

**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: Электротехника и электрификация

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ПОЛЕЙ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.07</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>6 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>6 семестр - 28 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>6 семестр - 28 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>6 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>6 семестр - 85,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>6 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

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

Е.П. Курбатова

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Иванов А.С.
	Идентификатор	R28e5c30d-IvanovAIS-37175ef6

А.С. Иванов

Заведующий выпускающей  
кафедрой

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

М.Г. Киселев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** получение знаний в области численных методов расчетов электромагнитных полей и практических навыков применения компьютерного моделирования для последующего использования в исследовательской и проектно-конструкторской деятельности

### Задачи дисциплины

- освоение методов и программных средств для расчетов электромагнитных полей;
- приобретение практических навыков при решении конкретных задач по определению параметров и характеристик электромагнитных и электромеханических 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-7 Способен участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых исследований по заданной методике, выбирать методы исследований, интерпретировать и представлять полученные результаты	ИД-2 <sub>ПК-7</sub> Выбирает и применяет методы анализа и расчета электромеханических устройств, электротехнологического оборудования и систем на их основе	знать: - Основные понятия, термины и законы электромагнитного поля, необходимые для проведения расчетов магнитных систем электротехнического оборудования.  уметь: - анализировать силовые взаимодействия в магнитных системах электромеханических устройств; - рассчитывать параметры магнитных систем электрических машин с использованием численных методов.
ПК-7 Способен участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых исследований по заданной методике, выбирать методы исследований, интерпретировать и представлять полученные результаты	ИД-3 <sub>ПК-7</sub> Умеет использовать математические модели явлений и процессов, протекающих в электротехнических материалах	знать: - Свойства электротехнических материалов и методы их моделирования при выполнении расчетов магнитных систем.  уметь: - рассчитывать параметры магнитных систем постоянного тока с использованием численных методов; - рассчитывать параметры электромагнитов переменного тока с использованием численных методов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электротехника и электрификация (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	Электромагнитное поле. Методы расчета электромагнитных полей	14	6	4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.30-37 [2], стр.30-37	
1.1	Электромагнитные величины. Основные законы и понятия электромагнитного поля.	6		2	-	-	-	-	-	-	-	4	-		
1.2	Методы расчетов электромагнитного поля на основе интегральных и дифференциальных уравнений в частных производных.	8		2	-	2	-	-	-	-	-	4	-		
2	Моделирование свойств материалов в магнитных системах	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-		<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.51-60 [2], стр.51-60
2.1	Электрические свойства материалов.	8		2	-	2	-	-	-	-	-	4	-		
2.2	Магнитные свойства материалов.	10	2	-	2	-	-	-	-	-	6	-			
3	Расчет стационарного магнитного поля	38	10	-	10	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.38-50, 61-70 [2], стр. 38-50, 61-71 [3], стр. 40-87		
3.1	Интегральные и дифференциальные уравнения для	6	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-			

	стационарного магнитного поля.												[4], стр.144-197
3.2	Расчет параметров магнитных систем	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
3.3	Электромагнитные процессы в магнитных системах постоянного тока	18	4	-	6	-	-	-	-	-	8	-	
4	Расчет квазистационарного магнитного поля	38	10	-	12	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
4.1	Интегральные и дифференциальные уравнения квазистационарного электромагнитного поля.	6	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	[1], стр.30-50 [2], стр. 30-50 [3], стр.40-87 [4], стр.144-197
4.2	Электромагнитные процессы в магнитных системах переменного тока	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
4.3	Анализ электромагнитного поля в электрических машинах	18	4	-	8	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>28</b>	<b>-</b>	<b>28</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>52</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>28</b>	<b>-</b>	<b>28</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>85.5</b>		

**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. Электромагнитное поле. Методы расчета электромагнитных полей

1.1. Электромагнитные величины. Основные законы и понятия электромагнитного поля.

Электромагнитные величины: электрический заряд, электрическая постоянная, магнитная постоянная, плотность электрического заряда, напряжённость электрического поля, плотностью тока проводимости, электрический диполь, электрическая поляризация, электрическая индукция, плотность электрического тока смещения, магнитная индукция, сила Кулона, сила Лоренца, намагничённость, напряжённость магнитного поля. Законы электромагнитного поля. Источники поля векторов магнитной индукции и напряжённости магнитного поля. Закон электромагнитной индукции. Статические стационарные и квазистационарные поля. Уравнения Максвелла для частных случаев электромагнитного поля..

1.2. Методы расчетов электромагнитного поля на основе интегральных и дифференциальных уравнений в частных производных.

Особенности численных методов решения уравнений. Система пространственных интегральных уравнений. Общий вид решения. Граничные интегральные уравнения. Метод конечных элементов для решения задач с распределенными в пространстве параметрами. Программные комплексы, использующие метод конечных элементов..

### 2. Моделирование свойств материалов в магнитных системах

2.1. Электрические свойства материалов.

Электрические свойства материалов: электропроводящий материал, удельная электрическая проводимость, удельное электрическое сопротивление, изоляционный материал, полупроводник, сверхпроводник, диэлектрик, абсолютная диэлектрическая проницаемость, относительная диэлектрическая проницаемость, электрическая восприимчивость, (диэлектрическая восприимчивость), кривая поляризации, петля электрического гистерезиса, остаточная электрическая поляризация, диэлектрические потери, электрострикция, пьезоэлектрический эффект..

2.2. Магнитные свойства материалов.

Магнитные свойства материалов: магнитные материалы, абсолютная магнитная проницаемость, удельное магнитное сопротивление, относительная магнитная проницаемость, магнитная восприимчивость, диамагнетизм, идеальный диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм, антиферромагнетизм, ферримагнетизм, температура Кюри, температура Нееля, материальные уравнения, идеальный сверхпроводник. Кривая намагничивания, магнитное насыщение, магнитный гистерезис, петля магнитного гистерезиса, остаточная магнитная индукция, остаточная намагничённость, предельная остаточная магнитная индукция, коэрцитивная сила, кривая размагничивания, предельная петля гистерезиса, частные симметричные гистерезисные циклы, частные несимметричные гистерезисные циклы, магнитотвёрдый материал, магнитомягкий материал, магнотострикция.

### 3. Расчет стационарного магнитного поля

3.1. Интегральные и дифференциальные уравнения для стационарного магнитного поля.

Уравнения Максвелла для стационарного электромагнитного поля. Источники стационарного магнитного поля. Система пространственных интегральных уравнений для векторов намагничённости ферромагнитных деталей магнитной системы со стационарным

полем. Итерационный расчет намагниченности в деталях из магнитомягких и магнитотвердых материалов. Дифференциальные уравнения стационарного электромагнитного поля..

### 3.2. Расчет параметров магнитных систем

Расчет параметров магнитных систем на основе анализа электромагнитного поля: потокосцепления, индуктивности, ЭДС. Методы расчетов силовых взаимодействий в магнитном поле: интегрирование по источникам магнитного поля, метод ограничения области взаимодействия, формула Максвелла для пондеромоторной силы, энергетический метод..

### 3.3. Электромагнитные процессы в магнитных системах постоянного тока

Электромагнитные процессы в электромагнитах. Электромагниты постоянного тока. Расчет статической тяговой характеристики..

## 4. Расчет квазистационарного магнитного поля

4.1. Интегральные и дифференциальные уравнения квазистационарного электромагнитного поля.

Уравнения Максвелла квазистационарного электромагнитного поля. Источники квазистационарного электромагнитного поля. Закон электромагнитной индукции при наличии движения. Полная система пространственных интегральных уравнений для источников квазистационарного электромагнитного поля. Общее решение для векторного магнитного потенциала. Дифференциальные уравнения квазистационарного электромагнитного поля..

### 4.2. Электромагнитные процессы в магнитных системах переменного тока

Расчет параметров электромагнита переменного тока с помощью анализа электромагнитного поля. Анализ индуцированных токов..

### 4.3. Анализ электромагнитного поля в электрических машинах

Электромагнитные процессы в электрических машинах. Расчет электромагнитного поля в машинах постоянного тока, асинхронных машинах с короткозамкнутым ротором, синхронных машинах с обмоткой возбуждения и синхронных машинах с постоянными магнитами..

## 3.3. Темы практических занятий

1. Освоение программных средств для расчетов электромагнитного поля (Easymag 3D) на примерах решения простых задач стационарного магнитного поля. Траектории перемещения деталей. Средства визуализации результатов расчетов.;
2. Расчет распределения намагниченности в магнитных системах с деталями из магнитомягких материалов.;
3. Расчет распределения намагниченности в магнитных системах с деталями из магнитотвердых материалов/;
4. Расчет силовых взаимодействий в магнитном поле. Метод ограничивающей поверхности.;
5. Расчет силовых взаимодействий в магнитном поле. Энергетический метод.;
6. Расчет электромагнита переменного тока.;
7. Расчет тяговой характеристики электромагнита.;
8. Расчет электромагнитного момента и ЭДС машины постоянного тока.;

9. Расчет параметров асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.;
10. Расчет параметров синхронного генератора с постоянными магнитами.;
11. Расчет потокосцепления катушки электромагнита. Собственные и взаимные индуктивности;
12. Освоение программных средств для расчетов электромагнитного поля (Easymag 3D) на примерах решения простых задач стационарного магнитного поля. Задание исходных данных о конструкции магнитной системы. Расчет распределения векторов напряженности магнитного поля однородно намагниченных постоянных магнитов и катушек с постоянным током.

#### **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>						
Основные понятия, термины и законы электромагнитного поля, необходимые для проведения расчетов магнитных систем электротехнического оборудования	ИД-2ПК-7	+				Тестирование/Электромагнитные величины
Свойства электротехнических материалов и методы их моделирования при выполнении расчетов магнитных систем	ИД-3ПК-7		+			Контрольная работа/Электрические параметры электромагнита переменного тока
<b>Уметь:</b>						
рассчитывать параметры магнитных систем электрических машин с использованием численных методов	ИД-2ПК-7				+	Контрольная работа/Генератор с постоянными магнитами на роторе
анализировать силовые взаимодействия в магнитных системах электромеханических устройств	ИД-2ПК-7			+		Контрольная работа/Силовые взаимодействия в магнитном поле
рассчитывать параметры электромагнитов переменного тока с использованием численных методов	ИД-3ПК-7				+	Контрольная работа/Электрические параметры электромагнита переменного тока
рассчитывать параметры магнитных систем постоянного тока с использованием численных методов	ИД-3ПК-7		+			Контрольная работа/Расчет стационарного магнитного поля

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

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

**6 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Генератор с постоянными магнитами на роторе (Контрольная работа)
2. Расчет стационарного магнитного поля (Контрольная работа)
3. Силовые взаимодействия в магнитном поле (Контрольная работа)
4. Электрические параметры электромагнита переменного тока (Контрольная работа)
5. Электромагнитные величины (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №6)

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

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

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

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

1. 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);
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", "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://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=8109>;
4. Электрические и электронные аппараты : учебник и практикум для академического бакалавриата, для вузов по инженерно-техническим направлениям и специальностям / отв. ред. П. А. Курбатов . – М. : Юрайт, 2016 . – 440 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-9916-5890-4 ..

### **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	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-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	ЭЭА-12, Аудитория	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, ноутбук, компьютер персональный, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-2б, Архив	стол, стул, документы

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ****Компьютерные методы моделирования и расчета полей**

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Электромагнитные величины (Тестирование)  
 КМ-2 Расчет стационарного магнитного поля (Контрольная работа)  
 КМ-3 Силовые взаимодействия в магнитном поле (Контрольная работа)  
 КМ-4 Электрические параметры электромагнита переменного тока (Контрольная работа)  
 КМ-5 Генератор с постоянными магнитами на роторе (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	6	8	12	14
1	Электромагнитное поле. Методы расчета электромагнитных полей						
1.1	Электромагнитные величины. Основные законы и понятия электромагнитного поля.		+				
1.2	Методы расчетов электромагнитного поля на основе интегральных и дифференциальных уравнений в частных производных.		+				
2	Моделирование свойств материалов в магнитных системах						
2.1	Электрические свойства материалов.			+		+	
2.2	Магнитные свойства материалов.			+		+	
3	Расчет стационарного магнитного поля						
3.1	Интегральные и дифференциальные уравнения для стационарного магнитного поля.				+		
3.2	Расчет параметров магнитных систем				+		
3.3	Электромагнитные процессы в магнитных системах постоянного тока				+		
4	Расчет квазистационарного магнитного поля						
4.1	Интегральные и дифференциальные уравнения квазистационарного электромагнитного поля.					+	
4.2	Электромагнитные процессы в магнитных системах переменного тока					+	
4.3	Анализ электромагнитного поля в электрических машинах						+

	Bec KM, %:	10	20	25	20	25
--	------------	----	----	----	----	----