

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ

Директор института энергетики, информационных
технологий и управляющих систем

канд. техн. наук, доцент А. В. Белоусов

« _____ » _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

направление подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

профиль подготовки

Электроснабжение

Квалификация

бакалавр

Форма обучения

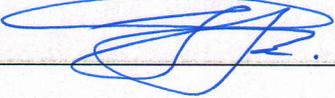
очная

**Институт энергетики, информационных технологий и управляющих систем
Кафедра электроэнергетики и автоматики**

Белгород – 2022

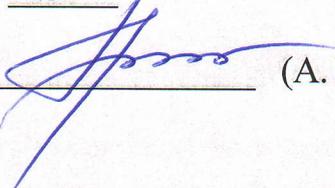
Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 144 от 28 февраля 2018 г.;
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В. Г. Шухова в 2022 году.

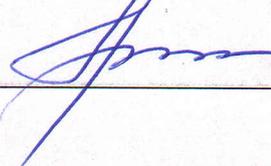
Составитель: канд. техн. наук  (Д. А. Прасол)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры электроэнергетики и автоматике

« 26 » апреля 2022 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  (А. В. Белоусов)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой электроэнергетики и автоматике

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  (А. В. Белоусов)

« 26 » апреля 2022 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики, информационных технологий и управляющих систем

« 28 » апреля 2022 г., протокол № 2

Председатель: канд. техн. наук, доцент  (А. Н. Семернин)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
профессиональная	ПК-1. Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.	ПК-1.8. Использует математический аппарат при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем.	Знания математического аппарата классической и прикладной математики, применяемого для решения задач электроэнергетики. Умения производить расчеты по методикам классической и прикладной математики для решения задач электроэнергетики. Навыки применения математического аппарата при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1. Компетенция ПК-1. Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Инженерная экология
2	Математические основы теории управления
3	Электроснабжение цеховых электроприемников
4	Электроснабжение промышленных предприятий
5	Электроснабжение
6	Экономика энергетики
7	Переходные процессы в электроэнергетических системах
8	Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем
9	Проектирование систем электроснабжения жилых зданий
10	Проектирование систем электроснабжения административных и общественных зданий
11	Электрические станции и подстанции
12	Электроэнергетические системы и сети
13	Автоматизированные системы диспетчерского управления
14	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зач. единицы, 144 часа.

Форма промежуточной аттестации диф. зачет (4 семестр).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины, час	144	144
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	71	71
лекции	34	34
лабораторные	-	-
практические	34	34
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	3	3
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	73	73
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	-	-
Расчетно-графическое задание	18	18
Индивидуальное домашнее задание	-	-
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	55	55
Экзамен	-	-

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Наименование тем, их содержание и объем Курс 2 Семестр 4

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная ра- бота на подготовку к аудиторным заня-
1. Введение в дисциплину «Математические задачи электроэнергетики»					
1.1.	Введение. Основные определения. Роль математики. Особенности прикладной математики. Некоторые сведения об электрических системах. Построение моделей. Правдоподобие, адекватность, математические ошибки.	2	–	–	2
2. Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем					
2.1.	Роль расчетов установившихся режимов. Общие сведения о схемах замещения. Методы и алгоритмы аналитического описания схем замещения ЭЭС. Составление схем замещения ЭЭС. Элементы теории графов. Матрицы соединений. Основные матрицы схем замещения. Основы теории матриц.	2	4	–	5
2.2.	Уравнения установившихся режимов ЭЭС. Узловые уравнения. Узловые уравнения в алгебраической форме. Узловые уравнения в матричной форме. Узловые уравнения в полярной форме. Контурные уравнения.	2	4	–	5
2.3.	Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС. Точные методы решения уравнений установившихся режимов. Метод обратной матрицы и метод Гаусса. Триангуляция матрицы коэффициентов.	2	4	–	5
2.4	Итерационные методы решения уравнений установившихся режимов. Общая схема итерационных методов и алгоритмов решения систем линейных уравнений. Метод простой итерации. Метод Зейделя решения СЛАУ. Вычислительная эффективность итерационных методов решения СЛАУ. Применение метода Зейделя для решения нелинейных узловых уравнений. Метод Ньютона. Алгоритм метода Ньютона решения нелинейных узловых уравнений. Сходимость итерационных методов при расчете установившихся режимов. Собственные значения матрицы. Нормы матрицы. Сходимость итерационных методов решения СЛАУ. Сходимость решения узловых уравнений. Ускорение сходимости итерационных методов. Общие выводы по итерационным методам расчета установившихся режимов.	4	4	–	6
3. Элементы теории вероятностей в задачах электроэнергетики					
3.1.	Природа случайных явлений. Формулы комбинаторики. Перестановки. Размещения. Сочетания. Случайные события. Классификация случайных событий. Алгебра событий. Произведение событий. Сумма событий. Свойства операций сложения и умножения событий.	2	–	–	2

3.2.	Вероятность событий. Понятие вероятности событий. Геометрический подход к вычислению вероятности по классической формуле. Теорема умножения вероятностей. Понятие условной вероятности. Теорема сложения вероятностей. Формула полной вероятности. Формула Байеса. Схема повторных испытаний. Формула Бернулли. Локальная теорема Муавра-Лапласа. Интегральная теорема Муавра-Лапласа. Теорема Пуассона. Простейший поток событий.	3	–	–	3
3.3.	Случайные величины. Классификация случайных величин. Понятие о распределении случайной величины. Дискретные СВ. Непрерывные СВ. Функция распределения случайной величины. Плотность распределения случайной величины. Интегральные формулы полной вероятности и Байеса. Математическое ожидание случайной величины. Дисперсия случайной величины. Многомерные СВ. Функция и плотность распределения многомерных СВ. Независимость одномерных СВ. Числовые характеристики многомерных СВ.	3	3	–	4
4. Методы анализа переходных режимов электроэнергетических систем					
4.1.	Общие сведения о переходных режимах. Понятие устойчивости ЭЭС.	2	3	–	4
4.2.	Задача анализа статической устойчивости ЭЭС. Математическая формулировка задачи. Метод первого приближения Ляпунова. Практические критерии устойчивости. Определение характера движения возмущенной системы. Необходимое и достаточное условие статической устойчивости. Алгебраический критерий устойчивости Гурвица.	2	3	–	4
4.3.	Задача анализа динамической устойчивости ЭЭС. Упрощенный анализ динамической устойчивости, её практические критерии. Количественный анализ динамической устойчивости. Метод последовательных интервалов. Метод Рунге-Кутта четвертого порядка. Метод Рунге-Кутта четвертого порядка для решения ДУ высшего порядка.	2	3	–	4
5. Оптимизационные задачи электроэнергетики					
5.1.	Основные понятия и определения. Исходная информация. Математическая модель. Методы решения оптимизационных задач. Выполнение вычислений. Анализ оптимизационной задачи.	2	–	–	2
5.2.	Линейные оптимизационные задачи. Графическое решение задачи линейного программирования. Алгебраические преобразования систем линейных уравнений. Симплекс-метод.	2	2	–	3
5.3.	Транспортные задачи электроэнергетики. Постановка транспортной задачи. Получение допустимого решения. Распределительный метод. Метод потенциалов. Учет пропускной способности линий. Транспортная задача с транзитом мощности.	2	2	–	3
5.4.	Нелинейные оптимизационные задачи. Общие положения. Графическая иллюстрация задачи нелинейного программирования. Градиентные методы. Метод неопределенных множителей Лагранжа. Задача оптимального распределения активной мощности в энергосистеме. Задачи оптимального распределения компенсирующих устройств в системах электроснабжения.	2	2	–	3
	ВСЕГО	34	34	–	55

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
семестр № 4				
1.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Применение математических моделей для расчета и анализа режимов электроэнергетических систем.	2	2
2.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Формирование системы уравнений узловых напряжений. Решение систем уравнений.	2	2
3.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Запись уравнений установившегося режима при различных формах задания исходных данных.	3	3
4.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Изучение различных методов решения уравнений состояния электрической системы.	3	3
5.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Расчёт установившегося режима системы при помощи программы RS-3.	3	3
6.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Решение нелинейных уравнений в среде Mathcad.	3	3
7.	Элементы теории вероятностей в задачах электроэнергетики.	Решение вероятностных задач обеспечения заданной надежности систем электроэнергетики.	3	3
8.	Методы анализа переходных режимов электроэнергетических систем	Расчеты устойчивости электрических систем.	3	3
9.	Методы анализа переходных режимов электроэнергетических систем	Расчеты переходных процессов в линейных электрических цепях.	3	3
10.	Методы анализа переходных режимов электроэнергетических систем	Расчеты переходных процессов в электрических цепях с учетом нелинейности.	3	3
11.	Оптимизационные задачи электроэнергетики	Решение задач оптимизации электрических систем методами нелинейного математического программирования.	3	3
12.	Оптимизационные задачи электроэнергетики	Построение системы электроснабжения оптимальной конфигурации.	3	3
ИТОГО:			34	34
ВСЕГО:			34	34

4.3. Содержание лабораторных занятий

Лабораторные занятия учебным планом не предусмотрены.

4.4. Содержание курсового проекта/работы

Курсовая проект/работа учебным планом не предусмотрена.

4.5. Содержание расчетно-графического задания

Учебным планом предусмотрено РГЗ, посвященное расчету наиболее оптимальной схемы электроснабжения потребителей. Задание сформировано с целью приобретения студентами способностей проектирования и оптимизации схемы электроснабжения по заданной методике.

В расчетно-графическом задании необходимо выполнить расчет наиболее оптимальной схемы электроснабжения потребителей на основе исходных данных.

Исходными данными для выполнения РГЗ являются расстояния от пяти потребителей до трех понизительных подстанций П1 - 35/10 кВ, П2 - 110/35/10 кВ, П3 - 110 кВ. Длины линий приведены в табл. 1. Так же даны значения стоимости передачи электрической энергии по ЛЭП от П1, П2 и П3 -соответственно c_1 , c_2 и c_3 . Значения удельной стоимости передачи приведены в табл. 2. Активная мощность каждого из потребителей дана в табл. 3. Максимальная мощность, которая может быть отпущена с шин каждой из подстанций соответственно равна: $P_{1\text{ макс}}$, $P_{2\text{ макс}}$ и $P_{3\text{ макс}}$, эти значения приведены в табл. 4.

Таблица 1

Расстояния от потребителей до понизительных подстанций

Линия	Л1П1	Л1П2	Л1П3	Л2П1	Л3П1	Л4П1	Л5П1
Длина, км	34	44	36	37	42	41	39

Таблица 2

Максимальная активная мощность понизительных подстанций

P1	P2	P3
59 МВт	57 МВт	64 МВт

Таблица 3

Удельная стоимость передачи электроэнергии

C1	C2	C3
0,017 руб/км	0,106 руб/км	0,012 руб/км

Таблица 4

Мощности нагрузок

P1	P2	P3	P4	P5
23 МВт	25 МВт	24 МВт	23 МВт	23 МВт

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1. Компетенция ПК-1. Способен участвовать в проектировании систем электропитания объектов.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-1.8. Использует математический аппарат при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем.	Диф. зачет, расчетно-графическое задание, собеседование.

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация осуществляется в конце **4-го семестра** после завершения изучения дисциплины в форме **диф. зачета**.

Вопросы для подготовки к диф. зачету

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1.	Введение в дисциплину «Математические задачи электроэнергетики»	1.1. Основные понятия и определения. Предмет и задачи дисциплины. 1.2. Роль математики в задачах электроэнергетики. 1.3. Особенности прикладной математики. 1.4. Построение математических моделей. 1.5. Модели основных элементов энергетической системы и системы в целом. 1.6. Внешнее и внутреннее правдоподобие модели.
2.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	2.1. Основные электроэнергетические задачи, роль компьютерного и математического моделирования в их решении. Составление схемы замещения как один из этапов математического моделирования ЭЭС. Схемы замещения элементов ЭЭС, принимаемые при расчетах установившихся режимов, и определение их параметров. 2.2. Назначение, структура и порядок составления направленного графа ЭЭС. Соответствие графа ЭЭС уравнениям, составленным для неё по законам Кирхгофа. Назначение (область применения) и порядок составления основных матриц соединения. Назначение (область применения) и порядок составления основных матриц схем замещения ЭЭС. Их связь с основными матрицами соединений. 2.3. Линейные и нелинейные системы узловых уравнений установившихся режимов ЭЭС в матричной, алгебраической и полярной форме. Область применения, достоинства и недостатки различных форм записи узловых уравнений. Контурные уравнения, их область применения, достоинства и недостатки в сравнении с узловыми уравнениями. 2.4. Классификация точных методов решения уравнений установившихся режимов ЭЭС, их суть и алгоритмы, области применения, достоинства и недостатки. Основные достоинства и недостатки точных методов по сравнению с итерационными. 2.5. Классификация итерационных методов решения уравнений установившихся режимов ЭЭС, общая схема итерационных методов решения систем линейных уравнений. Основные достоинства и недостатки точных методов по сравнению с итерационными.

		<p>2.6. Метод простой итерации, его суть, алгоритм, область применения, достоинства и недостатки, сходимость и вычислительная эффективность.</p> <p>2.7. Метод Зейделя решения СЛАУ, его суть, алгоритм, область применения, достоинства и недостатки, сходимость и вычислительная эффективность.</p> <p>2.8. Вычислительная эффективность итерационных методов решения СЛАУ.</p> <p>2.9. Метод Зейделя решения систем нелинейных уравнений, его суть, алгоритм, область применения, достоинства и недостатки, сходимость и вычислительная эффективность.</p> <p>2.10. Метод Ньютона решения систем нелинейных узловых уравнений, его суть, алгоритм, область применения, достоинства и недостатки, сходимость и вычислительная эффективность.</p> <p>2.11. Сходимость итерационных методов при расчете установившихся режимов ЭЭС, её оценка по собственным числам и нормам матриц, характеризующих решаемую систему уравнений. Особенности сходимости решения узловых уравнений. Ускорение сходимости итерационных процессов.</p>
3.	<p>Методы анализа переходных режимов электроэнергетических систем</p>	<p>3.1. Причины переходных процессов, их классификация и математическое описание переходных режимов. Понятие качества переходного процесса. Понятие устойчивости ЭЭС, её виды. Физическая картина (в общих чертах) потери устойчивости генераторов и нагрузки. Общая форма записи уравнений переходного режима.</p> <p>3.2. Статическая устойчивость ЭЭС. Аперiodическая и периодическая неустойчивость ЭЭС. Физическая и математическая формулировки задачи анализа статической устойчивости ЭЭС. Вид уравнений состояния ЭЭС при анализе статической устойчивости методом малых отклонений. Анализ статической устойчивости ЭЭС по корням её характеристических уравнений. Метод первого приближения Ляпунова.</p> <p>3.3. Упрощенный анализ статической устойчивости ЭЭС. Определение критического режима ЭЭС по главному определителю системы уравнений её переходного режима. Практические критерии устойчивости. Область применения, достоинства и недостатки упрощенного анализа статической устойчивости.</p> <p>3.4. Определение характера изменения параметров режима возмущенной системы по корням характеристического уравнения, составленного по характеристическому определителю. Выявление периодической и аперiodической неустойчивости по виду этих корней. Необходимое и достаточное условие статической устойчивости.</p> <p>3.5. Алгебраические критерии статической устойчивости. Критерий Гурвица.</p> <p>3.6. Динамическая устойчивость ЭЭС. Физическая и математическая формулировки задачи анализа динамической устойчивости ЭЭС. Вид уравнений состояния ЭЭС при анализе динамической устойчивости. Упрощенный анализ динамической устойчивости способом площадей. Практические критерии динамической устойчивости. Область применения, достоинства и недостатки упрощенного анализа динамической устойчивости.</p> <p>3.7. Анализ динамической устойчивости с определением характера изменения параметров переходного режима. Область применения, суть, алгоритм, достоинства и недостатки метода последовательных интервалов.</p> <p>3.8. Количественный анализ переходного режима методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Его область применения, достоинства и недостатки.</p>
4.	<p>Элементы теории вероятностей в задачах электроэнергетики</p>	<p>4.1. Понятие и природа случайных явлений. Примеры опытов со случайным исходом. Применение формул комбинаторики для вы-</p>

		<p>числения количества всевозможных исходов опыта. Понятие, классификация и примеры случайных событий. Графическое представление случайных событий с учетом их классификации.</p> <p>4.2. Алгебра событий. Сложение и умножение событий. Смысл суммы и произведения событий. Примеры на сложение и умножение случайных событий в ЭЭС. Свойства операций алгебры событий. Применение графического представления при определении сложного события через более простые с учетом их классификации.</p> <p>4.3. Понятие и свойства вероятности событий. Статистическое и классическое определения вероятности, их области применения. Геометрический подход к вычислению вероятности по классической формуле, его суть и область применения, примеры.</p> <p>4.4. Теоремы сложения и умножения вероятностей случайных событий с учетом их классификации. Примеры на применение этих теорем, касающиеся ЭЭС.</p> <p>4.5. Понятия гипотез и условной вероятности. Формулы полной вероятности и Байеса, их взаимосвязь и области применения. Примеры на эти формулы, касающиеся ЭЭС.</p> <p>4.6. Схема повторных испытаний, её суть, область применения и примеры в электроэнергетике. Точная формула определения вероятности появления случайного события в m из n повторных испытаний, её область применения, достоинства и недостатки.</p> <p>4.7. Асимптотические формулы определения вероятности появления случайного события в m опытах из n в схеме повторных испытаний, их области применения, достоинства и недостатки.</p> <p>4.8. Формулы точного и приближенного вычисления вероятности появления случайного события в диапазоне от m_1 до m_2 опытах из n в схеме повторных испытаний, их области применения, достоинства и недостатки.</p> <p>4.9. Понятие, свойства и примеры простейшего потока событий. Вероятность появления m событий простейшего потока A на заданном отрезке времени.</p> <p>4.10. Понятие, классификация и примеры случайных величины. Связь между случайной величиной и случайным событием.</p> <p>4.11. Понятие, классификация и примеры законов распределения случайных величин. Их свойства, области применения, достоинства и недостатки.</p> <p>4.12. Основные виды распределений случайных величин, встречающиеся на практике.</p> <p>4.13. Интегральные формулы полной вероятности и Байеса. Их область применения.</p> <p>4.14. Основные числовые характеристики случайных величин, их прикладной смысл и формулы для их определения с учетом классификации СВ. Свойства числовых характеристик СВ. Примеры в электроэнергетике на числовые характеристики случайных величин.</p> <p>4.15. Понятие многомерной случайной величины. Законы распределения многомерных СВ, их свойства. Условие независимости одномерных СВ.</p> <p>4.16. Числовые характеристики многомерных случайных величин, их смысл и свойства.</p> <p>4.17. Суть вероятностно-статистических методов расчета потерь электроэнергии, место числовых характеристик случайных величин в этих методах.</p>
5.	Оптимизационные задачи электроэнергетики	<p>5.1. Основные понятия и определения. Исходная информация. Математическая модель.</p> <p>5.2. Методы решения оптимизационных задач. Анализ оптимизационной задачи.</p> <p>5.3. Графическое решение задачи линейного программирования.</p> <p>5.4. Алгебраические преобразования систем линейных уравнений.</p>

		<p>5.5. Симплекс-метод.</p> <p>5.6. Транспортные задачи электроэнергетики. Постановка транспортной задачи. Получение допустимого решения.</p> <p>5.7. Распределительный метод.</p> <p>5.8. Метод потенциалов.</p> <p>5.9. Учет пропускной способности линий.</p> <p>5.10. Транспортная задача с транзитом мощности.</p> <p>5.11. Нелинейные оптимизационные задачи. Общие положения.</p> <p>5.12. Графическая иллюстрация задачи нелинейного программирования.</p> <p>5.13. Градиентные методы.</p> <p>5.14. Метод неопределенных множителей Лагранжа.</p> <p>5.15. Задача оптимального распределения активной мощности в энергосистеме.</p> <p>5.16. Задачи оптимального распределения компенсирующих устройств в системах электроснабжения.</p>
--	--	---

Вопросы для подготовки к экзамену
 Экзамен учебным планом не предусмотрен.

Перечень контрольных материалов
для защиты курсового проекта/курсовой работы
 Курсовая работа/проект учебным планом не предусмотрена.

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Текущий контроль осуществляется в течение **4-го** семестра в форме собеседования во время проведения практических занятий, выполнения и защиты расчетно-графического задания.

Примеры типовых вопросов и задач для практических занятий

1. Какими элементами моделируются линии электропередач?
2. Какими элементами моделируются силовые трансформаторы?
3. Какая применяется схема замещения воздушных линий при расчете установившихся режимов?
4. Какая применяется схема замещения силовых трансформаторов при расчете установившихся режимов?
5. Назовите основные свойства матриц.
6. Что такое граф?
7. Что такое подграф?
8. Что такое путь графа?
9. Что такое матрица соединений (инциденций)?
10. Что такое балансирующий узел, как он выбирается?
11. Что такое дерево сети?
12. Что называется хордой графа?
13. В чем заключается расчет установившегося режима электрической системы на основе решения обобщенного уравнения?
14. В чем заключается расчет установившегося режима электрической системы на основе решения системы узловых напряжений?

15. В чем заключается расчет установившегося режима электрической системы на основе решения системы контурных уравнений?
16. В чем заключаются точные или прямые методы решения линейных уравнений установившегося режима?
17. В чем заключается алгоритм метода Гаусса?
18. В чем заключается метод простой итерации?
19. В чем заключается метод Зейделя?
20. Что такое математическое ожидание потерь активной мощности в элементе сети трехфазного тока?
21. Как характеризуется нормальный закон распределения параметров режима?
22. Как характеризуется экспоненциальный закон распределения параметров режима?
23. Как характеризуется равномерный закон распределения параметров режима?
24. В чем заключается симплекс-метод?
25. В чем заключается распределительный метод?
26. В чем заключается метод потенциалов?
27. В чем заключаются градиентные методы?
28. В чем заключается метод неопределенных множителей Лагранжа?

Задача

Произвести алгебраические операции над матрицами.

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 2 \\ 3 & -2 \end{vmatrix}; \quad B = \begin{vmatrix} 0 & 2 \\ -2 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}; \quad C = \begin{vmatrix} -2 & 0 \\ 0 & 1 \\ 2 & -1 \end{vmatrix}.$$

- а) $A + B$; б) $3A + 2B - C$; в) $2A - 4B - 3C$; г) $3A - 2B + C$; д) $2A + 4B - 3C$.

Задача

Найти произведение числовых матриц:

$$\begin{array}{ll} \text{а) } \begin{vmatrix} 3 & 1 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0 & 5 \\ -1 & 6 \end{vmatrix}; & \text{б) } \begin{vmatrix} 2 & -1 \\ 3 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 3 \\ 5 \end{vmatrix}; \\ \\ \text{в) } \begin{vmatrix} -2 & 3 & 4 & 0 \\ 5 & -1 & 2 & 3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \\ 4 & 0 \end{vmatrix}; & \text{г) } \begin{vmatrix} 2 & -4 & 6 \\ 5 & 2 & 7 \\ -1 & 0 & 4 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}; \\ \\ \text{д) } \begin{vmatrix} 3 & 2 & -1 \\ 4 & 5 & 0 \\ 1 & -2 & 3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix}; & \text{е) } \begin{vmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 3 & 2 & -1 \\ 4 & 5 & 0 \\ 1 & -2 & 3 \end{vmatrix}. \end{array}$$

Задача

Для схемы (рис. 1) составить направленный граф, сформировать первую и вторую матрицу инцидентий для представления и анализа установившегося режима.

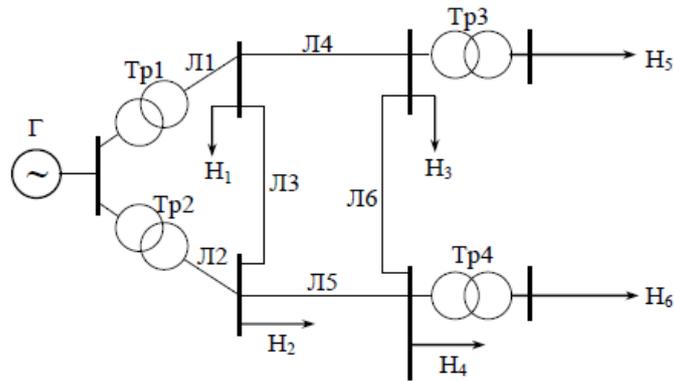


Рис. 1. Конфигурация сети

Задача

Для заданного варианта схемы, представленной на рисунке 2, параметров сети и задающих нагрузок составить в матричной форме:

- обобщенное уравнение состояния электрической цепи;
- узловое уравнение;
- контурное уравнение.

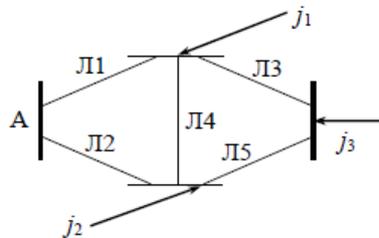


Рис. 2. Вариант схемы сети

Сопровитления линий (Ом): $Z_1 = 1$; $Z_2 = 1$; $Z_3 = 1$; $Z_4 = 2$; $Z_5 = 1$.

Задающие токи (А): $J_1 = -4$; $J_2 = -6$; $J_3 = -2$.

Узел А принять базисным и балансирующим. Напряжение в узле А принять равным 10 В.

Задача

Методом Гаусса решить систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 + 2x_3 = 9; \\ x_1 + 2x_2 - 3x_3 = 14; \\ 3x_1 + 4x_2 + x_3 = 16. \end{cases}$$

Задача

Методом триангуляции матрицы проводимостей выполнить расчет электрической сети постоянного тока (рис. 3)?

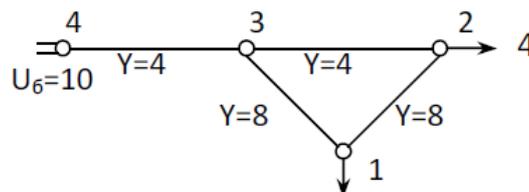


Рис. 3. Электрическая сеть

Задача

Рассматривается система УУН, соответствующую некоторой электрической сети с заданными узловыми токами. Изобразить схему этой сети.

$$\begin{cases} -0,02 \cdot U_1 + 0,01 \cdot U_2 = -1,6; \\ 0,01 \cdot U_1 - 0,03 \cdot U_2 = -3,7. \end{cases}$$

Задача

Для электрической сети, представленной в виде системы уравнений, методом Зейделя-Гаусса решить систему уравнений узловых напряжений.

$$\begin{cases} -0,02 \cdot U_1 + 0,01 \cdot U_2 = -1,6; \\ 0,01 \cdot U_1 - 0,03 \cdot U_2 = -3,7. \end{cases}$$

Задача

Методом Ньютона получить решение нелинейного уравнения:

$$f(x) = x^2 - 3x - 4 = 0.$$

Точные решения этого уравнения $x_1 = -1$, $x_2 = 4$. Однако их требуется найти. Для расчетов методом Ньютона необходимо знать

$$f'(x) = 2x - 3.$$

Задача

Для решения системы УУН, соответствующей рис. 4 методом Ньютона выполнить одну итерацию.

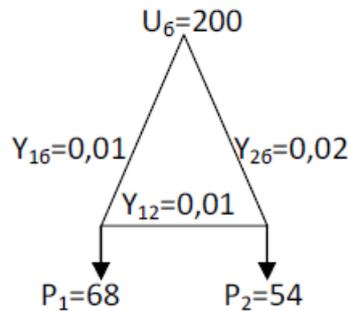


Рис. 4. Расчетная схема

Задача

Активная мощность потребителей электроэнергии узла нагрузки распределена равномерно в некотором диапазоне значений. Математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение значение мощности соответственно

$$M(P) = 80 \text{ кВт}, \sigma_p = 43,3 \text{ кВт}.$$

Определить:

- 1) Вероятность нахождения значений нагрузки в интервале $10 - 40$ кВт p ($10 \leq P \leq 40$).
- 2) Значение нагрузки P_γ , вероятность превышения которого $\gamma = 0,05$.
- 3) Вероятность того, что нагрузка будет меньше 55 кВт.

Задача

Решить предыдущую задачу при условии, что активная мощность потребителей узла нагрузки распределена нормально с числовыми характеристиками $M(P) = 80$ кВт, $\sigma_p = 43,3$ кВт.

Задача

Активная мощность потребителей электроэнергии узла нагрузки распределена экспоненциально со значениями числовых характеристик $M(P) = \sigma_p = 80$ кВт.

Определить:

- 1) Вероятность нахождения в интервале 10 – 40 кВт
- 2) Значение нагрузки P_γ , вероятность превышения которого $\gamma = 0,05$.
- 3) Вероятность того, что нагрузка будет меньше 55 кВт.

Задача

Промышленное предприятие получает электроэнергию по двум параллельно работающим КЛ длиной 5 км, с сечением алюминиевых жил 3×240 мм² ($r_0 = 0,132$ Ом км) с $U_{ном} = 10$ кВ. За год потребляет $76 \cdot 10^6$ кВт·ч электроэнергии.

По замерам в период максимума и минимума нагрузок получены практически максимально и минимально возможные их среднечасовые значения

$$I_{max} = 460 \text{ А}; I_{min} = 40 \text{ А}.$$

Определить потери электроэнергии за год в КЛ, полагая, что значения нагрузки предприятия распределены по нормальному закону.

Принять $\cos\phi = 1$.

Задача

В проектируемой системе электроснабжения имеется два узла с источниками питания и три узла потребителей.

Мощности источников составляют A_1 и A_2 , а мощности потребителей - B_1 , B_2 и B_3 е.м. Взаимное расположение узлов и возможные к сооружению линии электрической сети показаны на рис. 5.

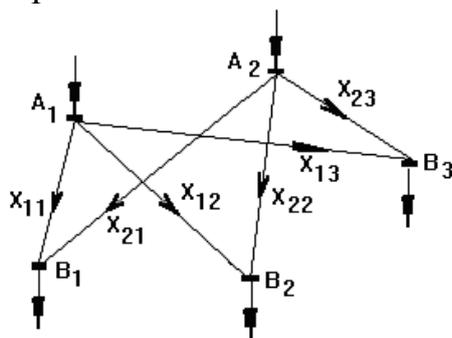


Рис. 5. Взаимное расположение узлов и возможные к сооружению линии электрической сети

Удельные затраты на передачу мощностей по линиям между узлами источников и потребителей составляют $z_{11}, z_{12}, z_{13}, z_{21}, z_{22}, z_{23}$ у.е./е.м.

Составить математическую модель для решения транспортной задачи.

Задача

Найти допустимое решение для предыдущей задачи при следующих исходных данных:

$$A_1=50, A_2=30, B_1=20, B_2=25, B_3=35 \text{ е.м.}$$

$$z_{11}=1,2; z_{12}=1,8; z_{13}=1,5; z_{21}=1,6; z_{22}=2,3; z_{23}=2,1 \text{ у.е./е.м.}$$

Задача

В проектируемой системе электроснабжения имеется 2 узла источников питания и 2 узла потребителей. Мощности источников составляют $A_1=100$ и $A_2=50$, а мощности потребителей $B_3=90$ и $B_4=60$ е.м. Удельные затраты на передачу мощностей по линиям между узлами составляют $z_{12}=10$, $z_{13}=5$, $z_{14}=2$, $z_{23}=4$, $z_{24}=3$ и $z_{34}=2$ у.е./е.м.

Требуется найти оптимальную схему электрической сети.

Задача

В существующей схеме электроснабжения (рис. 6) требуется определить мощности компенсирующих устройств $Q_{к1}$ и $Q_{к2}$ в узлах 1 и 2 исходя из условия минимума суммарных затрат на установку этих устройств и покрытие потерь активной мощности в схеме.

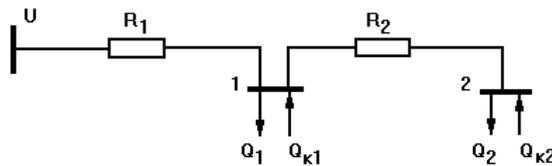


Рис. 6. Схема электроснабжения

Исходные данные:

напряжение схемы $U=10$ кВ;

сопротивления линий $R_1=6$ Ом, $R_2=4$ Ом;

реактивные нагрузки узлов 1 и 2 $Q_1=600$ квар и $Q_2=800$ квар;

удельные затраты на установку компенсирующих устройств $z_0=0,5$ у.е./квар;

удельные затраты на покрытие потерь активной мощности $c_0=10$ у.е./кВт.

Задача

В существующей схеме электроснабжения (рис. 7) следует распределить между узлами 1, 2 и 3 суммарную мощность компенсирующих устройств, равную 1000 квар. Критерий оптимальности - минимум потерь активной мощности.

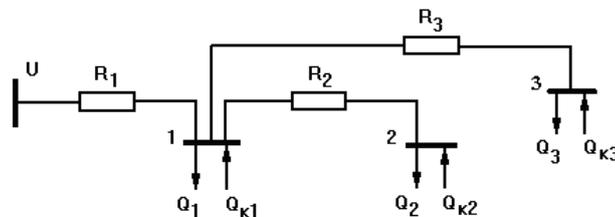


Рис. 7. Схема электроснабжения

Исходные данные:

напряжение схемы $U=10$ кВ;

сопротивления линий $R_1=0,4$, $R_2=0,5$, $R_3=0,6$ Ом;

реактивные нагрузки узлов $Q_1=600$, $Q_2=500$, $Q_3=400$ квар.

Задача

Составить математическую модель для определения в схеме электроснабжения (рис. 8) оптимального узла установки компенсирующего устройства, заданной мощности Q_k . Критерий оптимальности - минимум потерь активной мощности в схеме.

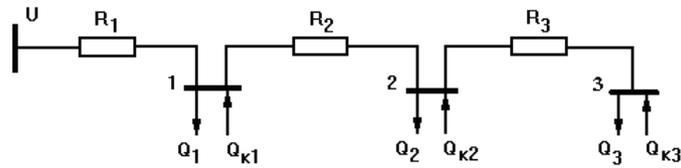


Рис. 8. Схема электроснабжения

Исходные данные:

напряжение схемы $U=10$ кВ;

сопротивления линий $R_1=0,4$, $R_2=0,5$, $R_3=0,6$ Ом;

реактивные нагрузки узлов 1, 2 и 3 $Q_1=600$, $Q_2=500$, $Q_3=400$ квар;

мощность компенсирующего устройства $Q_k=1000$ квар.

Примеры типовых вопросов для защиты РГЗ

1. Какому условию должна отвечать конфигурация проектируемой системы электроснабжения?
2. Что такое целевая функция?
3. Какая целевая функция формируется для определения оптимальных значений недостающих длин линий от подстанций до потребителей?
4. Какие задаются ограничения и граничные условия?
5. Каким методом определяется оптимальный вариант конфигурации проектируемой системы электроснабжения?
6. Каким образом производится оптимизационный расчёт по потерям активной мощности в линиях электропередачи?
7. Каким образом выбираются сечения и марки проводов воздушных линий?
8. Каким образом выбираются мощности и марки силовых трансформаторов?
9. Какие параметры воздушных линий определяются для дальнейшего расчета установившихся режимов?
10. Какие параметры силовых трансформаторов определяются для дальнейшего расчета установившихся режимов?
11. Какая применяется схема замещения воздушных линий при расчете установившихся режимов?
12. Какая применяется схема замещения силовых трансформаторов при расчете установившихся режимов?
13. Каким образом выполняется расчёт установившегося режима для проектируемой системы электроснабжения?
14. В каких узлах задаются мощности, генерация которых необходима для питания потребителей?
15. Какой узел схемы выбран в качестве балансирующего по активной мощности?
16. Какие получились суммарные потери мощности в системе электроснабжения?
17. В каких узлах схемы отклонения напряжения максимальны?
18. Какова относительная величина потерь активной и реактивной мощности в системе электроснабжения?
19. Каким образом возможно снизить потери мощности в системе электроснабжения?
20. На сколько снизились потери мощности в системе электроснабжения после соответствующих мероприятий?

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме диф. зачета (**4-й** семестр) используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знания математического аппарата классической и прикладной математики, применяемого для решения задач электроэнергетики.
	Полнота ответов на вопросы.
Умения	Самостоятельность выполнения задания.
	Правильность применения теоретического материала.
	Умения производить расчеты по методикам классической и прикладной математики для решения задач электроэнергетики.
	Полнота выполнения заданий, полнота ответов на дополнительные вопросы.
	Умение сравнивать, делать выводы по результатам выполненного задания.
Качество оформления заданий.	
Навыки	Навыки применения математического аппарата при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем.
	Выбор методики выполнения задания.
	Анализ и обоснование полученных результатов.

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

При промежуточной аттестации в форме **диф. зачёта:**

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5

<p>Знания математического аппарата классической и прикладной математики, применяемого для решения задач электроэнергетики.</p>	<p>Не знает математического аппарата классической и прикладной математики, применяемого для решения задач электроэнергетики.</p>	<p>С ошибками и неточностями знает математический аппарат классической и прикладной математики, применяемый для решения задач электроэнергетики. Возможные неточности и ошибки исправляет с помощью преподавателя.</p>	<p>Уверенно в целом, с небольшими неточностями знает математический аппарат классической и прикладной математики, применяемый для решения задач электроэнергетики. Возможные неточности исправляет сам, без помощи преподавателя.</p>	<p>Безошибочно знает математический аппарат классической и прикладной математики, применяемый для решения задач электроэнергетики.</p>
<p>Полнота ответов на вопросы.</p>	<p>Не отвечает на вопросы для защиты РГЗ и вопросы для подготовки к диф. зачету.</p>	<p>С ошибками и неточностями отвечает или отвечает лишь на некоторые вопросы для защиты РГЗ и на вопросы для подготовки к диф. зачету. Возможные неточности и ошибки исправляет с помощью преподавателя.</p>	<p>Уверенно в целом, с небольшими неточностями или в достаточной степени верно отвечает на вопросы для защиты РГЗ и на вопросы для подготовки к диф. зачету. Возможные неточности исправляет сам, без помощи преподавателя.</p>	<p>Безошибочно или полностью верно отвечает на вопросы для защиты РГЗ и вопросы для подготовки к диф. зачету.</p>

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Самостоятельность выполнения задания.	Не может выполнить расчеты в рамках решения задач на практическом занятии и в рамках выполнения РГЗ, в том числе и с дополнительной помощью.	С дополнительной помощью или с ошибками и неточностями выполняет расчеты в рамках решения задач на практическом занятии и в рамках выполнения РГЗ. Возможные неточности и ошибки исправляет с помощью преподавателя.	Самостоятельно и в целом уверенно, с небольшими неточностями выполняет расчеты в рамках решения задач на практическом занятии и в рамках выполнения РГЗ. Возможные неточности исправляет сам, без помощи преподавателя.	Самостоятельно выполняет расчеты на практическом занятии и при выполнении РГЗ.
Правильность применения теоретического материала.	При применении теоретического (лекционного) материала допускаются ошибки, относящиеся к решению задач, выполнению РГЗ.	Теоретический (лекционный) материал применяется и интерпретируется с ошибками и неточностями при решении задач, выполнении РГЗ. Возможные неточности и ошибки исправляет с помощью преподавателя.	Теоретический (лекционный) материал применяется и интерпретируется в целом правильно, с небольшими неточностями при решении задач, выполнении РГЗ. Возможные неточности исправляет сам, без помощи преподавателя.	Теоретический (лекционный) материал применяется и интерпретируется правильно при решении задач, выполнении РГЗ.
Умения производить расчеты по методикам классической и прикладной математики для решения задач электроэнергетики.	Не может производить расчеты по методикам классической и прикладной математики для решения задач электроэнергетики.	С дополнительной помощью или с ошибками и неточностями производит расчеты по методикам классической и прикладной математики для решения задач электроэнергетики.	В целом уверенно, с небольшими неточностями производит расчеты по методикам классической и прикладной математики для решения задач электроэнергетики.	Безошибочно производит расчеты по методикам классической и прикладной математики для решения задач электроэнергетики.
Полнота выполнения заданий, полнота ответов на дополнительные вопросы.	Имеются существенные ошибки при решении задач и выполнении РГЗ, не отвечает на дополнительные вопросы.	С ошибками выполняет все расчеты при решении задач и выполнении РГЗ, не отвечает на дополнительные вопросы.	В целом верно, с незначительными неточностями выполняет все расчеты при решении задач и выполнении РГЗ, верно отвечает на дополнительные вопросы.	Безошибочно выполняет все расчеты при решении задач и выполнении РГЗ, верно отвечает на дополнительные вопросы.

Умение сравнивать, делать выводы по результатам выполненного задания.	Не умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делать выводы по результатам выполнения РГЗ.	Допускает ошибки при сопоставлении, обобщении и при формулировании выводов по результатам выполнения РГЗ.	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, но допускает небольшие неточности при формулировании выводов по результатам выполнения РГЗ.	Сравнивает, сопоставляет и обобщает данные, самостоятельно оценивает полученные результаты, делает выводы по результатам выполнения РГЗ.
Качество оформления заданий.	РГЗ оформлено не в соответствии с требованиями, не полностью, имеются грубые ошибки. Или РГЗ не оформлено вообще.	РГЗ оформлено не в соответствии с требованиями, неаккуратно, отсутствуют необходимые пояснения, имеются ошибки.	РГЗ оформлено в соответствии с требованиями, в полном объеме, имеются незначительные ошибки, неточности, опечатки.	РГЗ оформлено в соответствии с требованиями, в полном объеме, безошибочно.

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Навыки применения математического аппарата при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем.	Математический аппарат при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем применяется не верно или не применяется.	Математический аппарат при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем применяется с ошибками.	Математический аппарат при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем применяется с небольшими недочетами и неточностями.	Математический аппарат при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем применяется безошибочно.
Выбор методики выполнения задания.	Неверно выбрана методика решения задач, выполнения РГЗ.	Методика решения задач, выполнения РГЗ выбрана в целом верно, но имеются неточности и ошибки при описании расчетных зависимостей и графического материала.	Методика решения задач, выполнения РГЗ выбрана верно, но имеются недочеты, не относящиеся к основным расчетным зависимостям и графическому материалу.	Методика решения задач, выполнения РГЗ выбрана верно с учетом исходных данных.
Анализ и обоснование полученных результатов.	Не произведен анализ результатов решения задач и выполнения РГЗ.	Произведен анализ результатов решения задач и выполнения РГЗ с ошибками, сделаны выводы с недочетами, неточностями и ошибками. Ответы не обоснованы.	Произведен анализ результатов решения задач и выполнения РГЗ, сделаны выводы с небольшими недочетами и неточностями. Ответы обоснованы, имеются ссылки на нормативные, справочные и учебно-методические источники.	Произведен анализ результатов решения задач и выполнения РГЗ. Результаты работы обоснованы и в целом аргументированы, имеются ссылки на нормативные, справочные и учебно-методические источники.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1.	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий.	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук.
2.	Учебная аудитория для проведения практических занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.	Учебная аудитория кафедры «Электроэнергетика и автоматика» (лаборатория электроэнергетических систем, лаборатория электропривода и электрооборудования, лаборатория электрических аппаратов и электроснабжения). Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук.
3.	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы.	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1.	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2.	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3.	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 г. Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022 г.
4.	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
5.	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения.
6.	Microsoft Visio Professional 2013	(№ дог. E04002C51M)
7.	Autodesk AutoCAD 2017 – Русский (Russian)	(№ дог. 7053026340)
8.	PTC Mathcad Prime Express	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения.

9.	Программный комплекс для расчета установившихся режимов систем электроснабжения RS-3	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения.
10.	Программно-вычислительный комплекс (ПВК) для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем RastrWin3	Базовый комплекс (бесплатная студенческая лицензия с ограничением по числу учитываемых узлов сети до 60 узлов).

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики: учебник для студентов вузов / ред. В. А. Веников. - 2 изд., перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1981. - 288 с.
2. Электрические системы. Электрические сети: учебник для электроэнергетических специальностей вузов / ред.: В. А. Веников, В. А. Строкова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1998. - 511 с.
3. Электрические системы и сети: учебник / В. И. Идельчик. - Москва: Энергоатомиздат, 1989. - 591 с.
4. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 536 с.
5. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем / В. И. Идельчик. - Москва: Энергоатомиздат, 1988. - 287 с.
6. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети: учеб. пособие / А. В. Лыкин. - М.: Логос, 2008. - 253 с.
7. Карапетян, И.Г. Справочник по проектированию электрических сетей. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М.: ЭНАС, 2012. – 392 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/38546> – Загл. с экрана.
8. Хрущев, Ю.В. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие. [Электронный ресурс] / Ю.В. Хрущев, К.И. Заповодников, А.Ю. Юшков. — Электрон. дан. — Томск: ТПУ, 2012. – 154 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/10327>
9. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах [Текст]: курс лекций: учебное пособие / В. А. Строев, О. Н. Кузнецов; М-во образования и науки Российской Федерации, Нац. исслед. ун-т "МЭИ". - Москва: МЭИ, 2013. - 119 с.
10. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. - 2-е изд. - Ростов н/Д: Феникс, 2008. - 717 с.
11. Электроэнергетические системы и сети [Текст]: учебник / Ковалев И. Н. - Москва: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. - 364 с. Книга находится в Премиум-версии ЭБС IPRbooks. <https://www.iprbookshop.ru/unpublication.html?bid=45349>
12. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: учебник для студентов электроэнергетических специальностей / В. И. Идельчик. – 2-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2009. – 592 с.

13. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. Учебное пособ. для вузов. – 2-е изд., – М.: Высш. школа, 1988. – 239 с.

14. Математические задачи электроэнергетики [Электронный ресурс]: метод. указания к выполнению курсовой работы для студентов направления 140400 - Электроэнергетика и электротехника, профили: Электроснабжение, Нетрадиц. и возобновляемые источники энергии / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. электроэнергетики; сост.: А. А. Виноградов; С. В. Соловьев. - Электрон. текстовые дан. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. - 1 эл. опт. диск (DVD-ROM). - Загл. с титул. экрана.

15. Математические задачи электроэнергетики: метод. указания к выполнению курсовой работы для студентов направления бакалавриата 140400 - Электроэнергетика и электротехника профилей подгот. "Электроснабжение", "Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии" / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. электроэнергетики; сост.: А. А. Виноградов, С. В. Соловьев. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. - 40 с.

16. Переходные процессы в электроэнергетических системах: метод. указания к выполнению лаб. работ для студентов очной и заоч. форм обучения специальности 140211 - Электроснабжение и направления бакалавриата 140200 "Электроэнергетика" / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. электроэнергетики; сост.: А. А. Виноградов, М. Н. Нестеров, С. В. Килин, Р. С. Сингатулин. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. – 38 с.

17. Переходные процессы в электроэнергетических системах: метод. указания к выполнению курсового проекта для студентов очной и заоч. форм обучения специальности 140211 и направления бакалавриата 140400 / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. электроэнергетики; сост.: С. В. Килин, М. А. Синдецкий, Р. С. Сингатулин, Ю. Ю. Клименко, М. Ю. Михайлова. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2013. – 80 с.

18. Моисеев И.И., Иванилов Ю.П., Столяров Е.М. Методы оптимизации – М.: Наука, 1978. – 286 с.

19. Идельчик В.И. Методы установившихся режимов электрических систем; Учебное пособие для энергетических специальностей. Новочеркасск, изд. НПИ, 1981. – 87 с.

20. Математические задачи электроэнергетики: сборник заданий к лабораторным работам для студентов специальности «Электроснабжение» / сост. А.Е. Усачёв. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 51 с.

21. Костин В.Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики: Учеб. Пособие. – СПб.: СЗТУ, 2003 – 120 с.

22. Основы современной энергетики: учебник для вузов: в 2 т. / под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. Том 2. Современная электроэнергетика / Под ред. профессоров А.П. Бурмана и В.А. Строева – 632 с.

23. Электротехнический справочник: в 4-х т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общей ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд. - М.: Издательство МЭИ, 2004. - 964 с.

24. Шведов, Г. В. Потери электроэнергии при её транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140400 "Электроэнергетика и

электротехника" / Г. В. Шведов, О. В. Сипачева, О. В. Савченко ; ред. Ю. С. Железко. - Москва: МЭИ, 2013. - 422 с.

6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. ПУЭ, изд. 7-е: общие правила; передача электроэнергии; распределительные устройства и подстанции; электрическое освещение; электрооборудование специальных установок [Электронный ресурс]: – Электрон. дан. – М.: ЭНАС, 2013. – 560 с. URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=38572 (24.12.2017)

2. Справочно-поисковая система «КонсультантПлюс» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/> (24.12.2017).

3. Ежемесячная газета «Энергетика и промышленность России» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eprussia.ru/> (28.12.2017).

4. Бесплатная библиотека энергетика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eprussia.ru/lib/> (28.12.2017).

5. Информационно-справочное издание «Новости электроТехники» <http://www.news.elteh.ru/>

6. Электроэнергетический Информационный Центр: Бесплатная электротехническая литература, ГОСТы, РД, нормативная документация. Энергетика, электротехника, электроэнергетика - справочники по электроснабжению, электрическим машинам, электрическим сетям и подстанциям. Новости энергетики, аналитика. Форум энергетиков [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.electrocentr.info/> – заглавие с экрана.

7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ¹

Рабочая программа утверждена на 20____ /20____ учебный год
без изменений / с изменениями, дополнениями²

Протокол № _____ заседания кафедры от «__» _____ 20____ г.

Заведующий кафедрой _____
подпись, ФИО

Директор института _____
подпись, ФИО

¹ Заполняется каждый учебный год на отдельных листах

² Нужно подчеркнуть