

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: Электромеханика, электрические и электронные аппараты

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ И
АППАРАТАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08.06
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	7 семестр - 32 часа;
Практические занятия	7 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	7 семестр - 16 часов;
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	7 семестр - 79,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	7 семестр - 0,3 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дергачев П.А.
	Идентификатор	Rrc655738-DergachevPavA-c35942

П.А. Дергачев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузнецова Е.А.
	Идентификатор	Re7bf1ad9-KuznetsovaYA-c9331b9

Е.А. Кузнецова

Заведующий выпускающей
кафедрой

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

М.Г. Киселев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение физических основ тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивных и технологических особенностей, методов полевого моделирования, расчёта и проектирования, теплофизических свойств элементов, основ применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов

Задачи дисциплины

- изучение методов расчета тепловых полей;
- овладение основами расчета установившихся режимов нагрева элементов электрических аппаратов;
- овладение основами расчета переходных режимов нагрева элементов электрических аппаратов с учетом конвективного теплообмена;
- ознакомление с принципами построения элементов электрических аппаратов для обеспечения оптимальных тепловых режимов.

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-3 Способен использовать методы математического анализа и компьютерного моделирования для изучения принципов функционирования и исследования характеристик и особенностей работы электрических машин и аппаратов	ИД-ЗПК-3 Демонстрирует знание тепловых и электромагнитных процессов в электротехнических устройствах, создает и анализирует упрощенные модели объектов профессиональной деятельности	знать: - принципы построения узлов электрических аппаратов с учетом термических режимов и ограничений; - основы тепловых и электромагнитных процессов. уметь: - проводить анализ термической стойкости элементов электрических аппаратов; - моделировать тепловые процессы с учетом конвективного теплообмена, контактных явлений и электромагнитных источников тепла.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электромеханика, электрические и электронные аппараты (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности	10	7	2	2	-	-	-	-	-	-	6	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 238-257 [2], 94-96 [3], 238-246</p>
1.1	Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности	10		2	2	-	-	-	-	-	-	-	6	

2	Основы полевого моделирования теплофизических процессов, свойства элементов электрических аппаратов и их гомогенизация	37	9	-	4	-	-	-	-	-	24	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы полевого моделирования теплофизических процессов, свойства элементов электрических аппаратов и их гомогенизация" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u>
2.1	Основные источники теплоты в электрических аппаратах	12	3	-	1	-	-	-	-	-	8	-	Изучение материала по разделу "Основы полевого моделирования теплофизических процессов, свойства элементов электрических аппаратов и их гомогенизация" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
2.2	Описание электро- и теплофизических свойств элементов электрическим аппаратах. Гомогенизация электрофизических свойств обмоток и шихтованных сердечников.	12	3	-	1	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Основы полевого моделирования теплофизических процессов, свойства элементов электрических аппаратов и их гомогенизация и подготовка к контрольной работе <u>Подготовка к текущему контролю:</u>
2.3	Совместное моделирование электромагнитных и тепловых задач.	13	3	-	2	-	-	-	-	-	8	-	Повторение материала по разделу "Основы полевого моделирования теплофизических процессов, свойства элементов электрических аппаратов и их гомогенизация" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 257-261 [2], 94-96
3	Построение и анализ полевых стационарных тепловых моделей	35	8	4	4	-	-	-	-	-	19	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Построение и анализ полевых стационарных тепловых моделей"
3.1	Моделирование стационарных тепловых полей	9	2	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Построение и анализ полевых стационарных тепловых моделей" подготовка к выполнению заданий
3.2	Общие вопросы электрических	9	2	2	-	-	-	-	-	-	5	-	

													источников: [1], 302-311 [2], 99-102
5	Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами	33.7	6	8	4	-	-	-	-	-	15.7	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами" <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами
5.1	Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами	33.7	6	8	4	-	-	-	-	-	15.7	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 311-320, 528-560 [2], 102-110, 112-132
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	144.0	32	16	16	-	-	-	-	0.3	79.7	-	
	Итого за семестр	144.0	32	16	16	-	-	-	-	0.3	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. Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности

1.1. Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности

Виды тепло- и массопереноса в электрических аппаратах. Теплопроводность, конвекция, излучение. Закон Фурье для теплопроводности. Закон Стефана-Больцмана для теплового излучения. Формула Ньютона для конвективной теплоотдачи. Задачи и стадии тепловых расчетов. Температурное поле в электрических аппаратах. Понятие допустимой температуры и температуры окружающей среды. Особенности уменьшения мощности источников тепла и максимальных температур в электрических аппаратах..

2. Основы полевого моделирования теплофизических процессов, свойства элементов электрических аппаратов и их гомогенизация

2.1. Основные источники теплоты в электрических аппаратах

Джоулево тепло; источники теплоты, обусловленные поверхностным эффектом и эффектом близости; источники теплоты в ферромагнитных нетоковедущих частях электрических аппаратов, находящихся вблизи проводников с переменными токами; источники теплоты в диэлектриках, находящихся в переменном электрическом поле; электрическая дуга как источник теплоты; источники теплоты, обусловленные механическими потерями в узлах и деталях электрических аппаратов..

2.2. Описание электро- и теплофизических свойств элементов электрическим аппаратах. Гомогенизация электрофизических свойств обмоток и шихтованных сердечников.

Описание электро- и теплофизических свойств элементов электрическим аппаратах. Гомогенизация электрофизических свойств обмоток и шихтованных сердечников..

2.3. Совместное моделирование электромагнитных и тепловых задач.

Совместное моделирование электромагнитных и тепловых задач..

3. Построение и анализ полевых стационарных тепловых моделей

3.1. Моделирование стационарных тепловых полей

Моделирование стационарных тепловых полей с учетом контактных явлений..

3.2. Общие вопросы электрических контактов.

Классификация электрических контактов по виду соединения, по геометрии контактирующих поверхностей, по конструктивным признакам и по выполняемым функциям. Понятие о контактной поверхности. Понятие о контактном сопротивлении и переходном сопротивлении стягивания контактов..

3.3. Математические модели электрических контактов.

Теоретические и эмпирические зависимости для определения переходного сопротивления электрических контактов. Зависимость переходного сопротивления от усилия контактного нажатия. Явления фриттинга контактных пленок..

3.4. Тепло- и массоперенос в электрических контактах.

Тепловые режимы электрических контактов. Определение максимальной температуры на контактной площадке. Зависимость переходного сопротивления контактов от падения напряжения на них. 2 Влияние контактов на нагрев контактирующих проводников. Взаимное влияние соседних контактных соединений друг на друга. Расчет шинных контактных соединений..

4. Построение и анализ полевых нестационарных тепловых моделей с прямым расчетом конвективного теплообмена

4.1. Построение и анализ полевых нестационарных тепловых моделей с прямым расчетом конвективного теплообмена

Режимы работы электрических аппаратов. Понятие о нестационарных процессах нагрева и остывания электрических аппаратов. Вывод уравнений нагрева и остывания частей электрических аппаратов. Способы определения постоянной времени нагрева и установившегося превышения температуры электрического аппарата и его частей. Адиабатный процесс нагрева. Повторно-кратковременный и кратковременный процессы нагрева. Понятие о коэффициентах перегрузки. Расчет токоведущих частей электрических аппаратов в режиме короткого замыкания. Допустимые температуры электрических аппаратов в режиме короткого замыкания. Понятие фиктивного времени короткого замыкания. Термическая стойкость электрических аппаратов. Понятие о стандартных токах термической стойкости. Построение полевых моделей нестационарных тепловых процессов..

5. Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами

5.1. Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами

Исследование нагрева катушек электрических аппаратов, исследование источников теплоты в электрических аппаратах, исследование контактных явлений. Основы построения эквивалентных моделей с сосредоточенными параметрами..

3.3. Темы практических занятий

1. Моделирование тепловых полей с учетом контактных явлений;
2. Моделирование нестационарных тепловых полей с учетом конвективного теплообмена;
3. Моделирование стационарных тепловых полей;
4. Моделирование электромагнитных источников тепла;
5. Введение в моделирование с использованием COMSOL Multiphysics.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Исследование сопротивления контактов. Исследование влияния контактов на нагрев контактирующих проводников;
2. Исследование источников теплоты в электрических аппаратах;
3. Нагрев цилиндров в разных средах;
4. Исследование нагрева катушек электрических аппаратов.

3.5 Консультации

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 (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
Знать:							
основы тепловых и электромагнитных процессов	ИД-3ПК-3	+	+				Тестирование/Тест "Основы термических явлений"
принципы построения узлов электрических аппаратов с учетом термических режимов и ограничений	ИД-3ПК-3			+	+	+	Контрольная работа/Контрольная работа №1: Моделирование стационарных тепловых процессов
Уметь:							
моделировать тепловые процессы с учетом конвективного теплообмена, контактных явлений и электромагнитных источников тепла	ИД-3ПК-3		+		+	+	Контрольная работа/Контрольная работа №2: Моделирование нестационарных тепловых процессов
проводить анализ термической стойкости элементов электрических аппаратов	ИД-3ПК-3			+	+	+	Лабораторная работа/Защита лабораторных работ

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: 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)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №7)

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. Основы теории электрических аппаратов : учебник для вузов по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / ред. П. А. Курбатов . – 5-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2015 . – 592 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-1800-8 .;
2. Электрические аппараты : учебник и практикум для академического бакалавриата, для вузов по инженерно-техническим направлениям и специальностям / отв. ред. П. А. Курбатов . – М. : Юрайт, 2017 . – 250 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-9916-9715-6 .;
3. Акимов Е. Г., Белкин Г. С., Годжелло А. Г., Дегтярь В. Г.- "Основы теории электрических аппаратов", (5-е изд., перераб. и доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (592 с.) <https://e.lanbook.com/book/168796>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

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

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
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-205, Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стол, стул, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-205, Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стол, стул, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-205, Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стол, стул, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-213, Зал заседаний	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-204, ЦЕНТР «К-ЭЛЕКТРО»	рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-2б, Архив	стол, стул, документы

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Тепловые процессы в электрических машинах и аппаратах

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест "Основы термических явлений" (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа №1: Моделирование стационарных тепловых процессов (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа №2: Моделирование нестационарных тепловых процессов (Контрольная работа)
- КМ-4 Защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

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	9
1	Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности					
1.1	Введение в дисциплину. Физические основы тепловых процессов в электрических аппаратах, конструктивные и технологические особенности		+			
2	Основы полевого моделирования теплофизических процессов, свойства элементов электрических аппаратов и их гомогенизация					
2.1	Основные источники теплоты в электрических аппаратах		+		+	
2.2	Описание электро- и теплофизических свойств элементов электрических аппаратов. Гомогенизация электрофизических свойств обмоток и шихтованных сердечников.				+	
2.3	Совместное моделирование электромагнитных и тепловых задач.				+	
3	Построение и анализ полевых стационарных тепловых моделей					
3.1	Моделирование стационарных тепловых полей			+		+
3.2	Общие вопросы электрических контактов.			+		+
3.3	Математические модели электрических контактов.			+		+
3.4	Тепло- и массоперенос в электрических контактах.			+		+
4	Построение и анализ полевых нестационарных тепловых моделей с прямым расчетом конвективного теплообмена					

4.1	Построение и анализ полевых нестационарных тепловых моделей с прямым расчетом конвективного теплообмена		+	+	+
5	Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами				
5.1	Основы применения, эксплуатации и испытания тепловых систем электрических аппаратов и основы построения эквивалентных тепловых моделей с сосредоточенными параметрами		+	+	+
Вес КМ, %:		10	25	25	40