

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ и ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Уральский энергетический институт

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

А.В. Германенко

20\_\_ г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Перечень сведений о рабочей программе дисциплины	Учетные данные
Программа аспирантуры Электроэнергетика	Код ПА 2.4.3
Группа специальностей Энергетика и электротехника	Код 2.4
Федеральные государственные требования (ФГТ)	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951
Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» №315/03 от 31.03.2022

Екатеринбург  
2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение	Подпись
1	Паздерин Андрей Владимирович	д.т.н., профессор	зав. кафедрой	Кафедра «Автоматизированные электрические системы» Уральский энергетический институт	
2	Тавлинцев Александр Сергеевич	к.т.н., доцент	доцент	Кафедра «Автоматизированные электрические системы» Уральский энергетический институт	
3	Верхозин Андрей Михайлович	-	старший преподаватель	Кафедра «Автоматизированные электрические системы» Уральский энергетический институт	
4	Стаймова Елена Дмитриевна	-	старший преподаватель	Кафедра «Автоматизированные электрические системы» Уральский энергетический институт	

Рекомендовано учебно-методическим советом Уральского энергетического института

Председатель учебно-методического совета  
Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

Н.В. Гредасова

Согласовано:

Начальник ОПНПК



Е.А. Бутрина

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

## 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Рабочая программа дисциплины составлена на основе Самостоятельно утвержденных требований (СУТ). Цель изучения дисциплины заключается в получении будущими исследователями теоретических и практических знаний по подготовке специалистов для разработки и использования компьютерных систем в науке и промышленности, для автоматизации инженерного труда и объектов электроэнергетики

## 1.2. Язык реализации дисциплины – русский.

## 1.3. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	4-й семестр
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия			
4.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	104	15,6	104
5.	Промежуточная аттестация		0,25	3
6.	Общий объем по учебному плану, час.	108	19,6	108
7.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

\*Контактная работа составляет:

в п/п 2,3, - количество часов, равное объему соответствующего вида занятий;

в п.4 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на консультации в группе (15% от объема аудиторных занятий).

в п.5 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на проведение соответствующего вида промежуточной аттестации одного аспиранта.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Принципы, методы и программы визуального (графического) программирования.	
P1.T1	Освоение ПК Simulink MATLAB. Моделирование трехфазного выпрямителя.	Программа <b>Simulink</b> – расширение программного пакета MATLAB. Создание модели устройства и выполнение расчетов. Контроль хода переходного процесса. Дополнительная библиотека блоков SimPowerSystems – моделирование электроэнергетических устройств. Моделирование трехфазного выпрямителя на ПК Simulink MATLAB. Three-Phase Rectifier (4 ч).
P1.T2	Моделирование	Моделирование статического компенсатора

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
	статического компенсатора реактивной мощности	реактивной мощности на 300 МВАр (Статком, SVC) на ПК Simulink MATLAB. A 300-Mvar Static Var Compensator (SVC) regulates voltage on a 6000-MVA 735-kV system (2 ч).
P1.T3	Моделирование системы регулирования перетоков мощности (СРПМ, UPFC) на ПК Simulink MATLAB	Моделирование системы регулирования перетоков мощности (СРПМ, UPFC) на ПК Simulink MATLAB. Модель «A Unified Power Flow Controller (UPFC) is used to control the power flow in a 500 kV transmission system» (2 ч).
P2	Системы управления и анализа режимов электрической системы и её элементов.	
P2.T1	Учет устройств FACTS, АРВ, возбуждителя и автоматики в расчетах устойчивости	Расчет электромеханических переходных процессов с учетом устройств FACTS, АРВ, возбуждителя и автоматики на ПК Rustab (2 ч)
P2.T2	Программы анализа файлов аварийных режимов	Программное обеспечение и интерфейсы связи в инфраструктуре энергосистемы. Интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ). Интеграция функций защиты, регулирования, мониторинга совместно с техникой локальных сетей и современными телекоммуникационными технологиями. Регистрация и анализ режимов ЭЭС. Регистраторы параметров ЭЭС. Программы анализа файлов аварийных режимов (2 ч)
P2.T3	Системы мониторинга и управления подстанцией	Системы сбора, обработки данных и управления процессами реального оборудования или его моделями. Датчики параметров режима оборудования. Аналоговые и цифровые датчики, оптические трансформаторы тока и напряжения (ОТТ и ОТН). Учет особенностей вторичных электрических сигналов. Система мониторинга и управления подстанцией (2 ч).
P3		
P3.T1	Система контроля и конфигурирования микропроцессорных защит	Интеллектуальная электрическая сеть, цифровые информационные и технологические автоматизированные системы, интеллектуальные электронные устройства. Серия стандартов МЭК 60870 и МЭК 61850. Протокол обмена данными в информационных системах по МЭК 61850. Система контроля и конфигурирования микропроцессорных защит фирмы Альстом (система S1), Siemens (система DIGSI) (2 ч).
P3.T2	АРМ эксплуатационных служб, АРМ РЗА проектировщика	Расчет токов КЗ и уставок РЗА. Выбор уставок защит и УРОВ. Согласование защит. Конфигурирование и параметрирование терминалов РЗА. Программные модели логики терминала НПО «ЭКРА». АРМ РЗА эксплуатации, АРМ РЗА проектировщика (2 ч).

### 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 3.1. Практические занятия

Не предусмотрено

#### 3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

Самостоятельная работа по темам в соответствии с разделом 2 настоящей рабочей программы

##### 3.2.1. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Не предусмотрено

##### 3.2.2. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено

### 4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 4.1. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
	изменяющейся ситуации	изменяющейся ситуации	
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 4.2. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

### 4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

- Приборы и оборудование научного и производственного назначения.
- Автоматическое и автоматизированное управление научным и производственным оборудованием.
- Интеграция систем автоматизации научного, исследовательского и производственного оборудования.
- Автоматизация труда на этапах разработки, изготовления и эксплуатации.
- Аппаратно-программная реализация средств автоматизации приборов и оборудования научного и производственного назначения.
- Системы сбора, обработки данных и управления процессами реального оборудования или его моделями.
- Автоматизация систем сбора, обработки данных и управления процессами.
- Датчики параметров режима оборудования. Первичные и вторичные датчики. Аналоговые и цифровые датчики, их достоинства и недостатки.
- Учет особенностей вторичных электрических сигналов, датчики тока и напряжения, ОТТ и ОТН.
- Уровни ввода-вывода информации (контроля режима и выполнения управляющих команд), нижних контуров управления, автоматизированного управления.
- Пакеты программ сбора данных и управления, разработанные для автоматизации технологических процессов.
- Реализация алгоритмов в процессорах цифровой обработки сигналов (ЦОС, DSP).
- Учет особенностей вторичных сигналов электротехнических устройств в алгоритмах.
- Инструментальные пакеты для описания логики работы систем промышленной автоматизации, приборов и оборудования научного и производственного назначения.
- Промышленные пакеты разработки систем автоматизации технологических процессов.
- SCADA-системы основных фирм (ABB, Siemens, Iconics, Advantech, Imagination Systems).
- Образная терминология, графический язык программирования LabVIEW, графические символы языков МЭК 1131-3.
- Образная терминология, графический язык программирования Matlab.
- Просмотр и обработка результатов моделирования, обработка графиков результатов моделирования.
- Стандарты представления данных на различных этапах обработки экспериментальной и технологической информации.

- Традиционные средства отображения результатов моделирования, эксперимента или режима объекта. Расширение состава и форм отображения состояния и режима приборов и оборудования научного и производственного назначения.
- Визуализация экспериментальных, расчетных и оперативных данных.
- Использование содержания и форм представления типовых режимов электроэнергетических систем в программах обработки аварийных режимов ЭС.
- Методы отображения опасных режимов (сечений) в сложных энергосистемах.
- Комплекс обработки телемеханической информации (КОТМИ), назначение, технические средства, программное обеспечение.
- Комплекс информационного обслуживания (КИО) диспетчерской службы энергетического предприятия. Назначение оперативно-информационного комплекса КИО, взаимодействие с телекомплексами.
- Состав и функции базового варианта КИО. Сервер оперативной обработки информации. Сигнальная система, подсистемы передачи информации в каналы телемеханики, отображения информации.
- Программный комплекс КОСМОС, назначение, состав задач, связь с телеметрической информацией.
- Основные задачи комплекса КОСМОС: формирование расчетной схемы; оценивание состояния; построение модели режима по расширенной схеме.
- Основные задачи комплекса КОСМОС: расчет установившихся и самоустанавливающихся по частоте режимов; утяжеление по заданным траекториям; оптимизация по реактивной мощности, подготовка данных для ЦПАА.
- Основные программные комплексы расчета и анализа установившихся режимов: RASTR, Rustab, DAKAR, Мустанг, КОСМОС. Общие характеристики программ.
- Общие требования к программным комплексам расчета и анализа электромагнитных переходных процессов, объем задач, обмен данными, управление работой комплекса, отображение результатов расчета.
- Основные программные комплексы расчета и анализа электромагнитных переходных процессов: DAKAR, ТКЗ 3000, РТКЗ, АнарЭС, ЕТАР PowerStation, NETOMAC.
- Отображение результатов расчета режима повреждения в программных комплексах расчета и анализа электромагнитных переходных процессов. Построение векторных диаграмм напряжений в узлах и токов ветвей схемы.
- Программные комплексы для расчета и анализа электромеханических переходных процессов, анализа статической и динамической устойчивости.
- Общие требования к программным комплексам расчета и анализа электромеханических переходных процессов, объем задач, обмен данными, управление работой комплекса, отображение результатов расчета.
- Общие требования к программным комплексам расчета и анализа электромеханических переходных процессов: внесение режимных и диспетчерских изменений в электрическую схему энергосистемы, учет систем релейной защиты и автоматического регулирования, статических характеристик по частоте и напряжению.
- Основные программные комплексы расчета и анализа электромеханических переходных процессов: Мустанг, Rustab DAKAR, АНАРЭС, PSSE, EUROSTAG, ЕТАР PowerStation, NETOMAC.
- Общие требования к программным комплексам расчета, анализа и задания уставок релейной защиты, объем задач, обмен данными, управление работой комплекса, отображение результатов расчета.
- Основные программные комплексы расчета, анализа и задания уставок релейной защиты: ТКЗ 3000, Tkz3000win, АРМ РЗА, РТКЗ, ЕТАР PowerStation, Power Plot.
- Программные комплексы расчета токов КЗ, задание вида и места КЗ, расчет и согласование уставок релейной защиты.

- Модификация алгоритма работы цифровых устройств РЗА в программных комплексах расчета, анализа и задания уставок релейной защиты. Анализ вычислительных ресурсов и способы занесения результатов в устройства РЗА.
- Испытательные системы. Повышение степени автоматизации проверки и обработки результатов испытаний. Уменьшение весогабаритных показателей. Моделирование различных режимов работы энергосистем при авариях. Воспроизведение реальных аварийных режимов.
- Регистрация аварийных процессов и режимов работы ЭЭС. Общие требования к аппаратуре и программному обеспечению, объем задач, обмен данными, управление работой, отображение результатов работы.
- Основные аппаратно-программные комплексы: АУРА, БРИЗ, Бреслер, РЭС-3, Парма РП4, Нева-Ос. Анализ и программы анализа записей регистраторов аварийных режимов.
- Автоматические регуляторы возбуждения и их влияние на переходный процесс.
- Моделирование изменения и регулирования частоты ЭЭС.
- Исследование характеристик асинхронного двигателя.
- Программная модель логики терминала защиты типа ШЭ 2607 016.
- Регистратор аварийных параметров электрического режима.
- Сбор данных от входных аналоговых сигналов.

#### **4.2.2. Перечень примерных вопросов для экзамена**

Не предусмотрено

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

### **5.1. Рекомендуемая литература**

#### **5.1.1. Основная литература**

- Орлов А.И. Вероятность и прикладная статистика. Основные факты – М.: Кно-рус, 2010. – 192 с. ISBN 978-5-406-00173-8.
- Л.К.Коньшева, Д.М.Назаров. Основы теории нечётких множеств. 192 с., 2011, ISBN: 978-5-459-00735-0.
- В.К. Шабад Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. Учебное пособие для вузов, Академия, 192 с., 2013, ISBN:9785769598227.
- Э.Я.Рапопорт. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами. Высш. Шк. 2009 ISBN: 9785060060546

#### **5.1.2. Дополнительная литература**

- Г.И.Марчук. Методы вычислительной математики: учеб. пособие. Лань, 2009, 608 с. ISBN: 9785811408924.
- И.В.Черных. "Simulink: Инструмент моделирования динамических систем" –М.: НТФ "Энергопресс", 2007г.
- Микропроцессорные гибкие системы релейной защиты.- М,: Энергоатомиздат, 1988г.
- Башнин О.И., Буевич В.В., Каштелян В.Е. и др. Микропроцессоры в энергетике. - Л.: Наука, 1982,
- Миронов Э. Г. Датчики Учеб. пособие/Науч. ред. Н.П. Бессонов; Урал. гос. техн. ун-т, Междунар. ин-т дистанционного образования (МИДО).-Екатеринбург:МИДО,1999.-98 с.
- Юрганов С.А. Автоматическое регулирование возбуждения. -Л.: Наука, 1996.
- Электрические системы. Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов./ Под ред. В.А.Веникова. - М.: Высшая школа,1973,



- Автоматизация управления энергообъединениями./ Под ред. С.А.Совалова - М.: Энергия, 1979.
- В.И. Пуляев, Ю.В. Усачев. Цифровые регистраторы аварийных событий энергосистем", - М., НТФ "Энергопресс", 1999г.

### **5.2. Методические разработки**

- Требования к содержанию и оформлению выпускных квалификационных работ и курсовых проектов: методические указания к дипломному и курсовому проектированию. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006.

### **5.3. Программное обеспечение**

- Операционная система Windows XP.
- Пакет Microsoft Office 2010 Professional.
- Программные комплексы для расчета установившихся и динамических режимов ЭЭС «Rastr», «Rustab», анализа структурной и режимной надежности «Струна», «Анарез», моделирования динамических систем Matlab, анализа аварийных режимов «Бриз», «Аура», «РЭС-3», имитации режима работы логической части устройств РЗА, инструментальной системы «Ретом».

### **5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Не предусмотрено

### **5.5. Электронные образовательные ресурсы**

- <http://msdn.microsoft.com>
- <http://www.gotdotnet.ru>
- <http://www.rsdn.ru>
- <http://study.ustu.ru>
- <http://lib.urfu.ru/>

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для проведения лекций требуется мультимедийная аудитория, для лабораторных работ – компьютерный класс с выходом в интернет.

### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Компьютерные классы в аудиториях Э-311 и Э-316, общим количеством 18 компьютеров Pentium IV Core 2, объединённые в локальную сеть.