

**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: Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ С ВИЭ**

<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.21
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	6 семестр - 3;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	108 часов
<b>Лекции</b>	6 семестр - 28 часа;
<b>Практические занятия</b>	6 семестр - 14 часов;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	6 семестр - 65,7 часа;
<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>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	6 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Илюшин П.В.
	Идентификатор	R59377b9d-IliushinPV-8d3988a3

П.В. Илюшин

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Васьков А.Г.
	Идентификатор	R1c6ebe0f-VaskovAG-eb5ccd67

А.Г. Васьков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шестопалова Т.А.
	Идентификатор	Rca486bb1-ShestopalovaTA-2b9205

Т.А.  
Шестопалова

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с генерирующими установками на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), получение базовых навыков их расчета для последующего использования полученных знаний при оценке аварийных и аномальных режимов энергосистем.

### Задачи дисциплины

- изучение условий возникновения электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с генерирующими установками на основе ВИЭ;;
- приобретение навыков анализа статической и динамической устойчивости в энергосистемах с генерирующими установками на основе ВИЭ;;
- изучение основных методов расчёта электромагнитных переходных процессов при симметричных и несимметричных коротких замыканиях в энергосистемах с генерирующими установками на основе ВИЭ.

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 применять знание характеристик и особенностей электроэнергетических систем, способов производства, транспорта и использования электроэнергии	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Демонстрирует знание основных характеристик и особенностей электроэнергетических систем, способов производства, передачи, распределения электроэнергии и электроснабжения потребителей	знать: - основы теории электромеханических переходных процессов в энергосистемах с генерирующими установками на основе ВИЭ;; - основы теории электромагнитных переходных процессов для решения задач выбора электротехнического оборудования, устройств релейной защиты и автоматики;; - методы расчета токов симметричных и несимметричных КЗ; - методы расчета статической устойчивости;; - методы расчета динамической устойчивости;.  уметь: - выполнять расчеты токов симметричных и несимметричных КЗ для выбора электротехнического оборудования и устройств ограничения токов КЗ; - анализировать условия возникновения и физическую сущность нарушений статической и динамической устойчивости, а также выбирать способы их предотвращения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать теоретические основы электротехники
- знать основы электрических машин
- знать основы электрических станций и подстанций
- уметь строить векторные диаграммы токов и напряжений
- уметь преобразовывать сопротивления однолинейных электрических схем

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 3 зачетных единицы, 108 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	Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ	35.7	6	8	-	2	-	-	-	-	-	25.7	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 1-520 [7], 1-456
1.1	Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ	35.7		8	-	2	-	-	-	-	-	25.7	-	
2	Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ	38		12	-	6	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 1-236 [5], 1-396 [6], 1-415
2.1	Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ	38		12	-	6	-	-	-	-	-	20	-	

3	Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ	34	8	-	6	-	-	-	-	-	20	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [1], 1-568 [2], 1-34
3.1	Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ	34	8	-	6	-	-	-	-	-	20	-	
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>28</b>	<b>-</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>65.7</b>	<b>-</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>28</b>	<b>-</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>65.7</b>	<b>-</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. Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ

1.1. Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ

Цель курса и предмет изучения, связь с другими дисциплинами. Основные понятия и определения. Основные сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах и причинах их возникновения в энергосистемах с ВИЭ. Обзор аварий в энергосистемах и их последствий при возникновении недопустимых электромеханических и электромагнитных переходных процессов. Основные допущения, применяемые при исследовании электромеханических и электромагнитных переходных процессов. Понятие о расчетных условиях, параметрах схемы замещения и их преобразования.

### 2. Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ

2.1. Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ

Классификация электромеханических переходных процессов. Понятие о статической и динамической устойчивости в энергосистемах с ВИЭ. Классификация моделей нагрузки и их использование при выполнении расчетов. Статическая устойчивость. Векторные диаграммы и соотношения между параметрами. Характеристика мощности электропередачи с генераторами, оснащенными различными типами устройств АРВ. Критерии статической устойчивости. Определение коэффициента запаса статической устойчивости. Динамическая устойчивость. Электромеханические переходные процессы при больших возмущениях. Количественная оценка относительного движения ротора генератора. Правило площадей при работе генератора на шины бесконечной мощности. Численные методы решения нелинейных дифференциальных уравнений движения роторов генераторов системы: метод последовательных интервалов – модификация метода Эйлера, методы Рунге-Кутты и другие. Способы повышения динамической устойчивости. Электромагнитные переходные процессы. Действующие значения полных величин токов КЗ и их отдельных слагающих. Методы расчетов электромагнитных переходных процессов при симметричных и несимметричных КЗ. Расчеты начального сверхпереходного и ударного токов. Векторные диаграммы токов и напряжений в месте короткого замыкания..

### 3. Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ

3.1. Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ

Методы и средства предотвращения нарушений статической устойчивости: отключение или управление шунтирующими реакторами, принудительная кратковременная форсировка возбуждения синхронных генераторов, форсировка устройств продольной компенсации, снижающих суммарное реактивное сопротивление, применение устройств АПВ, разгрузка линий электропередачи за счет отключения генерирующих установок (ограничение выдачи мощности объектами ВИЭ) или управления их мощностью. Методы и средства предотвращения нарушений динамической устойчивости: применение централизованных комплексов и локальных устройств противоаварийной автоматики для обеспечения высокого коэффициента запаса динамической устойчивости энергосистемы с ВИЭ в послеаварийных режимах. Состав и назначение автоматики предотвращения нарушений устойчивости.

Методы ограничения токов КЗ: применение токоограничивающих реакторов; распараллеливание электрических цепей, отключение секционных и шиносоединительных выключателей; использование понижающих трансформаторов с расщеплённой обмоткой низкого напряжения; применение быстродействующих коммутационных аппаратов, в том числе с функцией токоограничения, а также быстродействующих устройств релейной защиты.

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

1. Схемы замещения фрагментов энергосистем с ВИЭ. Способы преобразования схем замещения;
2. Определение коэффициентов запаса статической устойчивости;
3. Определение предельного угла и времени локализации аварии;
4. Построение векторных диаграмм токов и напряжений в месте КЗ (симметричном; несимметричном), а также в отдельных ветвях и узлах, удаленных от точки КЗ.

### **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	
<b>Знать:</b>					
методы расчета динамической устойчивости;	ИД-1ПК-3		+		Контрольная работа/КМ-2. Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ
методы расчета статической устойчивости;	ИД-1ПК-3		+		Контрольная работа/КМ-2. Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ
методы расчета токов симметричных и несимметричных КЗ	ИД-1ПК-3		+		Контрольная работа/КМ-2. Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ
основы теории электромагнитных переходных процессов для решения задач выбора электротехнического оборудования, устройств релейной защиты и автоматики;	ИД-1ПК-3	+			Контрольная работа/КМ-1. Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ
основы теории электромеханических переходных процессов в энергосистемах с генерирующими установками на основе ВИЭ;	ИД-1ПК-3	+			Контрольная работа/КМ-1. Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ
<b>Уметь:</b>					
анализировать условия возникновения и физическую сущность нарушений статической и динамической устойчивости, а также выбирать способы их предотвращения	ИД-1ПК-3			+	Контрольная работа/КМ-3. Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ
выполнять расчеты токов симметричных и	ИД-1ПК-3			+	Контрольная работа/КМ-3. Методы и средства

несимметричных КЗ для выбора электротехнического оборудования и устройств ограничения токов КЗ					предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ
--	--	--	--	--	--

## **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. КМ-1. Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ (Контрольная работа)
2. КМ-2. Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ (Контрольная работа)
3. КМ-3. Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Зачет с оценкой (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. Крючков И.П. , Старшинов В.А. , Гусев Ю.П. - "Короткие замыкания и выбор электрооборудования", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2012 - (568 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72231](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72231);
2. Волкова, Н. Н. Расчет трехфазных коротких замыканий : методические указания по дисциплинам "Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах" и "Токи короткого замыкания" по направлению 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" / Н. Н. Волкова, М. А. Козина, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 34 с.  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=9994>;
3. Ульянов, С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах : учебник для электротехнических и энергетических вузов и факультетов / С. А. Ульянов . – 2-е изд., стер . – М. : Тид Арис, 2010 . – 520 с. - ISBN 978-5-904673-01-7 .;
4. А. П. Долгов- "Переходные электромеханические процессы электрических систем", Издательство: "Новосибирский государственный технический университет", Новосибирск, 2019 - (236 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574679>;
5. Переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник для вузов по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / И. П. Крючков, В. А. Старшинов, Ю. П. Гусев, М. В. Пираторов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 396 с. - Победитель Всероссийского конкурса рукописей учебной, научно-технической и справочной литературы по энергетике 2017 г. - ISBN 978-5-7046-1948-2 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10738>;

6. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах : Учебник для электроэнергетических специальностей вузов / В. А. Веников . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1978 . – 415 с.;
7. Жданов, П. С. Вопросы устойчивости электрических систем / П. С. Жданов ; Ред. Л. А. Жуков . – стереотип . – М. : Альянс, 2015 . – 456 с. - ISBN 978-5-91872-101-8 ..

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. GuPlanAC.

### 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. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Г-304, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, колонки звуковые, мультимедийный проектор, экран
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Г-307, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Г-307, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-304, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, колонки звуковые, мультимедийный проектор, экран
Помещения для самостоятельной работы	Г-206, Аспирантская кафедры "ГВИЭ"	кресло рабочее, стул, шкаф для документов, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Г-304, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, колонки звуковые, мультимедийный проектор, экран

Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Г-225, Кладовая кафедры "ГВИЭ"	стеллаж для хранения инвентаря, стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, набор инструментов для профилактического обслуживания оборудования, наборы демонстрационного оборудования, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, канцелярский принадлежности, запасные комплектующие для оборудования, сменные запчасти для ЭВМ
--	--------------------------------	---

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Переходные процессы в энергосистемах с ВИЭ

(название дисциплины)

#### 6 семестр

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

- КМ-1 КМ-1. Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ (Контрольная работа)
- КМ-2 КМ-2. Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ (Контрольная работа)
- КМ-3 КМ-3. Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ (Контрольная работа)

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

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	4	9	13
1	Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ				
1.1	Общие сведения об электромеханических и электромагнитных переходных процессах в энергосистемах с ВИЭ		+		
2	Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ				
2.1	Особенности моделирования и выполнения расчетов электромеханических и электромагнитных переходных процессов в энергосистемах с ВИЭ			+	
3	Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ				
3.1	Методы и средства предотвращения нарушений статической и динамической устойчивости, а также ограничения токов КЗ				+
Вес КМ, %:			30	40	30