вариантам)

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: принципы построения узлов электрических аппаратов с учетом термических режимов и ограничений	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Что такое стационарная модель?</li><li>2. Как связаны контактные сопротивления в тепловой и электрической подсистемах?</li><li>3. Как задается конвективный теплообмен без расчета гидродинамики?</li><li>4. Какие параметры необходимо задать в модели контактного сопротивления?</li><li>5. Какие необходимы свойства материалов для стационарной тепловой задачи?</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

## КМ-3. Контрольная работа №2: Моделирование нестационарных тепловых процессов

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа на компьютерах с использованием COMSOL Multiphysics

### Краткое содержание задания:

Построить нестационарную модель теплового состояния шины при протекании переменного тока, с моделированием конвективного теплообмена. (задание по вариантам)

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: моделировать тепловые процессы с учетом конвективного теплообмена, контактных явлений и электромагнитных источников тепла</p>	<p>1. 1. Построить нестационарную модель контактной системы.  2. Построить расчетную конечноэлементную сетку, проанализировать адекватность сетки. 3. Провести нестационарный расчет и получить картину теплового поля контактной системы, проанализировать результат. 4. Подобрать предельный ток, при котором температура элементов не превышает заданной.</p>
---	--

**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. Защита лабораторных работ**

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Лабораторные работы на стендах и построение моделей по лабораторным работам на компьютерах с использованием COMSOL Multiphysics

**Краткое содержание задания:**

Выполнить лабораторные работы, построить цифровые модели опытов из лабораторных работ, защитить лабораторные работы

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: проводить анализ термической стойкости элементов электрических аппаратов</p>	<p>1. Исследование нагрева катушек электрических аппаратов 1. Измерить температуру различных точек многовитковой катушки при протекании тока. 2. Продемонстрировать на примере и объяснить расположение самой нагретой области катушки электрического аппарата. 3. Продемонстрировать на примере принцип</p>
--	--



	<p>гомогенизации коэффициента теплопроводности многовитковой катушки.</p> <p>Исследование сопротивления контактов. Исследование влияния контактов на нагрев контактирующих проводников</p> <p>4. Провести измерение контактных сопротивлений различных пар при различном контактном нажатии. 5. Построить модель контактных сопротивлений различных пар при различном контактном нажатии.</p> <p>Нагрев цилиндров в разных средах</p> <p>6. Смоделировать нагрев цилиндров в различных положениях. 7. Смоделировать контактную систему.</p> <p>Исследование источников теплоты в электрических аппаратах</p> <p>8. Смоделировать нагрев шины за счет протекания тока с учетом свободной конвекции. 9. Смоделировать нагрев шины за счет протекания тока и дополнительных нагревателей с учетом свободной конвекции. 10. Определить постоянные времени нагрева и охлаждения из экспериментальных данных.</p>
--	---

**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

## 6 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Процедура проведения

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-5 Демонстрирует знание тепловых и электромагнитных процессов, создает и анализирует упрощенные модели объектов профессиональной деятельности

### Вопросы, задания

1. Виды тепло- и массопереноса в электрических аппаратах.
2. Понятие допустимой температуры и температуры окружающей среды.
3. Описание электро- и теплофизических свойств элементов электрическим аппаратам.
4. Совместное моделирование электромагнитных и тепловых задач.
5. Понятие о контактном сопротивлении и переходном сопротивлении стягивания контактов.
6. Математические модели электрических контактов.
7. Понятие о нестационарных процессах нагрева и остывания электрических аппаратов.
8. Адиабатный процесс нагрева.
9. Исследование нагрева катушек электрических аппаратов, исследование источников теплоты в электрических аппаратах, исследование контактных явлений.
10. Способы определения постоянной времени нагрева и установившегося превышения температуры электрического аппарата и его частей.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что в электромеханических аппаратах приводит к нагреву элементов

Ответы:

- a. Индуцированные токи
- b. Магнитный гистерезис
- c. Переходное сопротивление
- d. Протекание тока
- e. Магнитное сопротивление
- f. Тепловое сопротивление

Верный ответ: a. Индуцированные токи b. Магнитный гистерезис c.

Переходное сопротивление d. Протекание тока

2. Выберите все способы распространения тепла в твердых телах

Ответы:

- a. Теплопроводность
- b. Конвекция
- c. Излучение
- d. Кипение
- e. Замерзание
- f. Испарение

Верный ответ: a. Теплопроводность

3. Что эффективнее для охлаждения в условиях вакуума

Ответы:

- a. Излучение
  - b. Свободная конвекция
  - c. Вынужденная конвекция
- Верный ответ: a. Излучение

4. Какого сечения бывают проводники тока?

Ответы:

- a. Круглого
  - b. Квадратного
  - c. Прямоугольного
  - d. Трубочатого
- Верный ответ: a. Круглого c. Прямоугольного d. Трубочатого

5. Возможно ли образование свободной конвекции в несжимаемой жидкости?

Ответы:

- a. Да
- b. Нет
- c. Возможно, при определенных условиях

Свободная конвекция может образовываться только в газах

Верный ответ: b. Нет

6. От чего зависит глубина проникновения электромагнитного поля?

Ответы:

- a. Электропроводности
- b. Магнитной проницаемости
- c. Частоты
- d. Магнитной индукции

Напряженности электрического поля

Верный ответ: a. Электропроводности b. Магнитной проницаемости c. Частоты

7. Как связаны градусы Цельсия и Кельвина?

Ответы:

- a.  $[K] = [^{\circ}C] + 273,15$
- b.  $[K] = [^{\circ}C]$
- c.  $[K] = [^{\circ}C] - 273,15$
- d.  $[K] = [^{\circ}C] + 270$

Верный ответ: a.  $[K] = [^{\circ}C] + 273,15$

8. Что происходит с веществом при нагревании?

Ответы:

- a. Уменьшается плотность
- b. Увеличивается плотность
- c. Уменьшается масса

Увеличивается масса

Верный ответ: b. Увеличивается плотность

9. За счет чего может нагреться объект находящийся на расстоянии 1 см от шины с постоянным током?

Ответы:

- a. Теплопроводности
- b. Конвекции
- c. Излучения
- d. Индуцированных токов

Верный ответ: a. Теплопроводности

10. Какие параметры материалов необходимо задавать для решения нестационарных тепловых задач

Ответы:

- a. Коэффициент теплопроводности
- b. Теплоемкость
- c. Плотность
- d. Коэффициент черноты
- e. Частоту переменного тока
- f. Магнитную проницаемость
- g. Удельное электрическое сопротивление

Верный ответ: a. Коэффициент теплопроводности b. Теплоемкость c. Плотность d. Коэффициент черноты

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

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

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».