

**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 ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 6;
Часов (всего) по учебному плану:	216 часов
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	3 семестр - 16 часов;
Консультации	3 семестр - 18 часов;
Самостоятельная работа	3 семестр - 113,2 часов;
в том числе на КП/КР	3 семестр - 16 часов;
Иная контактная работа	3 семестр - 4 часа;
включая: Домашнее задание Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсовой работы	3 семестр - 0,3 часа;
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;
	всего - 0,8 часа

**Москва 2022**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

**Преподаватель**

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Матвеев Д.А.
	Идентификатор	Rcb243d05-MatveevDA-f9ddc1fa

(подпись)

**Д.А. Матвеев**

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель образовательной программы**

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

**И.С. Козьмина**

(расшифровка подписи)

**Заведующий выпускающей кафедры**

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

**В.Н. Тульский**

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Приобретение знаний и навыков по применению современных методов математического моделирования для проектирования, эксплуатации, диагностики и экспертизы высоковольтных электроустановок в электроэнергетике

### Задачи дисциплины

- Изучение принципов построения и алгоритмов компьютерных программ для моделирования электромагнитных переходных процессов в электроустановках при проектировании, эксплуатации, диагностике и экспертизе высоковольтных электроустановок;
- Приобретение знаний и навыков формирования математических моделей силовых и измерительных трансформаторов на основе принципа дуальности электрических и магнитных цепей для анализа низко- и среднечастотных переходных процессов в электроустановках;
- Приобретение знаний и навыков формирования высокочастотных математических моделей электрооборудования;
- Формирование представлений о широкополосных математических моделях электрооборудования, учитывающих нелинейность и частотную зависимость их параметров;
- Приобретение знаний и навыков моделирования электрической дуги в электроустановках;
- Изучение метода конечных элементов для моделирования электромагнитных полей в электроустановках и для расчета параметров схем замещения электрооборудования.

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-4 <sub>ПК-2</sub> Знает информационные технологии, используемые в науке и технике	знать: - Принципы построения и алгоритмы современных компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных переходных процессов.  уметь: - Составлять схемы замещения основного электрооборудования высоковольтных распределительных устройств и рассчитывать их параметры.
ПК-3 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в электроэнергетике и электротехнике	ИД-3 <sub>ПК-3</sub> Знает и применяет на практике современные языки программирования для анализа, моделирования электроустановок в электроэнергетике и машинного обучения	знать: - Методы численного моделирования электрической дуги.  уметь: - Составлять расчетные модели электрической дуги для её численного моделирования в программах расчета электромагнитных переходных процессов.
ПК-3 Способность принимать участие в математическом и компьютерном	ИД-6 <sub>ПК-3</sub> Использует в профессиональной деятельности методы моделирования состояния и	знать: - Принципы построения и методы расчета параметров широкополосных моделей трансформаторного

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
моделировании в электроэнергетике и электротехнике	работы высоковольтного электрооборудования	<p>оборудования;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Волновую теорию электромагнитных переходных процессов в воздушных и кабельных линиях электропередачи и метод векторной аппроксимации её частотных характеристик;</li> <li>- Методы построения и расчета параметров низкочастотных математических моделей трансформаторного оборудования.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Рассчитывать параметры низкочастотных математических моделей трансформаторного оборудования;</li> <li>- Рассчитывать частотные характеристики многопроводных воздушных и кабельных линий электропередачи и применять метод векторной аппроксимации для их численного моделирования;</li> <li>- Рассчитывать параметры широкополосных моделей трансформаторного оборудования.</li> </ul>
ПК-3 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в электроэнергетике и электротехнике	ИД-8 <sub>ПК-3</sub> Применяет в профессиональной деятельности современные методы и средства визуализации данных	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Теорию и этапы программного реализации метода конечных элементов для расчета двух- и трехмерных электромагнитных полей.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Применять метод конечных элементов для расчета двух- и трехмерных электромагнитных полей.</li> </ul>

## 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 6 зачетных единиц, 216 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	Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях	18	3	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Задание: Составить схему замещения распределительного устройства и рассчитать её параметры.</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекций</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p>
1.1	Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях	18		4	-	4	-	-	-	-	-	-	10	

[5], стр. 34-48

														[6], стр. 133-147 [7], стр. 213-228
2	Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования	22	4	4	4	-	-	-	-	-	10	-	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования"
2.1	Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования	22	4	4	4	-	-	-	-	-	10	-	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования" материалу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 115-168
3	Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках	32	8	4	8	-	-	-	-	-	12	-	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках"
3.1	Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках	32	8	4	8	-	-	-	-	-	12	-	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу

														<p>"Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Задание: Выполнить тестирование и отладку высокочастотных моделей воздушных и кабельных линий распределительного устройства</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках" материалу.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 43-105</p>
4	Широкополосные модели трансформаторного оборудования	28	8	4	4	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Широкополосные модели трансформаторного оборудования"</p>	
4.1	Широкополосные модели трансформаторного оборудования	28	8	4	4	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Широкополосные модели трансформаторного оборудования" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи</p>	

													по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Задание: Выполнить тестирование и отладку широкополосной модели силового трансформатора. Осуществить расчет высокочастотных резонансных переходных процессов в силовом трансформаторе совместно с распределительным устройством, сделать выводы о допустимости воздействий на продольную изоляцию трансформатора <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Широкополосные модели трансформаторного оборудования" материалу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 120-132 [4], 3-34
5	Математическое моделирование электрической дуги	25.7	4	4	8	-	-	-	-	-	9.7	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическое моделирование электрической дуги"
5.1	Математическое моделирование электрической дуги	25.7	4	4	8	-	-	-	-	-	9.7	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Математическое моделирование электрической дуги" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях



													<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Математическое моделирование электрической дуги" материалу.
6	Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Выполнение домашнего задания "Конечно-элементный расчет параметров схемы замещения силового трансформатора" <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы
6.1	Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], стр. 9-65, 105-133, 181-199
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовая работа (КР)	36.3	-	-	-	16	-	4	-	0.3	16	-	
	Всего за семестр	216.0	32	16	32	16	2	4	-	0.8	79.7	33.5	
	Итого за семестр	216.0	32	16	32	18		4		0.8	113.2		

**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. Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях

1.1. Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях

Обзор современных и перспективных задач математического моделирования при конструировании электрооборудования и проектировании электроустановок. Принципы построения и алгоритмы компьютерных программ для моделирования электромагнитных переходных процессов в электроустановках. Схемы замещения основного электрооборудования распределительных устройств и их применение в компьютерных программах..

### 2. Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования

2.1. Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования

Математические модели трансформаторного оборудования, основанные на принципе дуальности электрических и магнитных цепей. Учет нелинейности характеристики намагничивания магнитопровода, гистерезиса, технологических аспектов изготовления активной части трансформатора. Подходы к моделированию пусковых режимов силовых трансформаторов и феррорезонансных явлений в сетях с измерительными трансформаторами напряжения..

### 3. Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках

3.1. Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках

Частотные зависимости параметров основного электрооборудования распределительных устройств. Электромагнитная теория волновых процессов в воздушных и кабельных линиях электропередачи. Техника векторной аппроксимации частотных характеристик и ее применение в построении частотно-зависимых моделей трансформаторов, воздушных и кабельных линий. Моделирование низкочастотных и высокочастотных процессов в многопроводных кабельных линиях. Потери и перенапряжения в экранях кабелей.

### 4. Широкополосные модели трансформаторного оборудования

4.1. Широкополосные модели трансформаторного оборудования

Развитие дуальных моделей трансформаторов и реакторов для отражения высокочастотных процессов. Учет паразитных емкостей и индуктивностей при построении моделей. Широкополосные модели силовых и измерительных трансформаторов в задачах моделирования высокочастотных перенапряжений и преобразовательных установок силовой электроники.

### 5. Математическое моделирование электрической дуги

5.1. Математическое моделирование электрической дуги

Моделирование газоразрядных явлений в электроустановках. Математические модели вакуумных и элегазовых выключателей. Отключающая способность выключателей. Срезы тока. Моделирование искровых и дуговых замыканий. Перекрытия гирлянд изоляторов при ударах молнии в ВЛ, однофазные дуговые замыкания на землю в распределительных сетях..

## 6. Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей

6.1. Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей

Метод конечных элементов: вариационные постановки задач, симплексы, формирование и обзор методов решения систем уравнений, генераторы сеток, постобработка результатов расчета. Расчет емкостей и индуктивностей схем замещения электрооборудования методами конечных элементов. Моделирование полевых воздействий на изоляцию электрооборудования..

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

1. Численное моделирование перекрытия гирлянды воздушной линии электропередачи при ударе молнии;
2. Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети;
3. Численное моделирование вакуумного выключателя в схеме электроснабжения трансформаторной нагрузки для расчета перенапряжений при повторных зажиганиях дуги;
4. Численное моделирование вакуумных и элегазовых выключателей для оценки отключающей способности;
5. Численное моделирование переходных процессов в обмотках силового трансформатора;
6. Формирование широкополосной модели силового трансформатора;
7. Численное моделирование переходных процессов в кабельных линиях электропередачи;
8. Расчет частотных характеристик кабельных линий электропередачи;
9. Расчет емкостей и индуктивностей трансформатора методами конечных элементов;
10. Расчет частотных характеристик многопроводных воздушных линий электропередачи;
11. Численное моделирование пусковых режимов силовых трансформаторов;
12. Формирование и расчет параметров дуальных схем замещения трансформаторов;
13. Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств;
14. Формирование матрицы системы дифференциальных уравнений для расчета переходного процесса в электрической сети;
15. Численное моделирование переходных процессов в многопроводных воздушных линиях электропередачи;
16. Расчет распределения электрического поля в изоляционной конструкции методом конечных элементов.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения;
2. Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них;
3. Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов;
4. Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью.

### 3.5 Консультации

#### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках"
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Широкополосные модели трансформаторного оборудования"

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Широкополосные модели трансформаторного оборудования"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Математическое моделирование электрической дуги"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей"

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 3 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Принципы построения и алгоритмы компьютерных программ для моделирования электромагнитных переходных процессов в электроустановках. Схемы замещения основного электрооборудования распределительных устройств и их применение в компьютерных программах. Частотные зависимости параметров основного электрооборудования распределительных устройств. Электромагнитная теория волновых процессов в воздушных и кабельных линиях электропередачи. Техника векторной аппроксимации частотных характеристик и ее применение в построении частотно-зависимых моделей трансформаторов, воздушных и кабельных линий. Моделирование высокочастотных процессов в многопроводных линиях с распределенными параметрами. Широкополосные модели силовых в задачах моделирования высокочастотных перенапряжений. Учет паразитных емкостей и индуктивностей при построении моделей трансформаторов.

#### **График выполнения курсового проекта**

Неделя	1 - 8	9 - 12	13 - 14	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	3	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	40	40	20	-
Выполненный объем	40	80	100	-

нарастающим итогом, %				
--------------------------	--	--	--	--

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Составление схемы замещения распределительного устройства 500 кВ. Расчет параметров широкополосных моделей силового трансформатора, токопровода и коммутационного оборудования
2	Численное моделирование переходных процессов в обмотках трансформатора при коротких замыканиях в распределительном устройстве
3	Определение возможности возникновения в трансформаторе высокочастотных резонансных перенапряжений и разработка рекомендаций по снижению вероятности их возникновения, опасных для изоляции трансформатора.

### 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	6	
<b>Знать:</b>								
Принципы построения и алгоритмы современных компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных переходных процессов	ИД-4пк-2	+						Домашнее задание/Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств
Методы численного моделирования электрической дуги	ИД-3пк-3					+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью"
Методы построения и расчета параметров низкочастотных математических моделей трансформаторного оборудования	ИД-6пк-3		+					Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения"
Волновую теорию электромагнитных переходных процессов в воздушных и кабельных линиях электропередачи и метод векторной аппроксимации её частотных характеристик	ИД-6пк-3			+				Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них"
Принципы построения и методы расчета параметров широкополосных моделей трансформаторного оборудования	ИД-6пк-3				+			Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов"
Теорию и этапы программного реализации метода конечных элементов для расчета двух- и трехмерных электромагнитных полей	ИД-8пк-3						+	Домашнее задание/Формирование системы уравнений метода конечных элементов для расчета электрического поля в воздушном изоляционном промежутке
<b>Уметь:</b>								

Составлять схемы замещения основного электрооборудования высоковольтных распределительных устройств и рассчитывать их параметры	ИД-4 <sub>ПК-2</sub>	+					Домашнее задание/Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств	
Составлять расчетные модели электрической дуги для её численного моделирования в программах расчета электромагнитных переходных процессов	ИД-3 <sub>ПК-3</sub>					+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью"	
Рассчитывать параметры широкополосных моделей трансформаторного оборудования	ИД-6 <sub>ПК-3</sub>					+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов"	
Рассчитывать частотные характеристики многопроводных воздушных и кабельных линий электропередачи и применять метод векторной аппроксимации для их численного моделирования	ИД-6 <sub>ПК-3</sub>					+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них"	
Рассчитывать параметры низкочастотных математических моделей трансформаторного оборудования	ИД-6 <sub>ПК-3</sub>					+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения"	
Применять метод конечных элементов для расчета двух- и трехмерных электромагнитных полей	ИД-8 <sub>ПК-3</sub>						+	Домашнее задание/Формирование системы уравнений метода конечных элементов для расчета электрического поля в воздушном изоляционном промежутке



## **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: Выполнение задания

1. Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств (Домашнее задание)
2. Формирование системы уравнений метода конечных элементов для расчета электрического поля в воздушном изоляционном промежутке (Домашнее задание)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Защита лабораторной работы "Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов" (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы "Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них" (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы "Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью" (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы "Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения" (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

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

*Экзамен (Семестр №3)*

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

*Курсовая работа (КР) (Семестр №3)*

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. Силовые трансформаторы : справочная книга / Ред. С. Д. Лизунов, А. К. Лоханин . – М. : Энергоиздат, 2004 . – 616 с. - ISBN 5-9807300-4-4 .;
2. Кадомская, К. П. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Основные характеристики и электромагнитные процессы / К. П. Кадомская, Ю. А. Лавров, О. И. Лаптев . – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008 . – 343 с. – (Монографии НГТУ ) . - ISBN 978-5-7782-1073-8 .;
3. Сегерлинд, Л. Дж. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Дж. Сегерлинд . – М. : Мир, 1979 . – 392 с.;

4. Лоханин, А. К. Импульсные перенапряжения в обмотках трансформаторов : методическое пособие по курсу "Изоляция электротехнического оборудования высокого напряжения и основы ее проектирования" по направлению "Электроэнергетика" / А. К. Лоханин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 38 с.;
5. Ж. Деклу- "Метод конечных элементов", Издательство: "Мир", Москва, 1976 - (95 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=456946>;
6. Г. Стренг, Д. Фикс- "Теория метода конечных элементов", Издательство: "Мир", Москва, 1977 - (350 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457078>;
7. О. Зенкевич- "Метод конечных элементов в технике", Издательство: "Мир", Москва, 1975 - (542 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457096>.

## **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. Антиплагиат ВУЗ;
6. 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. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. База данных издательства Annual Reviews Science Collection -  
<https://www.annualreviews.org/>
15. База данных Association for Computing Machinery Digital Library -  
<https://dl.acm.org/about/content>
16. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
17. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
18. База данных Computers & Applied Sciences Complete (CASC) -  
<http://search.ebscohost.com>
19. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing -  
<http://search.ebscohost.com>
20. Журналы Institute of Physics (IOP), Великобритания - <https://iopscience.iop.org/>
21. Журналы научного общества Optical Society of America (OSA) -  
<https://www.osapublishing.org/about.cfm>

22. Патентная база Orbit Intelligence компании Questel - <https://www.orbit.com/>
23. Журналы издательства Oxford University Press - <https://academic.oup.com/journals/>
24. База данных диссертаций ProQuest Dissertations and Theses Global - <https://search.proquest.com/pqdtglobal/index>
25. Журналы Журналы Royal Society of Chemistry - <https://pubs.rsc.org/>
26. Журналы издательства SAGE Publication (Sage) - <https://journals.sagepub.com/>
27. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
28. Журналы научного общества Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Digital Library - <https://www.spiedigitallibrary.org/>
29. Коллекция журналов Taylor & Francis Group - <https://www.tandfonline.com/>
30. Журналы по химии Thieme Chemistry Package компании Georg Thieme Verlag KG - <https://www.thieme-connect.com/products/all/home.html>
31. Журналы издательства Wiley - <https://onlinelibrary.wiley.com/>
32. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
33. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
34. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
35. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
36. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
37. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
38. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
39. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>  
<http://docs.cntd.ru/>
40. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
41. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
42. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
43. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
44. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
45. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-407, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-409, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	3-105/5, Учебная лаборатория "ТОЭ"	стол учебный, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, компьютер персональный,

		кондиционер
	3-205а, Учебно-исследовательская лаборатория электромагнитного поля	стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, шкаф, экран интерактивный, мультимедийный проектор, лабораторный стенд, компьютер персональный
	3-402/10, Компьютерный класс каф. "ТОЭ"	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, экран интерактивный, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	Д-2(3), Лаборатория каф. "ТЭВН"	лабораторный стенд
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-407, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
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	3-203/5, Кабинет сотрудников каф. "ТОЭ"	стол, стул, шкаф
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	3-403/5б, Помещение каф. "ТОЭ"	стул, шкаф

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Моделирование высоковольтных электроустановок в электроэнергетике

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств (Домашнее задание)
- КМ-2 Защита лабораторной работы "Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения" (Лабораторная работа)
- КМ-3 Защита лабораторной работы "Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них" (Лабораторная работа)
- КМ-4 Защита лабораторной работы "Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов" (Лабораторная работа)
- КМ-5 Защита лабораторной работы "Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью" (Лабораторная работа)
- КМ-6 Формирование системы уравнений метода конечных элементов для расчета электрического поля в воздушном изоляционном промежутке (Домашнее задание)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	3	4	8	12	16	16
1	Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях							
1.1	Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях		+					
2	Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования							
2.1	Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования			+				
3	Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках							
3.1	Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках				+			
4	Широкополосные модели трансформаторного оборудования							
4.1	Широкополосные модели трансформаторного оборудования					+		

5	Математическое моделирование электрической дуги						
5.1	Математическое моделирование электрической дуги					+	
6	Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей						
6.1	Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей						+
Вес КМ, %:		10	20	20	20	20	10

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА  
КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Моделирование высоковольтных электроустановок в электроэнергетике

(название дисциплины)

**3 семестр**

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:**

- КМ-1 Проверка выполнения раздела 1
- КМ-2 Проверка выполнения раздела 2
- КМ-3 Проверка выполнения раздела 3

**Вид промежуточной аттестации – защита КР.**

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	8	12	14
1	Составление схемы замещения распределительного устройства 500 кВ. Расчет параметров широкополосных моделей силового трансформатора, токопровода и коммутационного оборудования		+		
2	Численное моделирование переходных процессов в обмотках трансформатора при коротких замыканиях в распределительном устройстве			+	
3	Определение возможности возникновения в трансформаторе высокочастотных резонансных перенапряжений и разработка рекомендаций по снижению вероятности их возникновения, опасных для изоляции трансформатора.				+
Вес КМ, %:			40	40	20