

**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**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**  
**И АППАРАТОВ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.08.04
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	7 семестр - 5;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	180 часов
<b>Лекции</b>	7 семестр - 32 часа;
<b>Практические занятия</b>	7 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	7 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	7 семестр - 113,5 часов;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Тестирование Контрольная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	7 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2025**

**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:** изучение методов и средств математического моделирования процессов в физических системах электротехнических объектов для последующего использования в их проектировании и эксплуатации.

### Задачи дисциплины

- изучение методов макроскопического математического моделирования процессов в физических системах электротехнических объектов;
- освоение принципов работы с компьютерными программными средствами, применяемыми при макроскопическом моделировании процессов в физических системах;
- изучение математических моделей типовых элементов и узлов электротехнического оборудования;
- обучение методам анализа и обобщения результатов математического моделирования для их применения при проектировании и эксплуатации электротехнических объектов.

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-2 <sub>ПК-3</sub> Демонстрирует знание законов электротехники, электромеханики, математического анализа и основ теории электрических аппаратов	знать: - методы макроскопического математического моделирования процессов в физических системах электротехнических объектов; - принципы построения математических моделей и их эквивалентных схем для анализа физических процессов в электрических аппаратах на основе законов электротехники, механики, распространения тепла.
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-6 <sub>ПК-3</sub> Применяет современные методы исследования режимов работы и расчета характеристик электрических машин и аппаратов	уметь: - определять параметры эквивалентных схем для анализа физических процессов в электрических аппаратах; - выполнять анализ результатов математического моделирования для их применения при исследованиях режимов работы и характеристик электротехнических объектов; - применять методы макроскопического моделирования для построения эквивалентных схем механических узлов электрических аппаратов.

## 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 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ 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	Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта	20	7	6	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу для подготовки к тесту №1 "Основные понятия макро моделирования"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 72-78 [3], стр. 4-14 [4], стр. 72-78</p>	
1.1	Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта	20		6	-	4	-	-	-	-	-	10	-		
2	Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов	36		8	-	8	-	-	-	-	-	20	-		<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу для подготовки к контрольной работе №1 "Макромодель механического узла"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу для подготовки к тесту №2 "Модели подсистем электротехнических объектов"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 159-167 [2], стр. 78-96, стр. 184-187 [3], стр. 14-27 [4], стр. 78-96, стр. 184-187</p>
2.1	Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов	36		8	-	8	-	-	-	-	-	20	-		
3	Эквивалентные схемы типовых элементов и	43		8	-	10	-	-	-	-	-	25	-		

	узлов электротехнических объектов												подготовки к контрольной работе №2 "Моделирование контактной системы" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 126-140 [3], стр. 27-35 [4], стр. 126-140
3.1	Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов	43	8	-	10	-	-	-	-	-	25	-	
4	Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов	45	10	-	10	-	-	-	-	-	25	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу для подготовки к контрольной работе №3 "Анализ процессов в электромеханической системе контактора постоянного тока" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 167-197 [2], стр. 140-150 [3], стр. 64-69 [4], стр. 140-150
4.1	Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов	45	10	-	10	-	-	-	-	-	25	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>80</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>113.5</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. Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта

##### 1.1. Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта

Понятие математической модели. Макроскопические и микроскопические модели, основные допущения. Электрическая, электромагнитная, механическая и тепловая подсистемы физической системы электротехнического объекта. Термины и определения; элементы, фазовые переменные, источники фазовых переменных. Компонентные и топологические уравнения. Обзор программных средств для анализа процессов на основе макромоделей технических устройств..

#### 2. Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов

##### 2.1. Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов

Основы теории подобия. Теоремы и дополнительные положения о подобии. Критерии подобия элементов подсистем электротехнических объектов и их применение при макроmodellировании. Аналогии элементов и фазовых переменных основных подсистем. Прямые и обращенные модели. Компонентные и топологические уравнения электрической, электромагнитной, механической и тепловой подсистем. Независимые и зависимые источники фазовых переменных. Представление математической модели в виде эквивалентных схем электрических цепей..

#### 3. Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов

##### 3.1. Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов

Методы построения эквивалентных схем математических моделей. Эквивалентные схемы моделей электрической, электромагнитной, механической и тепловой подсистем типовых узлов электротехнических объектов. Принципы построения эквивалентных схем для анализа электротехнических устройств. Объединения моделей отдельных подсистем в единую систему с использованием зависимых источников фазовых переменных и элементов. Формирование систем топологических уравнений математической модели..

#### 4. Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов

##### 4.1. Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов

Построение математических моделей электротехнических объектов. Модели простейших механизмов электрических аппаратов, электротехнических устройств с электромагнитным приводом. Анализ переходных и установившихся процессов в электротехнических объектах с применением специализированных программных средств..

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

1. Моделирование электромеханической системы контактора переменного тока;
2. Построение графов и эквивалентных схем механических подсистем;
3. Моделирование нелинейных элементов в электрических цепях и задание собственных ВАХ.;
4. Моделирование магнитной подсистемы. Дроссель со стальным сердечником;
5. Моделирование электрической подсистемы. Источник ЭДС, подключенный к

- комплексной электрической нагрузке;
6. Моделирование системы, состоящей из нескольких масс, соединенных пружинами между собой и с неподвижным основанием;
  7. Модель контактной системы реле с размыкающимися и замыкающимися контактами;
  8. Моделирование механической подсистемы вращательного движения. Модель маятника;
  9. Моделирование электромеханической системы контактора постоянного тока;
  10. Макромодели контактных систем электрических аппаратов с 3D визуализацией;
  11. Моделирование тепловой подсистемы. Нагрев катушки с током.;
  12. Моделирование кривошипно-шатунного механизма;
  13. Моделирование механической подсистемы поступательного движения. Анализ движения массы, подключенной к пружине;
  14. Электрическая цепь трансформатора напряжения. Собственная и взаимная индуктивность.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Моделирование и анализ резонансных и несинусоидальных режимов в электрических цепях;
2. Построение модели механизма свободного расцепления;
3. Моделирование электромеханического реле с переключающимися контактами;
4. Моделирование электромагнитных процессов в двухобмоточном трансформаторе напряжения.

### **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>						
принципы построения математических моделей и их эквивалентных схем для анализа физических процессов в электрических аппаратах на основе законов электротехники, механики, распространения тепла	ИД-2пк-3		+			Тестирование/Модели подсистем электротехнических объектов
методы макроскопического математического моделирования процессов в физических системах электротехнических объектов	ИД-2пк-3	+				Тестирование/Основные понятия макро моделирования
<b>Уметь:</b>						
применять методы макроскопического моделирования для построения эквивалентных схем механических узлов электрических аппаратов	ИД-6пк-3			+		Контрольная работа/Моделирование контактной системы
выполнять анализ результатов математического моделирования для их применения при исследованиях режимов работы и характеристик электротехнических объектов	ИД-6пк-3				+	Контрольная работа/Анализ процессов в электромеханической системе контактора постоянного тока
определять параметры эквивалентных схем для анализа физических процессов в электрических аппаратах	ИД-6пк-3			+		Контрольная работа/Макромодель механического узла

## **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: Компьютерное задание

1. Анализ процессов в электромеханической системе контактора постоянного тока (Контрольная работа)
2. Макромодель механического узла (Контрольная работа)
3. Моделирование контактной системы (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Модели подсистем электротехнических объектов (Тестирование)
2. Основные понятия макро моделирования (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (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. 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.;
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. 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.;
4. 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.

## 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 промежуточной аттестации	Е-205, Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стол, стул, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	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

### Математическое моделирование электрических машин и аппаратов

(название дисциплины)

#### 7 семестр

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

- КМ-1 Основные понятия макро моделирования (Тестирование)
- КМ-2 Модели подсистем электротехнических объектов (Тестирование)
- КМ-3 Макромодель механического узла (Контрольная работа)
- КМ-4 Моделирование контактной системы (Контрольная работа)
- КМ-5 Анализ процессов в электромеханической системе контактора постоянного тока (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	16
1	Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта						
1.1	Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта		+				
2	Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов						
2.1	Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов			+			
3	Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов						
3.1	Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов				+	+	
4	Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов						
4.1	Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов						+
Вес КМ, %:			10	20	20	20	30