

**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: Моделирование в электроэнергетике и электротехнике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

<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.13.01.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 95,7 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>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Молоканов О.Н.
	Идентификатор	R28e375f0-MolokanovON-815ccd6

(подпись)

О.Н. Молоканов

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Козьмина И.С.
	Идентификатор	Ra036a963-KozminaIS-f85c8f2a

(подпись)

И.С. Козьмина

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Тулский В.Н.
	Идентификатор	R292b173d-TulskyVN-7e812984

(подпись)

В.Н. Тульский

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение многообразия низковольтных электрических аппаратов, физических процессов, определяющих их функционирование, а также принципов построения математических моделей типовых узлов

### Задачи дисциплины

- освоение теоретических основ физических явлений, определяющих функционирование электрических аппаратов разных видов, а именно: теории электромагнитных, электродинамических явлений, теории процессов коммутации электрических цепей, теории процессов тепло- и массообмена;
- изучение различных видов и областей применения электрической аппаратуры;
- приобретение навыков обоснования конкретных технических решений при последующем конструировании систем распределения электрической энергии и управления потоками энергии на уровне конечного потребления;
- формирование представления о современных электрических аппаратах;;
- приобретение навыков разработки математических моделей электромагнитных контакторов и трансформаторов тока.

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 Способность принимать участие в решении исследовательских задач в рамках реализации научного проекта	ИД-2ПК-2 Использует информационные ресурсы, необходимые для проведения исследований	знать: - классификацию, функции, области применения и принципы действия электрических аппаратов; - теоретические основы физических явлений, определяющих функционирование электрических аппаратов; - основные принципы макромоделирования для разработки математических моделей типовых узлов электрических аппаратов.  уметь: - применять физико-математический аппарат для создания математических макромоделей электромагнитных систем трансформаторов тока и выполнять анализ результатов моделирования.; - применять физико-математический аппарат для создания математических макромоделей электромеханических систем электромагнитных контакторов и выполнять анализ результатов моделирования..

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО**

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Моделирование в электроэнергетике и электротехнике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

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	Назначение, устройство и принцип действия электрических аппаратов низкого напряжения и создание математических моделей их электромеханических систем	46	3	16	6	-	-	-	-	-	-	24	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Назначение, устройство и принцип действия электрических аппаратов низкого напряжения и создание математических моделей их электромеханических систем", подготовка с аудиторным лекционным и практическим занятиям и к мероприятиям текущего контроля.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], Главы 1–3</p>
1.1	Электрический аппарат как средство управления режимами работы, защиты и регулирования параметров системы	4		2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
1.2	Электромеханические аппараты систем распределения электрической энергии при низком напряжении	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	
1.3	Электромеханические аппараты управления	26		6	6	-	-	-	-	-	-	14	-	
2	Основные физические явления и процессы в электрических	80		16	10	-	-	-	-	-	-	54	-	

	аппаратах низкого напряжения и подходы к их моделированию												"Основные физические явления и процессы в электрических аппаратах низкого напряжения и подходы к их моделированию", подготовка с аудиторным лекционным и практическим занятиям и к мероприятиям текущего контроля. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Главы 1–2 [2], Главы 4–8
2.1	Электромагниты	24	4	4	-	-	-	-	-	-	16	-	
2.2	Электрические контакты	4	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
2.3	Тепловые процессы в электрических аппаратах	18	4	2	-	-	-	-	-	-	12	-	
2.4	Электрическая дуга и процесс коммутации	9	2	-	-	-	-	-	-	-	7	-	
2.5	Электродинамическая стойкость электрических аппаратов	4	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
2.6	Трансформаторы тока	21	2	4	-	-	-	-	-	-	15	-	
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	-	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>78</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	-	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>95.7</b>		

**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. Назначение, устройство и принцип действия электрических аппаратов низкого напряжения и создание математических моделей их электромеханических систем*

1.1. Электрический аппарат как средство управления режимами работы, защиты и регулирования параметров системы

Общие понятия об электрических и электронных аппаратах. Классификация электрических и электронных аппаратов по назначению, по току и напряжению, по области применения. Применение электрических и электронных аппаратов в системах электроснабжения, электропривода и электрического оборудования..

1.2. Электромеханические аппараты систем распределения электрической энергии при низком напряжении

Устройство и принципы действия, основные параметры предохранителей, автоматических выключателей, электромагнитных и тепловых расцепителей. Защитные характеристики, выбор уставок. Селективность токовая и временная. Назначение и принцип действия аппаратуры защитного отключения (УЗО). Схемы подключения УЗО. Выбор автоматических выключателей и УЗО..

1.3. Электромеханические аппараты управления

Устройство и принципы действия, основные параметры контакторов, пускателей, электромагнитных и тепловых реле. Категории применения контакторов. Классы расцепления тепловых реле. Выбор контакторов, пускателей и тепловых реле для управления электродвигателями. Создание комплексных математических моделей контакторов в MATLAB/Simulink..

#### *2. Основные физические явления и процессы в электрических аппаратах низкого напряжения и подходы к их моделированию*

2.1. Электромагниты

Электромагниты как элементы привода электромеханических аппаратов. Виды магнитных систем. Магнитные цепи. Магнитная проводимость. Правила Кирхгофа для магнитных цепей. Намагничивание магнитной цепи электромагнита. Сила тяги электромагнита. Тяговая характеристика электромагнита постоянного тока. Ее согласование с типичной характеристикой противодействующих усилий электромеханического аппарата. Коэффициенты удержания и возврата. Особенности поляризованных электромагнитов. Особенности электромагнитов переменного тока. Создание математических моделей электромагнитов в MATLAB/Simulink, изучение режимов работы и влияния параметров магнитной системы на их характеристики..

2.2. Электрические контакты

Понятие электрического контакта. Плошадка соприкосновения. Модель Хольма. Сопротивление электрического контакта. Влияние контактов на нагрев проводников. Уравнение Хольма-Кольрауша и Ом-Вольтовая характеристика контактов. Сваривание контактов. Контактные материалы. Силы Двайта и способы их компенсации в электрических аппаратах..

2.3. Тепловые процессы в электрических аппаратах

Источники теплоты в электрических аппаратах. Способы передачи теплоты. Уравнение Ньютона-Рихмана. Стационарный тепловой режим. Дифференциальное уравнение нагрева и

остывания, постоянная времени переходного процесса. Повторно-кратковременный режим и коэффициент перегрузки. Условие адиабатического нагрева. Кривые адиабатического нагрева проводниковых материалов. Термическая стойкость электрических аппаратов. Создание математических моделей тепловых подсистем электрических аппаратов в MATLAB/Simulink..

#### 2.4. Электрическая дуга и процесс коммутации

Плазма электрической дуги. Процессы ионизации и деионизации. Вольт-Амперная характеристика. Условия равновесия в цепи постоянного тока с электрической дугой. Динамическая Вольт-Амперная характеристика. Условия незажигания электрической дуги после нуля тока. Дугогасительные камеры. Системы магнитного дутья..

#### 2.5. Электродинамическая стойкость электрических аппаратов

Силы Ампера – электродинамические усилия. Понятие о коэффициенте контура электродинамических усилий. Электродинамические усилия при переменном токе. Электродинамическая стойкость электрических аппаратов. Связь электродинамической стойкости с включающей способностью..

#### 2.6. Трансформаторы тока

Назначение трансформаторов тока. Области использования. Принцип действия. Режимы работы. Типы погрешностей измерения причины их появления. Типовые конструкции. Особенности эксплуатации. Создание математических моделей трансформаторов тока в MATLAB/Simulink, изучение режимов работы и влияния параметров магнитной системы на их характеристики..

### 3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Построение математической модели трансформатора тока.;
2. Построение математической модели контактора.;
3. Моделирование тепловой подсистемы электрического аппарата.;
4. Моделирование магнитной системы электрического аппарата. Построение математической модели электромагнита.;
5. Вводное занятие. Основные принципы макромоделирования физических процессов..

### 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	
<b>Знать:</b>				
основные принципы макромоделирования для разработки математических моделей типовых узлов электрических аппаратов	ИД-2ПК-2	+	+	Тестирование/Макромодели подсистем электрических аппаратов
теоретические основы физических явлений, определяющих функционирование электрических аппаратов	ИД-2ПК-2		+	Тестирование/Оценка уровня базовых знаний по электротехнике Тестирование/Физические процессы, в электрических аппаратах
классификацию, функции, области применения и принципы действия электрических аппаратов	ИД-2ПК-2	+		Тестирование/Электрические аппараты защиты и управления
<b>Уметь:</b>				
применять физико-математический аппарат для создания математических макромоделей электромеханических систем электромагнитных контакторов и выполнять анализ результатов моделирования.	ИД-2ПК-2	+	+	Контрольная работа/Моделирование контактора постоянного тока
применять физико-математический аппарат для создания математических макромоделей электромагнитных систем трансформаторов тока и выполнять анализ результатов моделирования.	ИД-2ПК-2	+	+	Контрольная работа/Анализ работы трансформатора тока

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

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

#### **3 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Анализ работы трансформатора тока (Контрольная работа)
2. Моделирование контактора постоянного тока (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Макромодели подсистем электрических аппаратов (Тестирование)
2. Оценка уровня базовых знаний по электротехнике (Тестирование)
3. Физические процессы, в электрических аппаратах (Тестирование)
4. Электрические аппараты защиты и управления (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 3 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, 2021 - (592 с.) <https://e.lanbook.com/book/168796>;
2. Электрические и электронные аппараты : учебник и практикум для студентов вузов, обучающихся по инженерно-техническим направлениям и специальностям / П. А. Курбатов, [и др.] ; ред. П. А. Курбатов . – Москва : Юрайт, 2020 . – 440 с. – (Высшее образование) . - На обл. серия: Бакалавр. Академический курс . - ISBN 978-5-534-00953-8 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. SimInTech.

### **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. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
6. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
7. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing - <http://search.ebscohost.com>
8. Патентная база Orbit Intelligence компании Questel - <https://www.orbit.com/>
9. База данных диссертаций ProQuest Dissertations and Theses Global - <https://search.proquest.com/pqdtglobal/index>
10. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
11. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
12. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
13. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
14. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
15. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
16. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
17. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru; http://docs.cntd.ru/>
18. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
19. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
20. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
21. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
22. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
23. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>
24. АНО «Россия – страна возможностей» - <https://rsv.ru/education/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-411, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	3-402/10, Компьютерный класс каф. "ТОЭ"	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, экран интерактивный, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения	Ж-411, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая

промежуточной аттестации		
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	3-201, Кабинет сотрудников каф. "ТОЭ"	шкаф, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	3-403/56, Помещение каф. "ТОЭ"	стул, шкаф

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Моделирование электрических аппаратов

(название дисциплины)

## 3 семестр

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

- КМ-1 Оценка уровня базовых знаний по электротехнике (Тестирование)  
 КМ-2 Электрические аппараты защиты и управления (Тестирование)  
 КМ-3 Макромодели подсистем электрических аппаратов (Тестирование)  
 КМ-4 Моделирование контактора постоянного тока (Контрольная работа)  
 КМ-5 Анализ работы трансформатора тока (Контрольная работа)  
 КМ-6 Физические процессы, в электрических аппаратах (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	3	8	12	14	16	16
1	Назначение, устройство и принцип действия электрических аппаратов низкого напряжения и создание математических моделей их электромеханических систем							
1.1	Электрический аппарат как средство управления режимами работы, защиты и регулирования параметров системы			+				
1.2	Электромеханические аппараты систем распределения электрической энергии при низком напряжении			+				
1.3	Электромеханические аппараты управления			+	+	+	+	
2	Основные физические явления и процессы в электрических аппаратах низкого напряжения и подходы к их моделированию							
2.1	Электромагниты		+		+	+	+	+
2.2	Электрические контакты		+					+
2.3	Тепловые процессы в электрических аппаратах		+					+
2.4	Электрическая дуга и процесс коммутации		+					+
2.5	Электродинамическая стойкость электрических аппаратов		+					+
2.6	Трансформаторы тока				+	+	+	
Вес КМ, %:			5	20	20	20	20	15