

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

СОГЛАСОВАНО

Директор института заочного образования

канд. пед. наук, доцент

« 20 »  2021 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор института энергетики, информационных технологий и управляющих систем

канд. техн. наук, доцент

« 20 »  2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

направление подготовки:

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

профиль подготовки:

Электроснабжение

Квалификация

бакалавр

Форма обучения

заочная

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

Белгород 2021

Программа дисциплины составлена на основании требований:

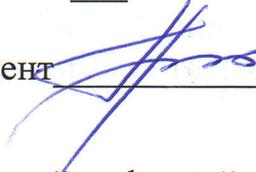
▪ Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденным приказом № 144 Министерства образования и науки Российской Федерации 28 февраля 2018 г.

▪ учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В. Г. Шухова в 2021 году.

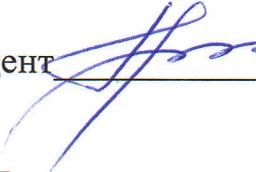
Составитель: канд. техн. наук \_\_\_\_\_  (Д. А. Прасол)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры электроэнергетики и автоматике

« 15 » мая 2021 г., протокол № 11

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)

« 15 » мая 2021 г.

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

« 20 » мая 2021 г., протокол № 9

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	<b>ПК-1.</b> Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.	<b>ПК-1.2.</b> Использует математический аппарат при расчете параметров электроустановок и режимов работы электроэнергетических систем.	<b>Знания</b> математического аппарата классической и прикладной математики, применяемого для решения задач электроэнергетики. <b>Умения</b> производить расчеты по методикам классической и прикладной математики для решения задач электроэнергетики. <b>Навыки</b> 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

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки

Форма промежуточной аттестации диф. зачет (7 семестр).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины, час	144	144
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
лекции	4	4
лабораторные	-	-
практические	2	2
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	-	-
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	<b>138</b>	<b>138</b>
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	-	-
Расчетно-графическое задание	18	18
Индивидуальное домашнее задание	-	-
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	120	120
Экзамен	-	-

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем Курс 4 Семестр 7

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
1. Введение в дисциплину «Математические задачи электроэнергетики»					
1.1.	Объем дисциплины «Математические задачи электроэнергетики» и планируемые результаты обучения по дисциплине. Цель и задачи дисциплины «Математические задачи электроэнергетики». Основные разделы дисциплины «Математические задачи электроэнергетики». Введение в дисциплину «Математические задачи электроэнергетики».	–	–	–	7
2. Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем					
2.1.	Общие сведения о дисциплине, основные математические задачи электроэнергетики, понятие математической модели. Методы расчета установившихся режимов ЭЭС. Роль расчетов установившихся режимов. Методы и алгоритмы аналитического описания схем замещения ЭЭС.	–	–	–	7
2.2.	Основы матричного исчисления. Основные сведения о матрицах. Основы теории матриц. Формы записи системы линейных алгебраических уравнений. Основные определения, типы матриц. Действия над матрицами. Свойства матриц. Матричные преобразования. Вырожденность матрицы, ранг и дефект матрицы.	1	–	–	9
2.3.	Топологические методы анализа электрических цепей. Основы теории графов. Принципиальная схема ЭЭС и её схема замещения. Граф схемы замещения. Структурные матрицы графа. Матрица соединений ветвей в узлы (M). Матрица соединений ветвей в независимые контуры (N). Взаимосвязь матриц M и N.	1	1	–	10
2.4.	Законы электрических цепей. Матричные уравнения и параметрические матрицы. Закон Ома в матричной форме. Первый закон Кирхгофа в матричной форме. Второй закон Кирхгофа в матричной форме.	1	–	–	9
2.5.	Матричные методы расчета сложных электрических цепей. Обобщенное матричное уравнение состояния электрической цепи. Метод узловых потенциалов в матричной форме. Метод контурных токов в матричной форме. Расчет установившегося симметричного режима итерационным методом.	1	1	–	10
3. Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС					
3.1.	Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС. Общие сведения. Точные методы решения уравнений установившихся режимов. Метод обратной матрицы. Метод Гаусса. Факторы, влияющие на точность решения СЛАУ методом Гаусса. Использование метода LU-разложения в решении электроэнергетических задач.	–	–	–	10

3.2.	Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС. Итерационные методы решения уравнений установившихся режимов. Общие сведения. Решение уравнений методом итераций. Применение метода простой итерации при решении электроэнергетических задач. Метод Зейделя. Вычислительная эффективность итерационных методов решения СЛАУ. Решение систем нелинейных уравнений. Применение метода Ньютона при решении электроэнергетических задач. Общие выводы по итерационным методам расчета установившихся режимов.	–	–	–	13
4. Применение теории вероятностей и методов математической статистики в задачах электроэнергетики					
4.1.	Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Случайные события в электроэнергетике. Законы теории вероятностей для независимых случайных событий. Законы теории вероятностей для зависимых случайных событий. Биномиальный закон для повторяющихся случайных событий.	–	–	–	10
4.2.	Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Случайные величины в электроэнергетике. Количественные оценки вероятностей случайных величин. Основные законы распределения случайных величин. Математическое ожидание. Дисперсия и среднее квадратическое отклонение. Доверительные интервалы.	–	–	–	10
4.3.	Применение методов математической статистики в задачах электроэнергетики. Вариационные ряды и их характеристики. Зависимые случайные величины в электроэнергетике. Метод наименьших квадратов. Коэффициенты регрессии. Коэффициент парной корреляции. Практическое применение коэффициентов регрессии и корреляции. Оценка тесноты связи между случайными величинами. Множественная корреляция.	–	–	–	8
5. Оптимизационные задачи электроэнергетики					
5.1.	Введение в теорию оптимизации. Основные понятия и определения. Исходная информация. Основные понятия и определения. Математическая модель. Методы решения оптимизационных задач. Выполнение вычислений. Анализ решения оптимизационной задачи.	–	–	–	7
5.2.	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.	–	–	–	10
	ВСЕГО	4	2	–	120

## 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 № 7				
1.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Основы матричного исчисления. Основы теории матриц. Действия над матрицами. Свойства матриц. Выполнение алгебраических операций над матрицами. Произведение числовых матриц. Транспонирование матриц. Обращение матриц.	–	4
2.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Составление схемы замещения ЭЭС, графа схемы замещения. Составление матрицы соединений ветвей в узлы и матрицы соединений ветвей в независимые контуры.	1	5
3.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Расчет установившегося режима ЭЭС с помощью обобщенного уравнения.	1	4
4.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	Расчет установившегося режима ЭЭС с помощью программы расчета установившихся режимов RS-3	–	5
5.	Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС	Решение систем линейных уравнений методом Гаусса.	–	2
6.	Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС	Решение систем линейных уравнений методом LU-разложения.	–	5
7.	Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС	Решение систем линейных уравнений методом простой итерации.	–	2
8.	Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС	Решение систем линейных уравнений методом Зейделя.	–	3
9.	Применение теории вероятностей и методов математической статистики в задачах электроэнергетики	Случайные события в электроэнергетике. Законы теории вероятностей для независимых случайных событий. Законы теории вероятностей для зависимых случайных событий. Биномиальный закон для повторяющихся случайных событий.	–	5
10.	Применение теории вероятностей и методов математической статистики в задачах электроэнергетики	Случайные величины в электроэнергетике. Количественные оценки вероятностей случайных величин. Основные законы распределения случайных величин. Математическое ожидание. Дисперсия и среднеквадратическое отклонение. Доверительные интервалы.	–	5

11.	Оптимизационные задачи электроэнергетики	Задача оптимального распределения активной мощности в энергосистеме. Задачи оптимального распределения компенсирующих устройств в системах электроснабжения	–	5
ИТОГО:			2	45
ВСЕГО:			2	45

### **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 установившегося режима электроэнергетической системы с применением теории графов и матричного исчисления. Задание сформировано с целью приобретения студентами способностей проектирования схемы ЭЭС по заданной методике.

В расчетно-графическом задании необходимо выполнить расчет установившегося режима электроэнергетической системы.

Тема РГЗ: «Расчет установившегося режима электроэнергетической системы с применением теории графов и матричного исчисления».

#### **Основные задачи**

1. Освоить математический аппарат матричной алгебры, работу и программирование в инженерных расчетных комплексах, оформление текстовых документов в текстовых редакторах, изображение схем в графических редакторах.

2. Ознакомиться с правилами составления схемы замещения, графа и исходных матриц для расчета установившегося режима матричными методами.

3. Запомнить названия и размерности используемых матриц, запись обобщенного матричного уравнения и вспомогательных выражений.

#### **Краткие методические указания**

1. В схеме замещения представить все ИП в виде ЭДС.

2. В схеме замещения представить все нагрузки в виде ЭДС.

3. Значения ЭДС представить в комплексной показательной форме со значением аргумента с параметром  $n$ , где  $n$  – номер по журналу.

#### **Порядок расчета**

1. Составить схему замещения для структурной схемы ЭЭС, приведенной в табл. 1 в соответствии с вариантом задания. Значения параметров для схемы замещения принять по табл. 2 в соответствии с вариантом задания.

2. Составить граф схемы замещения. Выбрать дерево и хорды.

3. Составить матрицу соединений ветвей в узлы.

4. Составить матрицу сопротивлений и ЭДС ветвей, матрицу задающих токов.

5. Рассчитать матрицу соединений ветвей в независимые контуры.

6. Составить матрицы параметров схемы замещения и параметров режима.

7. Рассчитать токи в ветвях.

8. Определить напряжения в ветвях.

9. Сделать проверку по I и II закону Кирхгофа.

10. Определить напряжения в узлах.

11. Определить потери мощности в ветвях.

12. Выполнить проверку по условию баланса мощностей.

## Исходные данные

Таблица 1

### Индивидуальные варианты структурных схем ЭЭС

Последняя цифра номера зачетки	Структурная схема
1	
2	...

Таблица 2

### Индивидуальные варианты параметров схем замещения ЭЭС

Параметр	Последняя цифра номера по журналу				
	1, 2	3, 4	5, 6	7, 8	9, 0
$I_{ИП2}$	1,5+j0,9	0,98+j0,45	0,7+j0,4	7,5+j4,9	0,45+j0,36
$I_{ИП3}$	0,87+j0,44	1,24+j1,09	0,5+j0,25	4,2+j1,8	0,24+j0,18
$I_{ИП4}$	1,5+j0,9	0,254+j0,67	0,19+j0,126	5,5+j2,9	0,6+j0,45
$I_{Н1}$	0,57-j0,13	0,28-j0,23	0,33-j0,2	0,45-j0,17	0,27-j0,13
$I_{Н2}$	5,9+j3,8	0,37-j3,2	0,51-j0,7	7,9-j3,7	2,9-j3,8
$I_{Н3}$	0,9+j0,8	1,44+j1,49	0,74-j0,9	0,78-j0,56	0,75-j0,5
$I_{Н4}$	0,66+j5,2	0,24-j0,18	0,27-j0,14	2,9-j3,8	2,9-j3,8
$Z_{Л1}$	86+j57	47+j36	65+j51	86+j57	46+j27
$Z_{Л2}$	89+j47	89+j21	89+j21	89+j47	82+j40
$Z_{Л3}$	55+j37,8	57+j69,3	50+j45,3	55+j37,8	55+j37,8
$Z_{Л4}$	75,3+j65,8	68+j16	95+j49,3	75,3+j65,8	86,3+j65,8
$Z_{Л5}$	47,3+j25,8	42+j12	39+j62,7	52+j14	4,3+j6,8
$Z_{Т1}$	j35	j45	j57,6	j46,5	j47
$Z_{Т2}$	j14,5	j39	j23	j35	j28
$Z_{1АТ}$	j6,8	j9	j7	j9	j8
$Z_{2АТ}$	10	11	9	4	6
$Z_{3АТ}$	j14	j15	j15	j20	j18
$Z_{1Т1}$	-j42,3	j78	-j55	-j86	-j3
$Z_{2Т1}$	j41,8	j49	j37	j57	j8
$Z_{3Т1}$	j41,8	35	j30	j57	j7,8
$Z_{1Т2}$	j10	j17,4	j45	j54,5	j17
$Z_{2Т2}$	7	14	34	42	j32
$Z_{3Т2}$	j6	j9	j7	j26	j33
$U_{ИП1}$	230	230/√3	220/√3	127/√3	115/√3
$E_{ИП2}$	$U_{ИП1}e^{0,1n\pi \cdot j}$				
$E_{ИП3}$	$U_{ИП1}e^{0,2n\pi \cdot j}$				
$E_{ИП4}$	$U_{ИП1}e^{-0,1n\pi \cdot j}$				
$E_{Н1}$	$0,95U_{ИП1}e^{0,1n\pi \cdot j}$				
$E_{Н2}$	$0,95U_{ИП1}e^{0,2n\pi \cdot j}$				
$E_{Н3}$	$0,95U_{ИП1}e^{-0,1n\pi \cdot j}$				
$E_{Н4}$	$0,95U_{ИП1}e^{0,15n\pi \cdot j}$				

В заключении сделать выводы по проделанной работе. Составить список использованной литературы.

## 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
<b>ПК-1.2.</b> 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 **7-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»	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Цель и задачи дисциплины «Математические задачи электроэнергетики». Основные разделы дисциплины «Математические задачи электроэнергетики».</li><li>2. Введение в дисциплину «Математические задачи электроэнергетики». Основные понятия и определения.</li><li>3. Общие сведения о дисциплине, основные математические задачи электроэнергетики, понятие математической модели</li></ol>
2.	Методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем	<ol style="list-style-type: none"><li>4. Методы расчета установившихся режимов ЭЭС. Роль расчетов установившихся режимов.</li><li>5. Методы и алгоритмы аналитического описания схем замещения ЭЭС. Исходные положения.</li><li>6. Составление схем замещения ЭЭС.</li><li>7. Основы матричного исчисления. Основные сведения о матрицах. Формы записи системы линейных алгебраических уравнений. Основные определения, типы матриц.</li><li>8. Основы матричного исчисления. Основы теории матриц. Действия над матрицами. Свойства матриц.</li><li>9. Основы матричного исчисления. Основы теории матриц. Матричные преобразования. Вырожденность матрицы, ранг и дефект матрицы.</li><li>10. Топологические методы анализа электрических цепей. Основы теории графов. Принципиальная схема ЭЭС и её схема замещения.</li><li>11. Топологические методы анализа электрических цепей. Основы теории графов. Граф схемы замещения.</li><li>12. Топологические методы анализа электрических цепей. Основы теории графов. Структурные матрицы графа.</li><li>13. Топологические методы анализа электрических цепей. Основы теории графов. Матрица соединений ветвей в узлы (M).</li><li>14. Топологические методы анализа электрических цепей. Основы теории графов. Матрица соединений ветвей в независимые контуры (N).</li></ol>

		<p>15. Топологические методы анализа электрических цепей. Основы теории графов. Взаимосвязь матриц <math>M</math> и <math>N</math>.</p> <p>16. Законы электрических цепей. Закон Ома в матричной форме.</p> <p>17. Законы электрических цепей. Первый закон Кирхгофа в матричной форме.</p> <p>18. Законы электрических цепей. Второй закон Кирхгофа в матричной форме.</p> <p>19. Матричные методы расчета сложных электрических цепей. Обобщенное матричное уравнение состояния электрической цепи.</p> <p>20. Матричные методы расчета сложных электрических цепей. Метод узловых потенциалов в матричной форме.</p> <p>21. Матричные методы расчета сложных электрических цепей. Метод контурных токов в матричной форме.</p> <p>22. Расчет установившегося симметричного режима итерационным методом.</p>
3.	Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС	<p>23. Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС. Общие сведения. Точные методы решения уравнений установившихся режимов.</p> <p>24. Точные методы решения уравнений установившихся режимов. Метод обратной матрицы.</p> <p>25. Точные методы решения уравнений установившихся режимов. Метод Гаусса.</p> <p>26. Факторы, влияющие на точность решения СЛАУ методом Гаусса.</p> <p>27. Использование метода <math>LU</math>-разложения в решении электроэнергетических задач.</p> <p>28. Методы и алгоритмы решения уравнений установившихся режимов ЭЭС. Итерационные методы решения уравнений установившихся режимов. Общие сведения.</p> <p>29. Итерационные методы решения уравнений установившихся режимов. Решение уравнений методом итераций. Применение метода простой итерации при решении электроэнергетических задач.</p> <p>30. Итерационные методы решения уравнений установившихся режимов. Метод Зейделя.</p> <p>31. Вычислительная эффективность итерационных методов решения СЛАУ.</p> <p>32. Решение систем нелинейных уравнений. Применение метода Ньютона при решении электроэнергетических задач.</p> <p>33. Общие выводы по итерационным методам расчета установившихся режимов.</p>
4.	Применение теории вероятностей и методов математической статистики в задачах электроэнергетики	<p>34. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Случайные события в электроэнергетике.</p> <p>35. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Законы теории вероятностей для независимых случайных событий.</p> <p>36. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Законы теории вероятностей для зависимых случайных событий.</p> <p>37. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Биномиальный закон для повторяющихся случайных событий.</p> <p>38. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Случайные величины в электроэнергетике.</p> <p>39. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Количественные оценки вероятностей случайных величин.</p> <p>40. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Основные законы распределения случайных величин.</p> <p>41. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Математическое ожидание. Дисперсия и среднее квадратическое отклонение.</p>

		<p>42. Применение теории вероятностей в задачах электроэнергетики. Доверительные интервалы.</p> <p>43. Применение методов математической статистики в задачах электроэнергетики. Вариационные ряды и их характеристики.</p> <p>44. Применение методов математической статистики в задачах электроэнергетики. Зависимые случайные величины в электроэнергетике.</p> <p>45. Применение методов математической статистики в задачах электроэнергетики. Метод наименьших квадратов.</p> <p>46. Применение методов математической статистики в задачах электроэнергетики. Коэффициенты регрессии. Коэффициент парной корреляции. Практическое применение коэффициентов регрессии и корреляции.</p> <p>47. Применение методов математической статистики в задачах электроэнергетики. Оценка тесноты связи между случайными величинами. Множественная корреляция.</p>
5.	Оптимизационные задачи электроэнергетики	<p>48. Основные понятия и определения. Исходная информация. Математическая модель.</p> <p>49. Методы решения оптимизационных задач. Анализ оптимизационной задачи.</p> <p>50. Нелинейные оптимизационные задачи. Общие положения.</p> <p>51. Графическая иллюстрация задачи нелинейного программирования.</p> <p>52. Градиентные методы.</p> <p>53. Метод неопределенных множителей Лагранжа.</p> <p>54. Задача оптимального распределения активной мощности в энергосистеме.</p> <p>55. 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 **7-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. Что такое матрица?
2. Как выглядит развернутая форма записи системы линейных алгебраических уравнений?
3. Как выглядит компонентная форма записи системы линейных алгебраических уравнений?
4. Как выглядит матричная форма записи системы линейных алгебраических уравнений?

5. Перечислите, какую структуру могут иметь матрицы?
6. Назовите виды матриц (минимум 5 названий).
7. Каким образом осуществляется сложение матриц?
8. Каким образом осуществляется умножение матрицы на скалярную величину?
9. Каким образом осуществляется перемножение матриц?
10. Каким образом осуществляется транспонирование матриц?
11. Каким образом осуществляется обращение матрицы?
12. Что понимается под установившимся режимом электрической сети?
13. Каковы цели и задачи расчета установившегося режима электрической сети?
14. Какие исходные данные необходимы для расчета установившегося режима электрической сети?
15. Как можно представить электрическую сеть при расчете установившихся и переходных режимов?
16. Как выглядит П-образная схема замещения ЛЭП?
17. Как определяются параметры графа для различных элементов электрической сети?
18. Какими элементами моделируются линии электропередач?
19. Какими элементами моделируются силовые трансформаторы?
20. Какая применяется схема замещения воздушных линий при расчете установившихся режимов?
21. Какая применяется схема замещения силовых трансформаторов при расчете установившихся режимов?
22. Назовите основные свойства матриц.
23. Что такое граф?
24. Что такое подграф?
25. Что такое путь графа?
26. Что такое матрица соединений (инциденций)?
27. Что такое балансирующий узел, как он выбирается?
28. Что такое дерево сети?
29. Что называется хордой графа?
30. В чем заключается расчет установившегося режима электрической системы на основе решения обобщенного уравнения?
31. В чем заключается расчет установившегося режима электрической системы на основе решения системы узловых напряжений?
32. В чем заключается расчет установившегося режима электрической системы на основе решения системы контурных уравнений?
33. В чем заключаются точные или прямые методы решения линейных уравнений установившегося режима?
34. Как выполняется алгоритм Гаусса для решения систем линейных алгебраических уравнений?
35. Какие вычисления производятся на первом шаге алгоритма Гаусса?
36. Какие вычисления производятся на n-м шаге алгоритма Гаусса?
37. Как выполняется обратный ход алгоритма Гаусса?
38. Почему округление результатов вычислений приводит к большой погрешности при применении метода Гаусса и как этого избежать?

39. Почему неточность исходных данных приводит к большой погрешности при применении метода Гаусса и как этого избежать?
40. В чем заключается специфика решения линейных уравнений установившегося режима электрической системы методом Гаусса?
41. Как повысить вычислительную эффективность метода Гаусса, учитывая слабую заполненность исходной матрицы при расчете установившегося режима электрической системы?
42. Как повысить вычислительную эффективность метода Гаусса, учитывая доминирование диагональных элементов исходной матрицы при расчете установившегося режима электрической системы?
43. Как повысить вычислительную эффективность метода Гаусса, учитывая симметричность исходной матрицы при расчете установившегося режима электрической системы?
44. Что называется LU-разложением?
45. Как решить систему линейных алгебраических уравнений методом LU-разложения?
46. Какие вычисления производятся на первом шаге LU-разложения?
47. Какие вычисления производятся на s-м шаге LU-разложения?
48. В каких случаях эффективно применение итерационных методов?
49. К какому виду преобразуется исходная система линейных алгебраических уравнений при решении с использованием метода простой итерации?
50. Как решается система линейных алгебраических уравнений методом простой итерации?
51. Каково условие окончания итерационного процесса?
52. Каково условие сходимости итерационного процесса?
53. К какому виду преобразуется исходная система линейных алгебраических уравнений при решении с использованием метода Зейделя?
54. Как решается система линейных алгебраических уравнений методом Зейделя?
55. Каково условие окончания итерационного процесса?
56. Каково условие сходимости итерационного процесса?
57. Как составляется матрица Якоби?
58. Какая итерационная формула используется для решения систем нелинейных уравнений методом Ньютона?
59. Какая эквивалентная итерационная формула используется для решения систем нелинейных уравнений методом Ньютона?
60. Каково условие сходимости итерационного процесса?
61. Каково условие окончания итерационного процесса?
62. Что такое математическое ожидание?
63. Что такое дисперсия и среднеквадратичное отклонение?
64. Как характеризуется нормальный закон распределения параметров режима?
65. Как характеризуется экспоненциальный закон распределения параметров режима?
66. Как характеризуется равномерный закон распределения параметров режима?
67. В чем заключаются градиентные методы?

68. 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:

$$\text{а) } \begin{vmatrix} 3 & 1 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0 & 5 \\ -1 & 6 \end{vmatrix}; \quad \text{б) } \begin{vmatrix} 2 & -1 \\ 3 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 3 \\ 5 \end{vmatrix};$$

$$\text{в) } \begin{vmatrix} -2 & 3 & 4 & 0 \\ 5 & -1 & 2 & 3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \\ 4 & 0 \end{vmatrix}; \quad \text{г) } \begin{vmatrix} 2 & -4 & 6 \\ 5 & 2 & 7 \\ -1 & 0 & 4 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix};$$

$$\text{д) } \begin{vmatrix} 3 & 2 & -1 \\ 4 & 5 & 0 \\ 1 & -2 & 3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix}; \quad \text{е) } \begin{vmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 3 & 2 & -1 \\ 4 & 5 & 0 \\ 1 & -2 & 3 \end{vmatrix}.$$

### Задача

Даны матрицы  $A = [a_{ij}]_{2 \times 3}$ ;  $B = [b_{ij}]_{3 \times 1}$ ;  $C = [c_{ij}]_{3 \times 3}$ .

Существуют ли произведения:

а)  $A \times B$ ; б)  $B \times A$ ; в)  $A \times C$ ; г)  $C \times A$ ; д)  $C \times B$ ; е)  $A \times B \times C$ ; ж)  $A \times C \times B$ ; з)  $C \times B \times A$ .

### Задача

Произвести транспонирование матриц:

$$\text{а) } A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \end{vmatrix}; \quad \text{б) } B = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 2 \\ 3 & -2 \end{vmatrix}; \quad \text{в) } K = \begin{vmatrix} -2 & 2 \\ 3 & 4 \\ -5 & -6 \end{vmatrix};$$

$$\text{г) } C = \begin{vmatrix} -1 & 2 & 4 & 5 \\ 2 & -1 & 0 & 6 \\ 1 & 1 & 5 & 4 \end{vmatrix}; \quad \text{д) } F = \begin{vmatrix} -1 & 4 & 0 \\ 0 & 1 & 5 \\ 2 & 3 & -1 \end{vmatrix}; \quad \text{е) } F = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 7 \\ 0 & 9 & 10 \end{vmatrix};$$

$$\text{ж) } L = \begin{vmatrix} 1 & 5 & 6 \\ 2 & -2 & 3 \end{vmatrix}; \quad \text{з) } (B + K)_t; \quad \text{и) } (D \times K)_t.$$

### Задача

Найти матрицу обратную заданной:

$$\begin{array}{llll}
 \text{а) } \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \\ -1 & 3 & 1 \end{vmatrix}; & \text{б) } \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 6 \end{vmatrix}; & \text{в) } \begin{vmatrix} 1 & -3 & 4 \\ -3 & 5 & 6 \\ -2 & 2 & 10 \end{vmatrix}; & \text{г) } \begin{vmatrix} 1 & -2 & 3 \\ 4 & 0 & 5 \\ -1 & 2 & 3 \end{vmatrix}; \\
 \\
 \text{д) } \begin{vmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 5 \\ 4 & 3 & 6 \end{vmatrix}; & \text{е) } \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 4 \end{vmatrix}; & \text{ж) } \begin{vmatrix} 2 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 3 \\ 2 & -3 & 2 \end{vmatrix}; & \text{з) } \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 4 \end{vmatrix}; \\
 \\
 \text{и) } \begin{vmatrix} 1 & -3 & 0 \\ 1 & -8 & 2 \\ -1 & 6 & -1 \end{vmatrix}; & \text{к) } \begin{vmatrix} 2 & 5 & 7 \\ 6 & 3 & 4 \\ 5 & -2 & -3 \end{vmatrix}; & \text{л) } \begin{vmatrix} 3 & -4 & 5 \\ 2 & -3 & 1 \\ 3 & -5 & -1 \end{vmatrix}; & \text{м) } \begin{vmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & 4 & 6 \\ 8 & 9 & 7 \end{vmatrix}.
 \end{array}$$

### Задача

Принципиальная схема ЭЭС представлена на рис. 1.

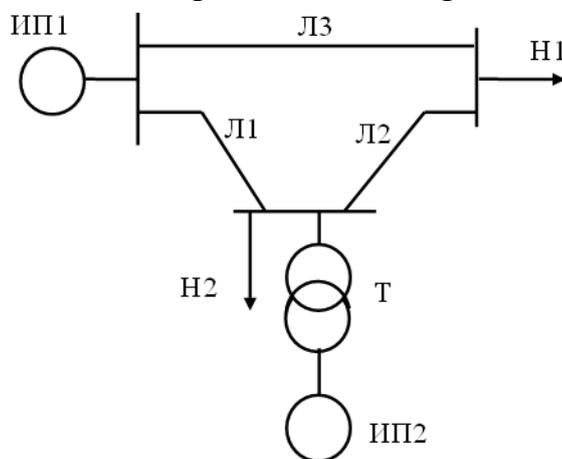


Рис. 1. Принципиальная схема электроэнергетической системы (ЭЭС)

1. Произвести замену элементов ЭЭС генераторами и комплексными сопротивлениями и составить схему замещения ЭЭС.

Для удобства формирования графа в схеме замещения узел нейтрали должен быть представлен одним узлом без обозначения земли.

2. Построить граф полученной схемы замещения.

3. Выбрать дерево и хорды.

4. Составить матрицу соединений ветвей в узлы.

5. Составить матрицу сопротивлений и ЭДС ветвей, матрицу задающих токов.

6. Рассчитать матрицу соединений ветвей в независимые контуры.

### Задача

Произвести расчет установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС) при помощи обобщенного уравнения. Принципиальная схема электроэнергетической системы представлена на рис. 2.

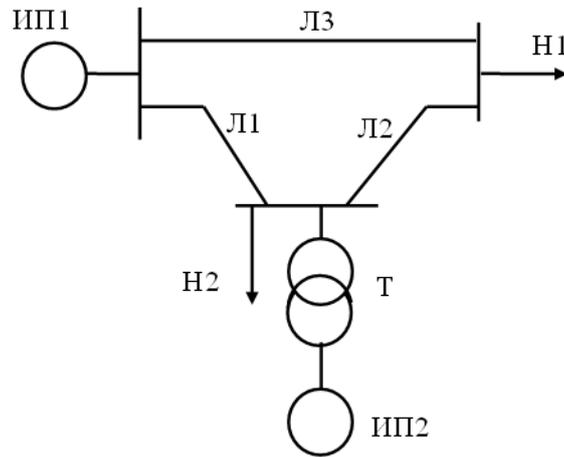


Рис. 2. Принципиальная схема электроэнергетической системы (ЭЭС).

1. В схеме замещения представить все ИП и нагрузки в виде ЭДС.
2. В схеме замещения представить все нагрузки в виде ЭДС.
3. Составить схему замещения.
4. Составить граф. Выбрать дерево и хорды.
5. Составить матрицу соединений ветвей в узлы.
6. Составить матрицу сопротивлений и ЭДС ветвей, матрицу задающих токов.
7. Рассчитать матрицу соединений ветвей в независимые контуры.
8. Составить матрицы параметров схемы замещения и параметров режима.
9. Рассчитать токи в ветвях.
10. Определить напряжения в ветвях.
11. Сделать проверку по I и II закону Кирхгофа.
12. Определить напряжения в узлах.
13. Определить потери мощности в ветвях.
14. Выполнить проверку по условию баланса мощностей.

### Задача

Произвести расчет установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС) с помощью программы расчета установившихся режимов RS-3. Принципиальная схема электроэнергетической системы представлена на рис. 3.

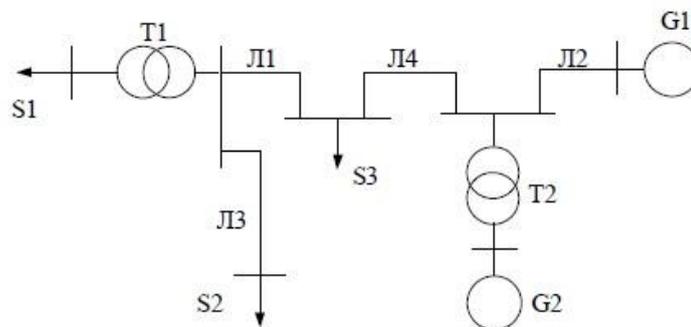


Рис. 3. Принципиальная схема электроэнергетической системы (ЭЭС)

1. Представить схему замещения ЭЭС.
2. Исходные данные для составления схемы замещения представлены в табл. 1.
3. Задать в программе RS-3 наименование схемы – ЭЭС-МЗЭЭ.
4. Внести данные узлов и ветвей схемы замещения в соответствующие поля программы RS-3.

5. Выполнить расчет установившегося режима работы ЭЭС.

6. Представить и описать результаты расчета.

Таблица 1

Исходные данные схемы ЭЭС

Вариант	U <sub>1</sub> , кВ	Z <sub>Л1</sub> , Ом	Z <sub>Л2</sub> , Ом	Z <sub>Л3</sub> , Ом	Z <sub>Л4</sub> , Ом	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> , МВА	S <sub>2</sub> , МВА	S <sub>2</sub> , МВА	G <sub>2</sub> , МВт		
1	220	23+j6	4+j1	6+j2	6+j2	110/2 20	110/2 20		120+j9 0	32+j24	12+j4	100+j6 1		
2	110	18+j3	6+j2	44+j 19	44+j 19	35/11 0	35/11 0		40+j30	24+j18	14+j5	34+j20		
3	115	15+j4 3	44+j 11	33+j 14	33+j 14	35/11 5	35/11 5		32+j24	12+j8	10+j2. 5	20+j15		
4	115	12+j3	19+j 6	30+j 10	30+j 10	35/11 5	35/11 5		56+j42	16+j12	6+j1.2	27+j12		
5	230	21.5+j 4.5	6.1+j 2.3	8+j3. 1	8+j3. 1	110/2 20	110/2 30		88+j60	24+j18	2.4+j1 .8	66+j40		
6	230	2.4+j1 .2	16+j 7	7+j4	7+j4	110/2 20	110/2 30		24+j18	30+j15	15+j3	33+j20		

Сопротивление трансформаторов принять в два раза меньше сопротивлений соответствующих линий.

### Задача

Решить систему линейных уравнений методом Гаусса в матричной форме и в развернутой форме записи:

$$\begin{cases} 10x_1 + 6x_2 + 2x_3 = 25 & 1 \\ 5x_1 + x_2 - 2x_3 + 4x_4 = 14 & 2 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 - x_4 = 10 & 3 \\ 6x_2 - 2x_3 + 2x_4 = 8 & 4 \end{cases}$$

### Задача

Решить систему уравнений вида  $A \times X = B$  методом LU-разложения (методом триангуляция).

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & -1 & 2 \\ 0 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 3 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 22 \\ 6 \\ 11 \\ 13 \end{pmatrix}.$$

### Задача

Задана схема электрической сети на одну фазу (рис. 4), напряжение балансирующего узла равно  $110/\sqrt{3}$  кВ. Найти напряжение в узлах точки 1, 2, 3 методом простой итерации с точностью  $\varepsilon = 0,001$  кВ.

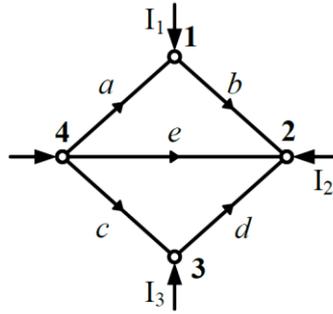


Рис. 4. Граф исследуемой сети

Исходные данные для схемы сети:

$I_1 = 2$  кА,  $I_2 = 1$  кА,  $I_3 = 3$  кА,  $x_c = x_a = 1$  Ом,  $x_b = x_d = 4$  Ом,  $x_e = 2$  Ом.

### Задача

Задана схема электрической сети (рис. 5) на 1 фазу  $U_{\text{БУ}} = 110/\sqrt{3}$  кВ. Найти  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  методом Зейделя с точностью  $\varepsilon = 0,01$ .

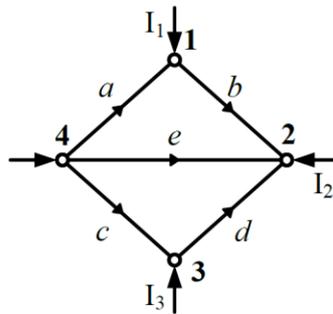


Рис. 5. Граф исследуемой сети

Исходные данные для схемы сети:

$I_1 = 2$  кА,  $I_2 = 1$  кА,  $I_3 = 3$  кА,  $x_c = x_a = 1$  Ом,  $x_b = x_d = 4$  Ом,  $x_e = 2$  Ом.

### Задача

На склад поступило две партии электрических ламп с разным номинальным напряжением: 950 шт. – на 220 В и 250 шт. – на 36 В. В результате ошибки кладовщика партии были перепутаны. Какова вероятность того, что первая же произвольно выбранная на складе лампа будет иметь номинальное напряжение 220 В?

### Задача

На электрической подстанции установлены два силовых трансформатора. Вероятности их исправной работы составляют  $p = 0,9$ . Определить вероятность исправной работы всей подстанции.

### Задача

Электрическая энергия на промышленное предприятие передается по двум ЛЭП, подключенным к двум независимым источникам питания. Событие А заключается в том, что первая ЛЭП в данный момент времени находится в рабочем состоянии, а на второй ЛЭП в это время происходит отказ, и она отключается. Событие В – вторая ЛЭП исправна, а на первой ЛЭП – отказ и ее отключение. События А и В в том виде, как они представлены, являются несовместимыми. Какова вероятность того, что в данный момент времени в рабочем состоянии будет находиться

хотя бы одна ЛЭП из двух?

### Задача

На комплектной трансформаторной подстанции установлены два силовых трансформатора. Мощности трансформаторов выбраны с учетом того, что при допустимой перегрузке один трансформатор обеспечивает нормальную работу подстанции. Какова вероятность того, что из двух трансформаторов в работе останется хотя бы один и обеспечит питание потребителей?

Решить пример для случая, когда параметры трансформаторов одинаковы и вероятность исправной работы составляет  $p = 0,9$ .

### Задача

Два потребителя электроэнергии работают независимо друг от друга. Вероятность бесперебойной работы первого потребителя  $P(A_1) = 0,9$ , второго –  $P(A_2) = 0,8$ . Определить вероятность бесперебойной работы обоих потребителей, а также вероятность исправного состояния хотя бы одного из них?

### Задача

Вероятность повреждения любой фазы 3-фазной электрической сети с изолированной нейтралью составляет 0,01. Если одна фаза повреждена, то вероятность повреждения другой фазы составляет 0,1. Аналогично, если две фазы повреждены, то вероятность повреждения третьей фазы составляет 0,5. Определить вероятности одно-, двух- и трехфазных замыканий.

### Задача

Определите условную вероятность зависимых событий, если известно, что за год в электрической сети происходит 20 аварий, связанных с однофазным замыканием на землю, в результате которых при развитии аварии появляется 5 двухфазных и 1 трехфазное замыкание.

### Задача

Система состоит из 10 однотипных агрегатов. Вероятность исправной работы составляет  $p = 0,98$ ; вероятность отказа  $q = 0,02$ . Определить вероятность выхода из строя 3 агрегатов из 10.

### Задача

Электроизмерительный прибор имеет класс точности 0,5. Определить вероятность погрешностей при замерах в пределах  $\pm 0,5$ ,  $\pm 1$ ,  $\pm 2\%$ .

В данном случае следует пользоваться законом простейшего нормального распределения, при этом  $a = 0$  и  $\sigma = 0,5$  (что соответствует классу точности).

### Задача

Среднемесячная максимальная нагрузка электрической системы равна 1200 МВт. При этом дисперсия составляет  $2500 \text{ МВт}^2$ , а среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 50 \text{ МВт}$ . Определить вероятность того, что случайный максимум нагрузки будет в интервале  $1250 \div 1300 \text{ МВт}$ ?

### Задача

Требуется оценить математическое ожидание тока перегорания плавких вставок партии из 20 предохранителей типа ПР-2 с номинальным током отключения  $I_{отк} = 100$  А, если известна дисперсия тока перегорания  $D(I) = 25$  А<sup>2</sup> и результат одного испытания предохранителя из этой партии  $I_0 = 95$  А. Закон распределения значений тока перегорания нормальный.

### 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.

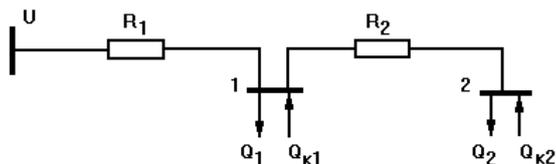


Рис. 6. Схема электроснабжения

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.

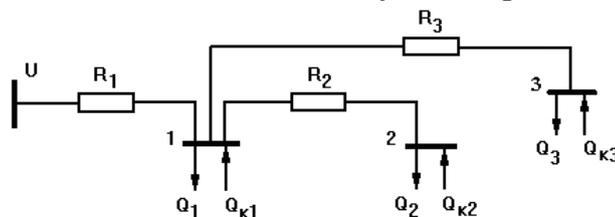


Рис. 7. Схема электроснабжения

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.

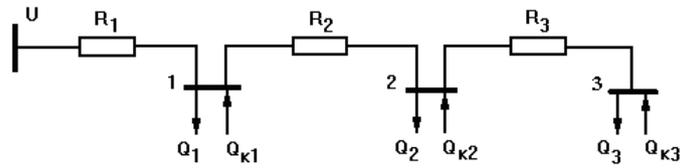


Рис. 8. Схема электроснабжения

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. Что понимается под установившимся режимом электрической сети?
2. Каковы цели и задачи расчета установившегося режима электрической сети?
3. Какие исходные данные необходимы для расчета установившегося режима электрической сети?
4. Как можно представить электрическую сеть при расчете установившихся и переходных режимов?
5. Как выглядит П-образная схема замещения ЛЭП?
6. Какие параметры воздушных линий определяются для расчета установившихся режимов?
7. Какие параметры силовых трансформаторов определяются для расчета установившихся режимов?
8. Какая применяется схема замещения воздушных линий при расчете установившихся режимов?
9. Какая применяется схема замещения силовых трансформаторов при расчете установившихся режимов?
10. Каким образом может выполняться расчёт установившегося режима для схемы ЭЭС?
11. Какой узел схемы выбран в качестве балансирующего по активной мощности?
12. Что называется графом электрической сети?
13. Что называется деревом графа электрической сети?
14. Что называется хордами графа электрической сети?
15. Что такое базисная система независимых контуров графа электрической сети?
16. Как определяются параметры графа для различных элементов электрической сети?
17. Как математически можно представить топологию схемы электрической сети для направленного графа?
18. Как определяются матрицы параметров для элементов электрической сети?
19. Какие активные ветви учитываются в расчетах режимов электрических сетей и как они представляются?

20. Какие параметры называют зависимыми, а какие независимыми в расчетах режимов электрических сетей?
21. Как получаются уравнения узловых напряжений в матричной форме записи?
22. Каковы правила составления матрицы узловых проводимостей?
23. Какие узлы называются базисными?
24. Какие узлы называются балансирующими?
25. Запишите систему линейных уравнений установившегося режима в компактной и матричной форме.
26. Запишите систему нелинейных уравнений установившегося режима в алгебраической форме.

#### 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме диф. зачета (**7-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
Знания математического аппарата классической и прикладной математики, применяемого для решения задач электроэнергетики.	Не знает математического аппарата классической и прикладной математики, применяемого для решения задач электроэнергетики.	С ошибками и неточностями знает математический аппарат классической и прикладной математики, применяемый для решения задач электроэнергетики. Возможные неточности и ошибки исправляет с помощью преподавателя.	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.	Безошибочно знает математический аппарат классической и прикладной математики, применяемый для решения задач электроэнергетики.
Полнота ответов на вопросы.	Не отвечает на вопросы для защиты РГЗ и вопросы для подготовки к диф. зачету.	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.	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.	Безошибочно или полностью верно отвечает на вопросы для защиты РГЗ и вопросы для подготовки к диф. зачету.

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, неполностью, 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. Математические задачи энергетики: учебное пособие / Г. Б. Белых, А. Н. Шеметов, Ю. Н. Кондрашова [и др.]. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2019. – 176 с. – ISBN 978-5-9967-1666-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/162555>.

4. Шубович, А. А. Постановка и решение математических задач в области электроэнергетики: учебное пособие / А. А. Шубович, Ю. М. Перевозкина. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2019. – 124 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/139225>.

5. Кормилицын Д.Н., Мешкова Ю.С. Математические задачи электроэнергетики: Учеб. пособие / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2020. – 136 с.

6. Математические задачи электроэнергетики: методические материалы к лабораторным работам / В. П. Булавочкин. – Ульяновск: УлГТУ, 2018. – 87 с.

7. Электрические системы и сети: учебник / В. И. Идельчик. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 591 с.

8. 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.

9. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем / В. И. Идельчик. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 287 с.

10. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети: учеб. пособие / А. В. Лыкин. – М.: Логос, 2008. – 253 с.

11. 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.

12. 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>

13. 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.

14. 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.

15. 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>

16. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: учебник для студентов электроэнергетических специальностей / В. И. Идельчик. – 2-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2009. – 592 с.

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

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

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

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

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

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

26. 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.

27. 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.

28. 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?pl1\\_id=38572](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_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 ПРОГРАММЫ<sup>1</sup>

Рабочая программа утверждена на 20\_\_\_\_ /20\_\_\_\_ учебный год  
без изменений / с изменениями, дополнениями<sup>2</sup>

Протокол № \_\_\_\_\_ заседания кафедры от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_  
подпись, ФИО

---

<sup>1</sup> Заполняется каждый учебный год на отдельных листах

<sup>2</sup> Нужно подчеркнуть