

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**  
**СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ МАТЕМАТИКИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

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 СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ МАТЕМАТИКИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ

## 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии 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	Введение	Место дисциплины в учебном плане, структура курса. Особенности задач, решаемых при проектировании и эксплуатации электрических станций и систем, их классификация. Режимы работы электрических систем, их расчеты.
P2	<b>Математическое описание установившихся режимов электрических систем</b>	
P2.T1	Типы матриц и их свойства.	Характерные типы матриц, используемых в электроэнергетике. Матрицы: Адамара, Ганкеля, Гильберта, Паскаля, Теплица, Уилкинсона. Их свойства. Матричные функции. Обращение матриц.

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P2.T2	Матричные операции линейной алгебры.	Операции с матрицами. Алгоритмы вычисления обратной матрицы. Запись систем линейных уравнений в матричной форме. Решение систем линейных уравнений. Вычисление чисел обусловленности матрицы. Определитель и ранг матрицы. Определение: векторной и матричной норм; ортонормального базиса матрицы; угла между двумя подпространствами; следа матрицы; собственных значений и сингулярных чисел.
P2.T3	Матричные преобразования	Функции приведения матрицы к треугольной форме. Разложение Холесского. LU и QR разложения. Приведение матриц к форме Шура и Хессенберга.
P2.T4	Функции разреженных матриц	Элементарные разреженные матрицы. Преобразование разреженных матриц. Работа с ненулевыми элементами разреженных матриц. Визуализация разреженных матриц. Алгоритмы упорядочения. Норма, число обусловленности и ранг разреженных матриц. Вычисление собственных значений и сингулярных чисел разреженных матриц.
P2.T5	Матричные преобразования в задачах электроэнергетики	Линейная аппроксимация нелинейных целевых функций и систем ограничений в задачах оптимального распределения нагрузки и потоков мощности в электрических сетях. Линеаризация нелинейных систем дифференциальных уравнений при анализе переходных процессов в электрических системах. Алгоритмы решения матричных задач электроэнергетики.
<b>P3</b>	<b>Линейные преобразования пространства</b>	
P3.T1	Понятия и определения	Линейное преобразование и его связь с матрицей. Собственные числа, собственные векторы и нормы матрицы. Геометрический смысл вырожденного линейного преобразования.
P3.T2	Точность решения	Точность решения систем линейных уравнений и обусловленность матрицы. Число обусловленности. Оценка погрешности решения систем линейных уравнений.
<b>P4</b>	<b>Решение систем нелинейных уравнений итерационными методами</b>	
P4.T1	Понятия, определения	Классификация итерационных методов. Рекуррентные преобразования. Ускорение сходимости. Методы спуска.
P4.T2	Решение одного нелинейного уравнения	Решение одного нелинейного уравнения: неоднозначность, сходимоть, критерии сходимости. Вычисление нулей функции одной переменной
P4.T3	Графическая иллюстрация	Графическая иллюстрация итерационного процесса
P4.T4	Решение нелинейных систем уравнений узловых напряжений	Векторная запись систем нелинейных уравнений. Функция невязок (небалансов). Разложение вектора-функции в ряд Тейлора. Метод Ньютона. Метод Z-матрицы. Метод сопряженных градиентов. Двухнаправленный метод сопряженных градиентов.

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
		Метод оптимизации обобщенной невязки. Квазиминимизация невязки.
<b>P5</b>	<b>Линейное и нелинейное программирование</b>	
P5.T1	Определение математического программирования	Характерные оптимизационные задачи электроэнергетики. Элементы выпуклого анализа. Общая задача математического программирования. Возможные направления оптимизации. Линейное и нелинейное программирование.
P5.T2	Линейное программирование	Общая и стандартная задача линейного программирования, ее математическая запись и алгоритмы решения. Транспортная задача. Симплекс-алгоритм: постановка, выражение зависимых переменных через независимые, смена базиса. Геометрическая интерпретация. Вспомогательная задача линейного программирования, решение, анализ и использование результата как начального допустимого базисного решения. Солверы линейного программирования.
P5.T3	Нелинейное программирование	Задачи нелинейного программирования, ее математическая запись и алгоритмы решения. Экстремальные свойства на выпуклых множествах. Достаточные условия оптимальности. Функция Лагранжа. Условие оптимальности. Метод штрафных функций. Релаксационные методы решения экстремальных задач. Релаксационные процессы. Метод сопряженных направлений. Методы: проекции градиента; условного градиента; возможных направлений; статистической оптимизации. Вопросы устойчивости и сходимости. Солверы нелинейного программирования.
<b>P6</b>	<b>Методы решения дифференциальных уравнений</b>	
P6.T1	Линейные дифференциальные уравнения	Линейные дифференциальные уравнения. Решение системы линейных дифференциальных уравнений. Понятие устойчивости. Существующие солверы обыкновенных дифференциальных уравнений. Дискрипторная поддержка опций солверов. Пакет Partial Differential Equations Toolbox.
P6.T2	Нелинейные дифференциальные уравнения	Решение нелинейных дифференциальных уравнений. Численные методы. Метод Эйлера. Метод Рунге-Кутта. Метод Адамса-Баффорта.
<b>P7</b>	<b>Линейные преобразования пространства</b>	
P7.T1	Нечеткие множества	Основные понятия теории нечетких множеств. Основные операции. Функция принадлежности. Логика принятия решения. Схема управления на основе нечеткой логики. Применение теории нечетких множеств для решения задач электроэнергетики.
P7.T2	Искусственные нейронные сети	Сущность нейронных сетей. Биологический нейрон: Сомы; Аксон; Синаптические контакты; Аксонный холмик; Дендриды. Особенности нейросетевого

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
		моделирования. Функции активации. Многослойные сети: прямого распространения; Кохонена; Хопфильда; Хопфильда-Лагранжа. Обучение ИНС Синтез нейронной сети. Аппаратная поддержка нейросетевых моделей. Использование ИНС для выбора оперативных переключений и оценки состояния ЭЭС. Расчеты установившихся режимов ЭЭС с использованием ИНН. Прогнозирование нагрузки. Солверы ИНН.
Р7.Т3	Генетический алгоритм	Математическая сущность генетического алгоритма. Функция пригодности. Хромосома. Отбор популяции. Скрещивание. Мутация. Примеры использования генетических алгоритмов при решении задач электроэнергетики. Солверы ГА.
Р8	Заключение	Обзор научно-технических проблем электроэнергетики, использующих изученные математические методы

### 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	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
	различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	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 изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<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

- Основные понятия и определения. Электрическая система. Установившийся режим (УР). Параметры УР. Уравнения установившегося режима (УУР) (понятие).
- Классификация УУР: по способу задания параметров и по законам записи уравнений.
- Уравнения узловых напряжений (УУН) для произвольного узла (вывод).
- УУН сети постоянного тока в форме баланса токов узлов.
- УУН сети постоянного тока в форме баланса мощностей узлов.
- УУН сети переменного тока в форме баланса токов (комплексные и вещественные, линейные).
- Нелинейные УУН сети переменного тока в форме баланса токов.
- Нелинейные алгебраические УУН сети переменного тока в форме баланса мощностей.
- Нелинейные тригонометрические УУН в форме баланса мощностей.
- Математическая модель сети, содержащей узлы с фиксированным модулем напряжения.
- Классификация методов решения СЛАУ.
- Метод обратной матрицы для решения СЛАУ.

- Простейший метод Гаусса для решения СЛАУ.
- Метод триангуляции: идея, макроалгоритм.
- Триангуляция матрицы проводимостей методом исключения узлов. Оптимальное (упорядоченное) исключение узлов.
- Приложение метода триангуляции: вычисление обратной матрицы и определителя.
- Решение СЛУ со слабой главной диагональю с выбором главного элемента.
- Постановка задачи математического программирования.
- Общая задача линейного программирования на примере транспортной задачи энергетики.
- СЗЛП. Основные идеи ее решения.
- Геометрическая интерпретация симплекс - алгоритма.
- Симплекс-алгоритм решения СЗЛП.
- Вспомогательная задача
- Двойственная задача линейного программирования.
- Макроалгоритм решения ОЗЛП.
- Приведение ОЗЛП к стандартному виду: избавление от функциональных ограничений неравенств и простых ограничений неравенств.
- Собственные числа, векторы, нормы матрицы.
- Понятие итерационных методов и их классификация.
- Достоинства, недостатки и проблемы итерационных методов.
- Решение СЛУ итерационными методами: общий подход.
- Методы простой итерации и Гаусса-Зейделя для решения СЛУ.
- Ускорение сходимости методов простой итерации и Зейделя
- Решение систем нелинейных УУН: постановка задачи и классификация методов.
- Метод Ньютона для решения системы нелинейных УУН. Модифицированный метод.
- Методы спуска для решения систем нелинейных УУН. Оптимальный шаг в направлении вектора приращений.
- Градиентные методы спуска с оптимальным шагом.
- Преобразование разреженных матриц. Работа с ненулевыми элементами разреженных матриц.
- Алгоритмы упорядочения разреженных матриц.
- Норма, число обусловленности и ранг разреженных матриц. Вычисление собственных значений и сингулярных чисел разреженных матриц.
- Линейная аппроксимация нелинейных целевых функций и систем ограничений в задачах оптимизации.
- Линеаризация нелинейных систем дифференциальных уравнений при анализе переходных процессов в электрических системах.
- Характерные оптимизационные задачи электроэнергетики.
- Функция Лагранжа. Условие оптимальности.
- Релаксационные методы решения экстремальных задач. Релаксационные процессы. Метод штрафных функций. Метод сопряженных направлений. Методы: проекции градиента; условного градиента; возможных направлений; статистической оптимизации.
- Сольверы нелинейного программирования
- Проблемы устойчивости и сходимости.
- Основные понятия теории нечетких множеств. Функция принадлежности.
- Применение теории нечетких множеств для решения задач электроэнергетики.
- Сущность нейронных сетей. Особенности нейросетевого моделирования. Функции активации.
- Многослойные сети: прямого распространения; Кохонена; Хопфильда; Хопфильда-Лагранжа.
- Обучение ИНС Синтез нейронной сети.



- Расчеты установившихся режимов ЭЭС с использованием ИНН. Прогнозирование нагрузки.
- Сольверы ИНН.
- Математическая сущность генетического алгоритма. Хромосома.
- Отбор популяции. Скрещивание. Мутация.
- Примеры использования генетических алгоритмов при решении задач электроэнергетики.
- Сольверы ГА.

#### **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**

1. Математические задачи энергетики: Учебное пособие / И.Л. Кирпикова, В.П. Обоскалов. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2012. 167с.

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

1. Электрические системы. Математические задачи энергетики. Учебник. / Под ред. В.А. Веникова. М.: Высшая школа, 1981. 288 с.
2. М.Базара, К.Шетти. Нелинейное программирование – М.:Мир 1982. 583 с.
3. Карманов В.Г. Математическое программирование – М.:Наука,1980. 80с.
4. Манов Н.А., Чукреев Ю.Я., Успенский М.И. и др. Новые информационные технологии в задачах оперативного управления Электроэнергетическими системами. – Екатеринбург: УРО РАН. 2002. 205 с.
5. Растрингин Л.А. Статистические методы поиска – М.:Наука. 1968. 376 с.
6. Мальцев А.И. Основы линейной алгебры М.: Наука. 1970. 400 с.

#### **5.2. Методические разработки**

Не предусмотрено

#### **5.3. Программное обеспечение**

Пакеты программ «Excel», «MathCad», «MatLab», «Mathematica».

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

Не предусмотрено

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

- <http://study.ustu.ru>
- Зональная научная библиотека <http://library.urfu.ru/>
- Каталоги библиотеки <http://library.urfu.ru/about/department/catalog/rescatalog/>
- Электронный каталог <http://library.urfu.ru/resources/ec/>
- Ресурсы <http://library.urfu.ru/resources>

### **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.