

**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: Электрические аппараты управления и распределения энергии

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.05
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курбатова Е.П.
	Идентификатор	R51c6ebe0-KurbatovaYP-a15ccd67

Е.П. Курбатова

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузнецова Е.А.
	Идентификатор	fe7bf1ad9-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:** Получение знаний в области методов и средств анализа, приобретение навыков расчета и проектирования магнитных систем электротехнических устройств для последующего использования в научных исследованиях и проектно-конструкторской деятельности.

### Задачи дисциплины

- приобретение навыков расчета и проектирования типовых конструкций магнитных систем электротехнических устройств, применяемых для электромеханического преобразования энергии в электрических аппаратах, удерживающих устройствах, исполнительных механизмах средств автоматизации, создания источников магнитного поля и накопителей энергии, для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий;

- освоение методов расчета и анализа параметров магнитных систем различного назначения с применением компьютерных программных средств моделирования электромагнитных полей и магнитных цепей;

- создание личной компьютерной библиотеки специалиста – банка типовых задач, возникающих при проектировании магнитных систем электротехнических устройств.

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-2 Способен по результатам исследований выбирать и проектировать новые эффективные технические решения в области профессиональной деятельности	ИД-3ПК-2 Владеет методами проектирования электротехнических объектов и их элементов	знать: - методы и средства для анализа, расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств; - принцип действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств.  уметь: - проводить анализ параметров и моделирование работы электротехнических устройств с магнитными системами различных типов; - применять методы и программные средства для расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электрические аппараты управления и распределения энергии (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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	Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей	24	2	4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[3], стр.3-40 [4], стр.4-39</p>
1.1	Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей	24		4	-	8	-	-	-	-	-	-	12	

2	Макроскопические модели основных типов электромеханических преобразователей энергии, использующих электромагнитные поля	24		4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.144-197 [2], стр.72-92 [3], стр.40-112 [4], стр.39-69 [5], стр.72-92
2.1	Макроскопические модели основных типов электромеханических преобразователей энергии, использующих электромагнитные поля	24		4	-	8	-	-	-	-	-	12	-	
3	Расчет магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов	30		4	-	8	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.144-197 [2], стр.96-146 [3], стр.40-112 [5], стр.96-146
3.1	Расчет магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов	30		4	-	8	-	-	-	-	-	18	-	
4	Расчет магнитных систем удерживающих устройств, исполнительных механизмов средств автоматизации,	30		4	-	8	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.144-197 [2], стр.150-215 [3], стр.40-112 [5], стр.150-215

	источников магнитного поля, электромагнитных накопителей энергии, магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий												
4.1	Расчет магнитных систем удерживающих устройств, исполнительных механизмов средств автоматизации, источников магнитного поля, электромагнитных накопителей энергии, магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий	30	4	-	8	-	-	-	-	-	18	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16	-	32	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16	-	32		2		-	0.5		93.5	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей*

1.1. Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей

Основные численные методы для расчетов электромагнитных полей магнитных систем: методы пространственных и граничных интегральных уравнений для источников электромагнитного поля, метод конечных разностей, метод конечных элементов, комбинированные методы. Обзор программных средств для расчетов магнитных систем. Постановка задачи оптимизационного проектирования магнитных систем. Задачи оптимального распределения допусков на параметры магнитных систем. Методы программные средства для решения оптимизационных задач..

#### *2. Макроскопические модели основных типов электромеханических преобразователей энергии, использующих электромагнитные поля*

2.1. Макроскопические модели основных типов электромеханических преобразователей энергии, использующих электромагнитные поля

Основные допущения, эквивалентные схемы макроскопических моделей, расчет параметров эквивалентных схем с применением методов численного анализа электромагнитных полей в электромеханических преобразователях различного типа: электромагнитных, магнитоэлектрических, электродинамических, индукционных, магнитострикционных, пьезоэлектрических и магнитогидродинамических..

#### *3. Расчет магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов*

3.1. Расчет магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов

Типовые конструкции магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов. Технические требования к магнитным системам. Анализ электромагнитных полей и оптимизация конструкций магнитных систем..

#### *4. Расчет магнитных систем удерживающих устройств, исполнительных механизмов средств автоматизации, источников магнитного поля, электромагнитных накопителей энергии, магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий*

4.1. Расчет магнитных систем удерживающих устройств, исполнительных механизмов средств автоматизации, источников магнитного поля, электромагнитных накопителей энергии, магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий

Типовые конструкции магнитных систем удерживающих устройств: магнитные опоры, подшипники, захваты, грузоподъемные устройства. Типовые конструкции магнитных систем исполнительных механизмов средств автоматизации: электромагниты пропорционального действия, позиционеры, магнитные муфты. Типовые конструкции магнитных систем источников магнитного поля и накопителей энергии: системы с постоянными магнитами и сверхпроводящие системы магниторезонансных томографов, магнитные фокусирующие системы. Типовые конструкции магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий: испытания в замкнутой



магнитной цепи, контроль магнитных свойств материалов и изделий в процессе производства, дефектоскопия на основе анализа магнитных полей рассеяния, электромагнитная дефектоскопия. Технические требования к магнитным системам. Анализ электромагнитных полей и оптимизация конструкций магнитных систем..

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

1. Расчет магнитных систем приводов для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий;
2. Расчет магнитных систем приводов источников магнитного поля и накопителей энергии;
3. Расчет магнитных систем приводов исполнительных механизмов средств автоматизации;
4. Расчет магнитных систем приводов удерживающих устройств;
5. Расчет магнитных систем приводов и функциональных элементов электрических аппаратов;
6. Расчет магнитных систем основных типов электротехнических устройств, использующих электромагнитные поля. Индукционные системы;
7. Расчет магнитных систем основных типов электротехнических устройств, использующих электромагнитные поля. Электродинамические системы;
8. Расчет магнитных систем основных типов электротехнических устройств, использующих электромагнитные поля. Магнитоэлектрические системы;
9. Расчет магнитных систем основных типов электротехнических устройств, использующих электромагнитные поля. Электромагнитные системы;
10. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей;
11. Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **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	
<b>Знать:</b>						
принцип действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств	ИД-3ПК-2		+			Контрольная работа/Расчет магнитной системы электромеханического преобразователя электродинамического типа
методы и средства для анализа, расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств	ИД-3ПК-2	+				Контрольная работа/Магнитоэлектрический преобразователь
<b>Уметь:</b>						
применять методы и программные средства для расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств	ИД-3ПК-2		+	+		Контрольная работа/Расчет магнитной системы электромеханического преобразователя электродинамического типа Контрольная работа/Электромагнит контактора постоянного тока
проводить анализ параметров и моделирование работы электротехнических устройств с магнитными системами различных типов	ИД-3ПК-2				+	Контрольная работа/Расчет магнитной муфты с постоянными магнитами

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

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

**2 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Магнитоэлектрический преобразователь (Контрольная работа)
2. Расчет магнитной муфты с постоянными магнитами (Контрольная работа)
3. Расчет магнитной системы электромеханического преобразователя электродинамического типа (Контрольная работа)
4. Электромагнит контактора постоянного тока (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №2)

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

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

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

1. 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 . ;
2. 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 . ;
3. Курбатов, П. А. Расчет и проектирование магнитных систем электрических аппаратов : учебное пособие по курсам "Расчет и проектирование магнитных систем электротехнических устройств", "Электромеханические системы электрических аппаратов" по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / П. А. Курбатов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 116 с. - ISBN 978-5-7046-1635-1 . <http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=8109>;
4. Курбатов, П. А. Математическое моделирование электромеханических систем электрических аппаратов : учебное пособие по курсам "Математическое моделирование электротехнических объектов", "Моделирование электромагнитных полей", "Механизмы электрических аппаратов" по специальности "Электрические и электронные аппараты" / П. А. Курбатов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 110 с. - ISBN 978-5-383-00092-2 . ;
5. 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, 2015 - (592 с.) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=61364](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=61364).

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. OpenModelica;
4. EasyMag.

## 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. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
4. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>  
<http://docs.cntd.ru/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для самостоятельной работы	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для консультирования	ЭЭА-13, Аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, экран, доска маркерная, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-2б, Архив	стол, стул, документы

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Расчет и проектирование магнитных систем электротехнических устройств

(название дисциплины)

#### 2 семестр

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

- КМ-1 Магнитоэлектрический преобразователь (Контрольная работа)
- КМ-2 Электромагнит контактора постоянного тока (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчет магнитной системы электромеханического преобразователя электродинамического типа (Контрольная работа)
- КМ-4 Расчет магнитной муфты с постоянными магнитами (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей					
1.1	Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей		+			
2	Макроскопические модели основных типов электромеханических преобразователей энергии, использующих электромагнитные поля					
2.1	Макроскопические модели основных типов электромеханических преобразователей энергии, использующих электромагнитные поля			+	+	
3	Расчет магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов					
3.1	Расчет магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов			+	+	
4	Расчет магнитных систем удерживающих устройств, исполнительных механизмов средств автоматизации, источников магнитного поля, электромагнитных накопителей энергии, магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий					
4.1	Расчет магнитных систем удерживающих устройств, исполнительных механизмов средств автоматизации,					+

	источников магнитного поля, электромагнитных накопителей энергии, магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий				
Вес КМ, %:		25	25	25	25