

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
магистратуры

к.э.н., доцент  Космачева И. В.
« 20 »  2021 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор института энергетики,
информационных технологий и
управляющих систем

к.т.н, доцент  А. В. Белоусов
« 20 »  2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

направление подготовки

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

профиль подготовки

Электроэнергетические системы и сети

Квалификация

магистр

Форма обучения

очная

Институт энергетики, информационных технологий и управляющих систем

Кафедра электроэнергетики и автоматики

Белгород – 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

▪ Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – Магистратура по направлению подготовки 13.04.02, утвержденного приказом Минобрнауки России от 28 февраля 2018г. №147;

▪ плана учебного процесса БГТУ им. В. Г. Шухова, введенного в действие в 2021 году.

Составитель: канд. техн. наук, доцент _____  О. И. Кирилина

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 Проектная	ПКВ-1. Способен разрабатывать концепции систем электроснабжения и электроэнергетических сетей	ПКВ-1.2. Способность применять методы анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений	<p>Знания</p> <ul style="list-style-type: none"> – основных понятий о режимах электрических систем и их математических моделях; – принципов представления информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий и использовании матричных методов расчета параметров режима сложноразветвленных электрических систем с применением законов Кирхгофа; – основных методов решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений и их систем; – о принципах формирования узловой модели установившегося режима электрической сети; – принципов расчета режима электрической сети с использованием матрицы коэффициентов распределения; – принципов расчета установившегося режима электрической сети итерационными методами (методом Ньютона) и методами последовательного исключения неизвестных (метод Гауса); – основных понятий о применении методов теории вероятности в задачах электроэнергетики; <p>Умения</p> <ul style="list-style-type: none"> – формировать уравнения состояния электрической сети по законам Кирхгофа; – представлять информацию о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий и производить расчет параметров режима сложноразветвленных электрических систем матричными методами; – производить расчет установившегося режима электрической сети итерационными методами (методом Ньютона) и методами последовательного исключения неизвестных (метод Гауса); – анализировать и оценивать результаты расчетов в зависимости от значений режимных параметров; <p>Навыки</p> <ul style="list-style-type: none"> – представления информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий и использовании матричных методов расчета параметров режима сложноразветвленных электрических систем с применением законов Кирхгофа;
	ПКВ-2. Способен разрабатывать проектную и конструкторскую документацию систем электроснабжения и электроэнергетических сетей	ПКВ-2.1. Способность выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности	<p>Знания</p> <ul style="list-style-type: none"> – принципов линейного преобразования пространства и его связь с матрицами; – математических основ методов и алгоритмов определения параметров режима сложноразветвленных электрических систем на стадии проектирования объектов профессиональной деятельности; – технологии моделирования развития электроэнергетических систем; <p>Умения</p> <ul style="list-style-type: none"> – выполнять в рамках проектной деятельности расчет схем и элементов основного оборудования, расчет режимов работы электроэнергетических систем, электрических сетей и их элементов; <p>Навыки</p> <ul style="list-style-type: none"> – формирования математической модели объекта профессиональной деятельности с помощью пакета программ «Excel» для расчетов электротехнических задач на ЭВМ

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1. Компетенция ПКВ-1. Способен разрабатывать концепции систем электроснабжения и электроэнергетических сетей

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами

Стадия	Наименования дисциплины
1	Схемотехника
2	Системы автоматизированного проектирования объектов электроэнергетики
3	Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах
4	Провалы и перенапряжения в электрических сетях
5	Производственная проектная практика
6	Производственная преддипломная практика
7	Теория оптимизации
8	Расчет режимов электроэнергетических систем
9	Оперативно-диспетчерское управление в энергетических системах
10	Производственная научно-исследовательская работа
11	Теория надежности
12	Энергосберегающие технологии в электроэнергетических системах
13	Основы оперативного обслуживания электроустановок электроэнергетических систем
14	Учебная практика по получению первичных навыков работы с программным обеспечением применительно к области (сфере) профессиональной деятельности

2. Компетенция ПКВ-2. Способен разрабатывать проектную и конструкторскую документацию систем электроснабжения и электроэнергетических сетей

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами

Стадия	Наименования дисциплины
1	Энергосберегающие технологии в электроэнергетических системах
2	Расчет режимов электроэнергетических систем
3	Системы автоматизированного проектирования объектов электроэнергетики
4	Производственная преддипломная практика
5	Бизнес-планирование в энергетике

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зач. единиц, 216 часов.

Форма промежуточной аттестации экзамен (3 семестр)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 3
Общая трудоемкость дисциплины, час	216	216
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	72	72
лекции	17	17
лабораторные	34	34
практические	17	17
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	4	4
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	144	144
Курсовой проект	–	–
Курсовая работа	36	3
Расчетно-графическое задание	–	–
Индивидуальное домашнее задание		
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	72	72
Экзамен	36	36

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Наименование тем, их содержание и объем

Курс 1 Семестр 2

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1. Основы применения алгебры матриц к расчету сетей электрических систем					
1.1	Техническая и математическая постановка задачи. Понятие о режимах электрических систем. Составление уравнений установившегося режима. Расчетные схемы электрических систем. Векторные диаграммы простейшей электрической системы	2	4	–	10
1.2	Аналитическое представление информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий. Основные уравнения состояния сети, представленные в виде матриц инцидентий (матрица «узлы-ветви» и ее применение для записи первого закона Кирхгофа; матрица «ветви-контур» и матричная запись второго закона Кирхгофа).	4	5	10	12
1.3	Уравнения состояния сети по законам Кирхгофа. Метод уравнений узловых напряжений. Определение узловых и контурных сопротивлений и проводимостей. Расчет режима электрической сети с использованием матрицы коэффициентов распределения	4	4	12	16
2. Характеристика методов математического описания установившегося режима сложной электрической системы					
2.1	Классификация методов расчета установившегося режима. Итерационные методы расчета. Критерии сходимости итерации. Метод Зейделя. Метод упорядоченного исключения неизвестных (метод Гаусса)	4	4	12	16
2.2	Решение систем нелинейных уравнений, характеризующих режим электрической системы, с помощью метода Ньютона.	2	–	–	16
2.3	Метод разрезания контуров. Метод исключения контуров.	1	–		2
ВСЕГО:		17	17	34	72

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
1	Основы применения алгебры матриц к расчету сетей электрических систем	Составление уравнений установившегося режима. Расчетные схемы электрических систем. Векторные диаграммы простейшей электрической системы	4	4
		Аналитическое представление информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий. Основные уравнения состояния сети, представленные в виде матриц инцидентий (матрица «узлы-ветви» и ее применение для записи первого закона Кирхгофа; матрица «ветви-контур» и матричная запись второго закона Кирхгофа)	5	5
		Уравнения состояния сети по законам Кирхгофа. Метод уравнений узловых напряжений. Определение узловых и контурных сопротивлений и проводимостей. Расчет режима электрической сети с использованием матрицы коэффициентов распределения	4	4
2	Характеристика методов математического описания установившегося режима сложной электрической системы	Итерационные методы расчета. Критерии сходимости итерации. Метод Зейделя. Метод упорядоченного исключения неизвестных (метод Гаусса).	4	4
ИТОГО:			17	17

Во время проведения практических занятий студенты приобретают навыки решения задач по формированию матриц инцидентий, определению параметров режима сложноразветвленных электрических систем

Практическое занятие 1. Составление узловых и контурных матриц

Задание. На схемах, представленных на рис. 1, обозначить ветви и хорды, приняв в качестве балансирующего узла источник питания – узел (А, В, С, D, Е, F, G) в зависимости от варианта задания (табл. 1). Составить первую и вторую матрицы инцидентий

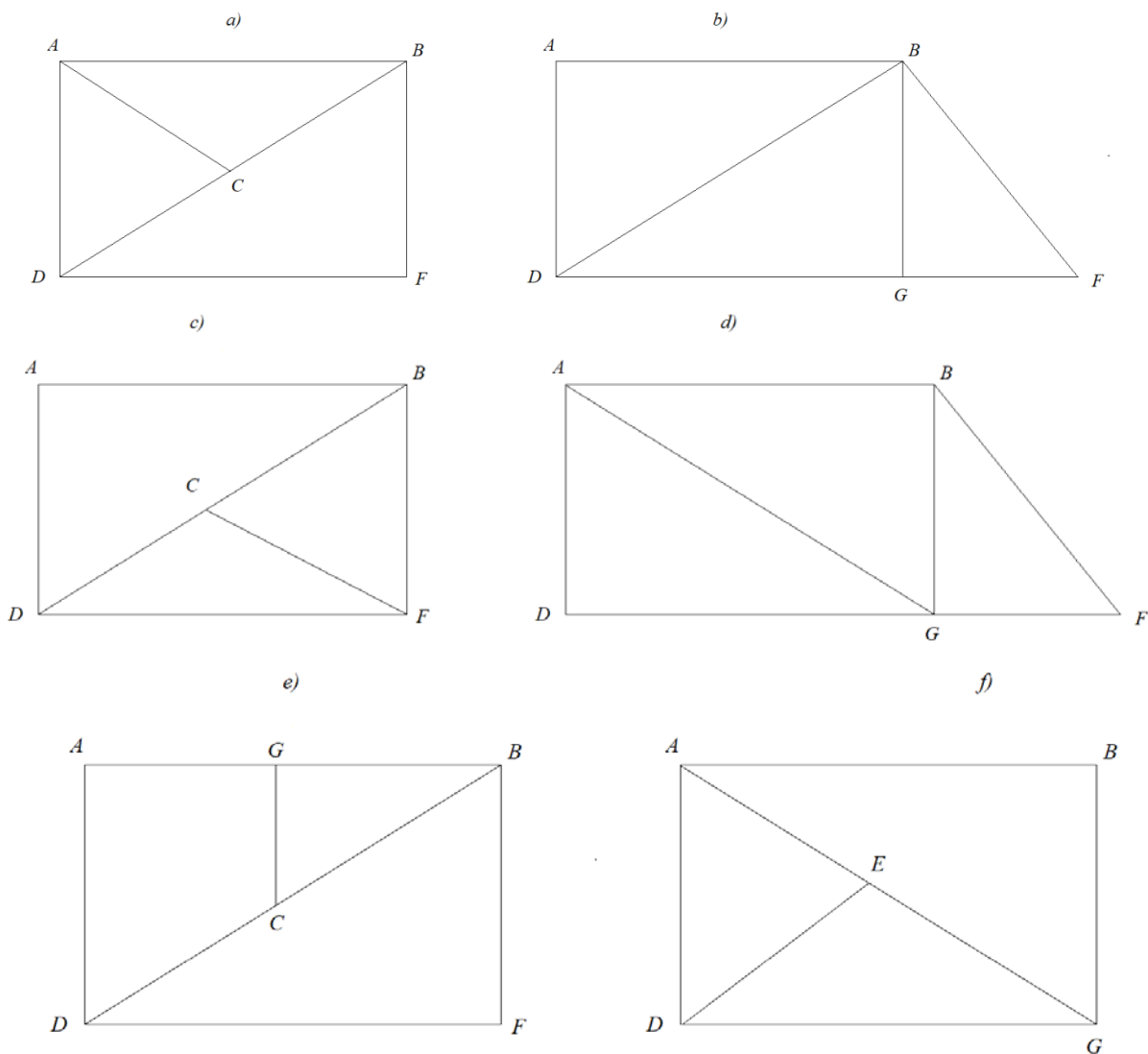


Рис.1. Варианты схем сложноразветвленных сетей

Таблица 1

Вариант задания	Вариант схемы	Балансирующий узел	Вариант задания	Вариант схемы	Балансирующий узел
1	Рис. 1, а	В	15	Рис. 1, д	А
2		С	16		В
3		F	17		D
4		D	18		G
5	Рис. 1, б	А	19		F
6		В	20	Рис. 1, е	А
7		D	21		В
8		G	22		С
9		F	23		D
10	Рис. 1, с	А	24		F
11		В	25		G
12		С	26	Рис. 1, ф	А
13		D	27		G
14		F	28		С

Практическое занятие 2. Применение узловых и контурных матриц для определения токов в ветвях сложноразветвленной электрической схемы с помощью законов Кирхгофа

Задание

Определить токи во всех ветвях электрической сложноразветвленной сети (рис. 1) с помощью I и II-го законов Кирхгофа

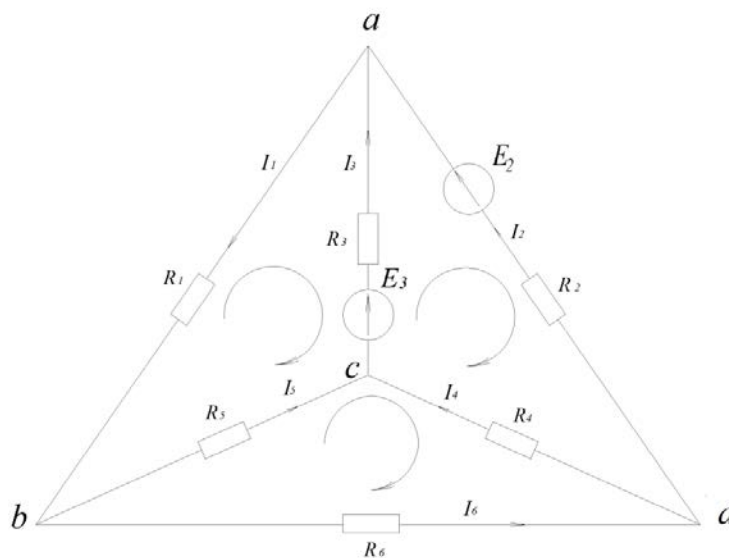


Рис. 1

Исходные данные:

Вариант	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$	$R_6, \text{ Ом}$	$E_2, \text{ В}$	$E_3, \text{ В}$
1	10	18	5	10	8	6	20	30
2	8	5	8	9	10	15	30	30
3	6	6	6	6	5	12	40	10
4	10	9	10	5	7	8	35	12
5	7	10	7	6	9	5	25	35
6	5	9	15	9	8	7	30	25
7	6	10	12	10	6	9	10	30
8	9	5	8	10	10	12	12	10
9	10	7	8	5	7	15	35	20
10	5	9	9	7	7	8	25	30

4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям ¹
семестр № 3				
1	Основы применения алгебры матриц к расчету сетей электрических систем	Изучение программы расчёта установившегося режима <i>gastrwin</i> и методики работы с программой	10	10
		Расчёт и анализ установившихся режимов наибольших и наименьших нагрузок электрической сети одного номинального напряжения	12	12
2	Характеристика методов математического описания установившегося режима сложной электрической системы	Расчёт и анализ послеаварийных режимов электрической сети одного номинального напряжения. регулирование напряжения изменением ответвлений трансформаторов	6	6
		Расчёт и анализ режимов наибольших и наименьших нагрузок электрической сети с несколькими номинальными напряжениями	6	6
ИТОГО:			34	34

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

РАСЧЁТ И АНАЛИЗ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ НАИБОЛЬШИХ И НАИМЕНЬШИХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ОДНОГО НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

2.1. Цель работы

Освоение методики расчёта замкнутых сетей с использованием ЭВМ.

2.2. Краткие теоретические сведения

Расчёты установившихся режимов выполняют для того, чтобы определить, насколько приемлем рассматриваемый режим с точки зрения качества доставляемой потребителю электрической энергии и соответствия токов в линиях допустимым токам. В результате расчёта таких режимов находят потоки мощности на участках сети и напряжения в узловых точках. Для расчёта вручную легче пользоваться методом контурных уравнений, хотя в программах для ЭВМ используется метод узловых напряжений. Расчёт по методу контурных уравнений ведется в два этапа. Сначала определяется потокораспределение мощностей по участкам без учета потерь мощности по уравнению:

$$\sum_{i=1}^n \underline{S}_i \dot{Z}_i = 0,$$

где \underline{S}_i – комплекс полной мощности, протекающей по i -му участку сети;

\dot{Z}_i^* – комплексно-сопряжённое сопротивление i -го участка сети;

n – число участков сети в контуре.

Это уравнение в комплексных числах можно заменить двумя уравнениями с

¹ Количество часов самостоятельной работы для подготовки к лабораторным занятиям

вещественными величинами:

$$\sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i) = 0, \quad \sum_{i=1}^n (P_i X_i - Q_i R_i) = 0, \quad (2.2)$$

где P_i и Q_i – соответственно активная и реактивная мощности, протекающие по i -му участку сети;

R_i и X_i – соответственно активное и реактивное сопротивления i -го участка.

В результате расчёта по уравнениям (2.2) находится потокораспределение без учета потерь мощности. На втором этапе рассчитывается потокораспределение с учетом потерь мощности и напряжения в узлах сети. Для этого из всех найденных на первом этапе потоков мощности в качестве истинных принимаются два вблизи точки потокораздела, по ним находят потери мощности на участках и потоки в начале и конце каждого участка, двигаясь в направлении от точки потокораздела к опорному (балансирующему) узлу. Например (см. рис. П.1.2 в ПРИЛОЖЕНИИ 1), если в качестве истинно найденной принята мощность в конце участка 2-3, то потери мощности на участке 2-3 находим, используя номинальное напряжение:

$$\Delta P_{23} = \frac{(P_{23}^K)^2 + (Q_{23}^K)^2}{U_{НОМ}^2} R_{23} \quad (2.3)$$

$$\Delta Q_{23} = \frac{(P_{23}^K)^2 + (Q_{23}^K)^2}{U_{НОМ}^2} X_{23}$$

Мощность в начале участка 2 - 3:

$$P_{23}^H = P_{23}^K + \Delta P_{23} \quad (2.4)$$

$$Q_{23}^H = Q_{23}^K + \Delta Q_{23}$$

Мощность в конце следующего участка 1-2:

$$P_{12}^K = P_{23}^H + P_{2p} \quad (2.5)$$

$$Q_{12}^K = Q_{23}^H + Q_{2p},$$

где P_{2p} , Q_{2p} – расчётные мощности в узле 2.

Аналогичным образом, двигаясь в обе стороны от точки потокораздела в направлении балансирующего узла, производят расчёт всех потоков мощности в сети. Определив мощность вблизи балансирующего узла, можно найти напряжения во всех точках сети. Например, если известны мощности в начале участка 1-2 P_{12}^H и Q_{12}^H , можно определить напряжение в узле 2:

$$U_2 = \sqrt{\left(U_1 - \frac{P_{12}^H R_{12} + Q_{12}^H X_{12}}{U_1} \right)^2 + \left(\frac{P_{12}^H X_{12} - Q_{12}^H R_{12}}{U_1} \right)^2} \quad (2.6)$$

2.3. Задание на подготовительную работу

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Начертить принципиальную схему сети (рис. П.1.2, ПРИЛОЖЕНИЕ 1) и нанести на неё параметры согласно варианту задания (табл. П.3.1 и П.3.2, ПРИЛОЖЕНИЕ 3).
3. Начертить схему замещения сети с нанесением на неё рассчитанных параметров.
4. Начертить расчётную схему сети с обозначением её параметров, обозначить потоки

мощности и напряжения в узлах.

5. Используя уравнение (2.2), рассчитать вручную потокораспределение в сети без учёта потерь мощности, а затем найти потокораспределение с учетом потерь мощности и напряжения в узлах, пользуясь соотношениями (2.3) – (2.6). Результаты расчётов нанести на расчётную схему.

2.4. Порядок выполнения работы

1. Занести информацию о сети в программу. Сохранить файл режима на диске.
2. Выполнить на ЭВМ расчёт режима наибольших нагрузок (табл. П.3.1, ПРИЛОЖЕНИЕ 3).
- 3). Результаты расчёта (потоки мощности, напряжения, потери мощности) нанести на расчётную схему.
3. Выполнить на ЭВМ расчёт режима наименьших нагрузок, снизив активные и реактивные нагрузки в узлах 2 и 3 на 50%. Результаты расчёта нанести на расчётную схему.
4. Сравнить результаты расчётов, выполненных на ЭВМ и вручную. Сравнить результаты расчётов режимов наибольших и наименьших нагрузок. Сделать выводы о допустимости исследуемых режимов.
5. Определить потери активной, реактивной и зарядной мощностей в процентах от соответствующей суммарной нагрузки сети.
6. Выполнить на ЭВМ расчёты режима наибольших нагрузок, снизив U_1 : а) на 10%; б) на 20%. Сделать вывод о влиянии напряжения балансирующего узла на режим электрической сети.
7. Восстановить исходный режим по напряжению U_1 . Выполнить расчёты утяжеленных режимов, увеличив нагрузки в узлах 2 и 3 по сравнению с заданными в табл. П.3.1 ПРИЛОЖЕНИЯ 3: а) на 30%; б) на 60%. Сравнить результаты расчёта с полученными ранее и сделать вывод.
8. Восстановить исходный режим для дальнейшей работы.

2.5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема сети.
3. Схема замещения.
4. Расчёт потокораспределения по уравнениям (2.2).
5. Расчётные схемы с результатами расчётов на ЭВМ режимов наибольших и наименьших нагрузок по п.п. 2, 3, 6, 7.
6. Анализ результатов расчётов по п.п. 2 – 7 и выводы по работе.

2.6. Контрольные вопросы

1. Какие допущения принимаются при расчёте потокораспределения по уравнениям (2.1), (2.2)?
2. Расскажите об известных Вам методах расчёта замкнутых сетей.
3. В чем отличие расчёта замкнутых сетей от разомкнутых?
4. Какие факторы способствуют снижению потерь мощности в сетях?
5. Как рассчитать падение и потерю напряжения?
6. Начертить векторную диаграмму линии, если известны напряжение и мощность в конце ЛЭП, и пояснить все ее составляющие.
7. Начертить векторную диаграмму линии, если известны напряжение и мощность в начале ЛЭП, и пояснить все ее составляющие.
8. Что такое точка потокораздела?
9. Как выполняется расчёт потокораспределения и напряжения, если направления активной и реактивной мощностей на линии не совпадают?
10. Что называется однородной сетью и как выполняется расчёт потокораспределения в

такой сети?

4.4. Содержание расчетно-графического задания

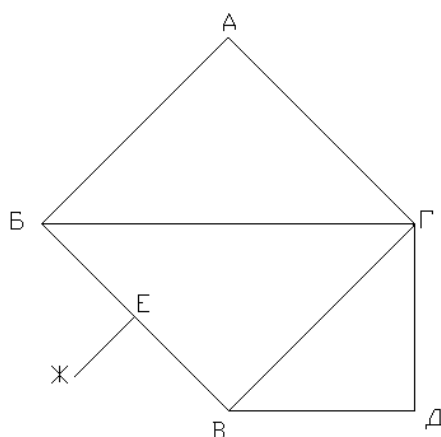
Расчетно-графическое задание учебным планом не предусмотрено

4.5. Содержание курсовой работы

В третьем семестре выполняется курсовая работа по теме «Матричные методы расчета режимов электроэнергетических систем» с целью приобретения навыков аналитического представления информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий и определения потоков мощности и напряжения в узлах сложнзамкнутых электрических систем по линейным узловым и контурным уравнениям при задании нагрузок в токах, а также для приобретения знаний в области осуществления проверки точности расчета режима на основе определения небаланса мощностей в узлах схемы

Исходные данные к курсовой работе: Схема и параметры электрической сети, нагрузки узловых точек определяются согласно принятому варианту задания, по Таблице 1

Расчетная схема сети:



Таблица

Варианты исходных данных для расчетов установившихся режимов электрических сетей

№ варианта	Балансирующий узел	Узлы нагрузки и их мощность	Генерирующий источник	Напряжение в балансирующем узле	Длины участков сети
1	2	3	4	5	6
1	Д	Б; В; Ж	А $P_A = 31,05 \text{ MВт}$	$U_{БВ} = 123,75 \text{ кВ}$	$l_1 = 63 \text{ км}$

		$P_B = 32,4 \text{ MBm}$ $P_B = 29,7 \text{ MBm}$ $P_{Ж} = 35,1 \text{ MBm}$			$l_{2-8} = 45 \text{ км}$ $l_9 = 27 \text{ км}$
2	Д	Б; В; Ж $P_B = 30,4 \text{ MBm}$ $P_B = 25,5 \text{ MBm}$ $P_{Ж} = 35,1 \text{ MBm}$	А $P_A = 31,5 \text{ MBm}$	$U_{БВ} = 123,70 \text{ кВ}$	$l_1 = 60 \text{ км}$ $l_{2-8} = 45 \text{ км}$ $l_9 = 27 \text{ км}$
3	Д	Б; В; Ж $P_B = 30,4 \text{ MBm}$ $P_B = 25,5 \text{ MBm}$ $P_{Ж} = 35,0 \text{ MBm}$	А $P_A = 32,0 \text{ MBm}$	$U_{БВ} = 123,80 \text{ кВ}$	$l_1 = 60 \text{ км}$ $l_{2-8} = 40 \text{ км}$ $l_9 = 27 \text{ км}$
4	Д	Б; В; Ж $P_B = 32,0 \text{ MBm}$ $P_B = 29,0 \text{ MBm}$ $P_{Ж} = 35,1 \text{ MBm}$	А $P_A = 32,5 \text{ MBm}$	$U_{БВ} = 123,70 \text{ кВ}$	$l_1 = 63 \text{ км}$ $l_{2-8} = 45 \text{ км}$ $l_9 = 25 \text{ км}$
5	Д	Б; В; Ж $P_B = 33,0 \text{ MBm}$ $P_B = 20,5 \text{ MBm}$ $P_{Ж} = 35,0 \text{ MBm}$	А $P_A = 34,0 \text{ MBm}$	$U_{БВ} = 122,80 \text{ кВ}$	$l_1 = 60 \text{ км}$ $l_{2-8} = 40 \text{ км}$ $l_9 = 27 \text{ км}$

Порядок выполнения курсовой работы

1. Для заданной 3-фазной схемы электроснабжения составить схему замещения и схему графа, пронумеровать узлы, ветви и независимые контуры, выбрать направления ветвей графа и направление обхода независимых контуров. Определить параметры схемы электроснабжения и нагрузок в узлах

2. Согласно принятому варианту определить узел баланса и базисный узел, составить элементарные матрицы параметров режима сети М и N, составить матрицы соединений

3. Произвести расчет матрицы узловых проводимостей и матрицы контурных сопротивлений

4. Произвести расчет режима электрической сети по линейным узловым и контурным уравнениям при задании нагрузок в токах

5. Проверить точность расчета режима на основе определения небаланса мощностей в узлах схемы

6. Представить результаты расчета режима на схеме электрической сети

В процессе выполнения курсовой работы осуществляется контактная работа обучающегося с преподавателем. Консультации проводятся в аудитория и/или посредством электронной информационно-образовательной среды университета

Перечень типовых вопросов при защите курсовой работы

2. Чем отличаются матрицы M , M_α , M_Σ ?
3. Чему равна сумма элементов столбца матрицы M_Σ и почему?
4. Чему равна сумма всех строк матрицы M_Σ , взятая по столбцу?
5. Каков физический смысл элементов строки C_{ij} матрицы коэффициентов токораспределения C_p ?
6. Чему равна сумма элементов столбца матрицы C_p ?
7. Чему равны диагональные элементы матрицы M_α при упорядоченной нумерации узлов и ветвей, основанной на принципе ярусности?
2. Как найти обратную матрицу?
3. Что значит рассчитать режим электрической системы?
4. Какова структура и размерность второй матрицы соединений?
5. При каких условиях N_β - единичная матрица?
6. Как формулируется основное свойство связанного направленного графа?
7. Дайте характеристику и область применения второй матрицы инцидентий N .
8. Почему для нахождения напряжений узлов сети относительно базисного U_Δ из выражений $U_B = M^T \cdot U_\Delta$ достаточно обратить матрицу M_α^T ?
9. Какая связь существует между подматрицами первой и второй матриц инцидентий и как она формулируется?
10. Обоснуйте достаточность информации, содержащейся в подматрицах M_α^{-1} , M_β для формирования подматрицы N_α .
11. Приведите состав исходной информации о режиме электрической системы и состав выходной информации о режиме.
12. На основе каких законов электротехники выводятся узловые уравнения установившихся режимов?
13. Что выражают левая и правая части уравнений узловых напряжений и система узловых уравнений в целом?
14. Какая связь между переменными U_Δ и U_V ?
15. Чем отличаются системы узловых уравнений, составленные относительно напряжений U_Δ и U_V ?
16. Как связаны переменные $U_{\Delta V}$ и ΔU_B ?
17. Как определяются проводимости ветвей схемы замещения электрической сети?
18. Как определяются элементы матрицы узловых проводимостей?
19. Каково соотношение между диагональными и побочными элементами матрицы Y_u ?
20. Как соотносятся знаки элементов матрицы Y_v ?
21. Сформулируйте основные свойства матрицы узловых проводимостей.
22. Что выражают контурные уравнения?
23. На какие подматрицы разделяются матрицы параметров электрической сети, параметров режима и матрицы инцидентий?
24. В чем суть принципа наложения, применяемого при записи токов в дереве сети?
25. Как определить (записать) алгебраическую сумму падений напряжений по ветвям дерева сети?
26. Каковы свойства канонической системы независимых контуров?

27. Изложите порядок расчета режима по методу контурных уравнений при задании нагрузок в токах.
28. Объясните, как меняется порядок расчета режима по методу контурных уравнений при задании нагрузок в мощностях.
29. Дайте характеристику матрицы контурных сопротивлений.
30. Влияет ли выбор базисного узла на свойства матрицы контурных сопротивлений?
31. Запишите уравнение состояния сети по законам Кирхгофа.
32. Запишите решение уравнения состояния сети через матрицы обобщённых параметров.
33. Каков физический смысл элемента матрицы коэффициентов распределения?
34. Как посредством моделирования режимов сети (на ЭВМ или физической модели) определить элементы матрицы коэффициентов распределения?
35. Как определить потокораспределение мощностей без учёта потерь в сети с помощью матрицы коэффициентов распределения?
36. Как обратить матрицу с использованием разбиения на блоки, и что нам даёт это разбиение?
37. Поясните физический смысл элементов матрицы S .
38. Почему сумма элементов столбца матрицы S равна 1?
39. Как организовать итерационный процесс расчёта режима по методу коэффициентов распределения в случае задания нагрузок в мощностях?
40. Как рассчитать потери мощности при использовании метода коэффициентов распределения при задании нагрузок в токах, мощностях?
41. Укажите достоинства и недостатки метода коэффициентов распределения по сравнению с методом узловых напряжений.
42. Приведите примеры задач, которые можно эффективно решать с использованием матрицы коэффициентов S .
43. В чём сходство и различие методов простой и ускоренной итерации?
44. Объясните принцип решения системы нелинейных уравнений узловых напряжений методом простой и методом ускоренной итерации.
45. Как формулируются условия сходимости итерационных процессов решения систем линейных алгебраических уравнений? систем нелинейных уравнений?
46. Обоснуйте формулу для итерационного расчета корней нелинейного уравнения $f(x)=0$ по методу Ньютона.
47. Почему условием применимости метода Ньютона является наличие хорошего начального приближения.
48. Объясните принцип решения системы нелинейных уравнений узловых напряжений методом Ньютона.
49. В чём отличие метода касательных от метода секущих при решении системы уравнений методом Ньютона?
50. Что влияет на сходимость итерационного процесса?
51. Как формулируется (и как объясняется) условие сходимости метода Ньютона.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1 Компетенции:

ПКВ-1. Способен разрабатывать концепции систем электроснабжения и электроэнергетических сетей

ПКВ-2. Способен разрабатывать проектную и конструкторскую документацию систем электроснабжения и электроэнергетических сетей

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПКВ-1.2. Способность применять методы анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений	Экзамен, выполнение заданий в рамках проведения практических и лабораторных занятий; тестирование по основным темам дисциплины; собеседования и консультации при выполнении курсовой работы; защита курсовой работы и лабораторных работ
ПКВ-2.1. Способность выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности	Экзамен, выполнение заданий в рамках проведения практических и лабораторных занятий; тестирование по основным темам дисциплины; собеседования и консультации при выполнении курсовой работы; защита курсовой работы и лабораторных работ

5.2. Типовые контрольные задания для аттестации

Аттестация осуществляется в конце 3 семестра, после завершения изучения дисциплины в форме экзамена

Вопросы для подготовки к экзамену

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Основы применения алгебры матриц к расчету сетей электрических систем	<ol style="list-style-type: none"> 1. Какие цепи электрических сетей называют линейными и нелинейными? 2. Что называют установившимся режимом электрической цепи? 3. В чем физическая суть законов Кирхгофа? 4. Что называют балансирующим узлом схемы? 5. Что такое матрица собственных и взаимных проводимостей? 6. Назовите отличия матриц M, N? 7. Чему равна сумма элементов столбца матрицы M? 8. Чему равна сумма всех строк матрицы M, взятая по столбцу? 9. Чему равны диагональные элементы матрицы M при упорядоченной нумерации узлов и ветвей, основанной на принципе ярусности? 10. Как найти обратную матрицу? 11. Чем отличаются матрицы M, M_α, M_Σ? 12. Чему равна сумма элементов столбца матрицы M_Σ и почему? 13. Чему равна сумма всех строк матрицы M_Σ, взятая по столбцу? 14. Каков физический смысл элементов строки C_{ij} матрицы коэффициентов токораспределения C_p? 15. Чему равна сумма элементов столбца матрицы C_p? 16. Чему равны диагональные элементы матрицы M_α при упорядоченной нумерации узлов и ветвей, основанной на принципе ярусности? 17. Как найти обратную матрицу? 18. Что значит рассчитать режим электрической системы? 19. Какова структура и размерность второй матрицы соединений? 20. Как формулируется основное свойство связанного направленного графа? 21. Дайте характеристику и область применения второй матрицы инцидентий N. 22. Почему для нахождения напряжений узлов сети относительно базисного U_Δ из выражений $U_B = M^T \cdot U_\Delta$ достаточно обратить матрицу M_α^T? 23. Какая связь существует между подматрицами первой и второй матриц инцидентий и как она формулируется? 24. Что значит рассчитать режим электрической системы? 25. Приведите состав исходной и выходной информации о режиме работы электрической сети 26. В чем отличия точных и итерационных методов расчета?
2	Характеристика методов математического описания установившегося режима сложной электрической	<ol style="list-style-type: none"> 1. Почему в расчетах установившихся режимов преимущественно используют уравнения узловых напряжений? 2. Что обуславливает нелинейность уравнений узловых напряжений? 3. Какова общая итерационная формула решения систем нелинейных уравнений различными методами? 4. Как связаны точность решения систем нелинейных уравнений и

	системы	<p>величины небаланса в узлах?</p> <p>5. Как решить систему нелинейных уравнений методом зейделя?</p> <p>6. Что характеризует эффективность метода зейделя?</p> <p>7. В чем состоит суть метода последовательного исключения гаусса? в чем его недостаток?</p> <p>8. Как решаются уравнения установившегося режима с помощью обратной матрицы</p> <p>9. В чем суть применения метода гаусса и матрицы зу для решения нелинейных уравнений узловых напряжений</p> <p>10. Как решить систему нелинейных уравнений методом Ньютона?</p> <p>11. Что такое сходимость итерационных вычислений?</p>
--	---------	---

5.3. Перечень типовых вопросов для практических занятий

1. В чем физическая суть законов Кирхгофа?
2. Что называют балансирующим узлом схемы?
3. Что такое опорный узел?
4. Что такое связанный направленный граф?
5. Что такое дерево и хорды схемы?
6. Что такое принцип ярусности?
7. Что такое блочная структура матрицы?
8. Какие матрицы называют невырожденными?
9. Каковы правила сложения и вычитания матриц?
10. Как разделить и умножить одну матрицу на другую?
11. Что такое матрица собственных и взаимных проводимостей?
12. Назовите отличия матриц M, N ?
13. Чему равна сумма элементов столбца матрицы M ?
14. Чему равна сумма элементов столбца матрицы M_{Σ} и почему?
15. Чему равна сумма всех строк матрицы M , взятая по столбцу?
16. Чему равны диагональные элементы матрицы M при упорядоченной нумерации узлов и ветвей, основанной на принципе ярусности?
17. Как найти обратную матрицу?
18. Чем отличаются матрицы $M, M_{\alpha}, M_{\Sigma}$?
19. Чему равна сумма всех строк матрицы M_{Σ} , взятая по столбцу?
20. Каков физический смысл элементов строки C_{ij} матрицы коэффициентов токораспределения C_p ?
21. Чему равна сумма элементов столбца матрицы C_p ?
22. Чему равны диагональные элементы матрицы M_{α} при упорядоченной нумерации узлов и ветвей, основанной на принципе ярусности?
23. Как найти обратную матрицу?
24. Что значит рассчитать режим электрической системы?
25. Какова структура и размерность второй матрицы соединений?
26. Как формулируется основное свойство связанного направленного графа?
27. Дайте характеристику и область применения второй матрицы инцидентий N .
28. Почему для нахождения напряжений узлов сети относительно базисного U_{Δ} из выражений $U_B = M^T \cdot U_{\Delta}$ достаточно обратить матрицу M_{α}^T ?

29. Какая связь существует между подматрицами первой и второй матриц инцидентий и как она формулируется?
30. Что значит рассчитать режим электрической системы?
31. В чем суть расчетов токораспределения с помощью метода узловых напряжений

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

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

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена:

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, определений, понятий	Не знает: – терминов и определений, основных понятий о режимах электрических систем и их математических моделях; принципов представления информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий и использовании матричных методов расчета параметров режима сложнозамкнутых электрических систем с применением законов Кирхгофа;	Знает термины и определения, основные понятия о режимах электрических систем и их математических моделях; принципы представления информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий и матричных методов расчета параметров режима сложнозамкнутых электрических систем с применением законов Кирхгофа, но допускает неточности формулировок	Знает технические термины и определения основных понятий о режимах электрических систем и их математических моделях, принципы представления информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий и использовании матричных методов расчета параметров режима сложнозамкнутых электрических систем с применением законов Кирхгофа	Знает технические термины и определения основных понятий о режимах электрических систем и их математических моделях; принципы представления информации о конфигурации электрической сети с помощью матриц инцидентий и использовании матричных методов расчета параметров режима сложнозамкнутых электрических систем с применением законов Кирхгофа и может корректно сформулировать их самостоятельно

<p>Знание основных закономерностей, соотношений, принципов</p>	<p>Не знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> – основных методов решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений и их систем; – о принципах формирования узловой модели установившегося режима электрической сети; – принципов расчета режима электрической сети с использованием матрицы коэффициентов распределения; – принципов расчета установившегося режима электрической сети итерационными методами (методом Ньютона) и методами последовательного исключения неизвестных (метод Гауса); – основных понятий о применении методов теории вероятности в задачах электроэнергетики 	<p>Знает, но допускает неточности при формулировке:</p> <ul style="list-style-type: none"> – методов решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений и их систем; – о принципах формирования узловой модели установившегося режима электрической сети; – принципов расчета режима электрической сети с использованием матрицы коэффициентов распределения; – принципов расчета установившегося режима электрической сети итерационными методами (методом Ньютона) и методами последовательного исключения неизвестных (метод Гауса); – основных понятий о применении методов теории вероятности в задачах электроэнергетики 	<p>Знает и способен интерпретировать основы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – методов решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений и их систем; – принципов формирования узловой модели установившегося режима электрической сети; – принципов расчета режима электрической сети с использованием матрицы коэффициентов распределения; – принципов расчета установившегося режима электрической сети итерационными методами (методом Ньютона) и методами последовательного исключения неизвестных (метод Гауса); – основных понятий о применении методов теории вероятности в задачах электроэнергетики 	<p>Знает и способен самостоятельно объяснить применение:</p> <ul style="list-style-type: none"> – методов решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений и их систем; – принципов формирования узловой модели установившегося режима электрической сети; – принципов расчета режима электрической сети с использованием матрицы коэффициентов распределения; – принципов расчета установившегося режима электрической сети итерационными методами (методом Ньютона) и методами последовательного исключения неизвестных (метод Гауса); – основных понятий о применении методов теории вероятности в задачах электроэнергетики
--	--	--	---	---

Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Имеет поверхностные знания основного материала дисциплины, не усвоив его детали	Знает материал дисциплины в полном объеме	Обладает твердыми и полными знаниями материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство задаваемых вопросов	Дает неполные ответы на большинство вопросов	Дает полные ответы на большую часть заданных вопросов	Дает полные, развернутые ответы на все поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими формулами, графиками, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие формулы, графики и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие формулы, рисунки и схемы корректно и правильно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Не излагает или неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Полнота ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы на вопросы экз. билета даны не верно	Ответы даны не в полном объеме	Ответы на вопросы билета раскрыты полностью	Ответы выполнены полностью, рациональным способом
Качество ответа на вопросы экзаменационного билета	Имеются существенные ошибки при ответе на вопросы билета	Ответы выполнены с существенными неточностями, не носящими принципиальный характер	Ответы выполнены с небольшими неточностями	Ответы выполнены без ошибок
Самостоятельность подготовки ответа на вопросы экзаменационного билета	Не может подготовить ответы, в том числе и с дополнительной помощью	Может выполнить задание только с дополнительной помощью	Выполняет задание в основном самостоятельно	Самостоятельно выполняет задание
Умение сравнивать, сопоставлять и обобщать и делать выводы	Не умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делать выводы при ответе на вопросы билета	Допускает ошибки при сопоставлении, обобщении и при формулировании выводов на заданные вопросы	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, но допускает небольшие неточности при формулировании выводов	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делает верные выводы на задаваемые вопросы
Качество оформления ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы оформлено настолько неряшливо, что не поддаются проверке	Ответы оформлены неаккуратно, отсутствуют необходимые пояснения в виде графиков, схем и формул	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями и ссылками на используемые источники

Правильность применения теоретического материала	При объяснении теоретического материала допускаются грубые ошибки в технических терминах	Объясняя теоретический материал, допускает ошибки, не носящие принципиальный характер	Теоретический материал применен и интерпретирован в целом правильно, но с несущественными неточностями	Теоретический материал применен и интерпретирован правильно
--	--	---	--	---

Оценка сформированности компетенций по показателю *Навыки*.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Выбор методики формирования ответов на вопросы билета	Неверно выбрана методика подготовки ответов	Методика формирования ответов выбрана в целом верно, но имеются незначительные неточности при описании расчетных зависимостей и графического материала	Методика выполнения ответов выбрана верно, но имеются недочеты, не относящиеся к основным расчетным зависимостям и графическому материалу	Выбрана верная или наиболее рациональная методика формирования ответов с применением графического и аналитического методов
Анализ результатов решения задачи	Не произведен анализ результатов решения задачи	Анализ результатов, полученных при решении задачи, выполняется только при помощи преподавателя	Допускаются незначительные неточности в ходе анализа результатов решения задачи	Произведен анализ результатов решения задачи и сделаны исчерпывающие выводы
Обоснование полученных результатов	Представляемые результаты не обоснованы	Имеются замечания к полученным результатам, отсутствует в достаточной степени их обоснование	Представляемые результаты обоснованы и в целом аргументированы, имеются ссылки на учебно-методическую литературу	Представляемые результаты обоснованы, четко аргументированы с указанием ссылок на нормативные, справочные и учебно-методические источники

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1.1. 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	Лекционные занятия проводятся в аудитории 223 мех. корпуса. Аудитория оснащена презентационной техникой. Курс лекций обеспечивается комплектом электронных презентаций. В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются мультимедийные средства, ноутбук
2	Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий	<p>Для лабораторных и практических занятий используется предустановленное лицензионное программное обеспечение:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Microsoft Windows 10 Корпоративная (Enterprise) (Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633/ Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01); • Microsoft Office Professional Plus 2016 (Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633/ Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01); • Microsoft Visio Professional 2013 (15.0.5015.1000) MSO (Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633/ Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01); • MathcadPrime 4.0 Express (свободно распространяемое ПО); • Matlab 2013b, v.8.2.0.701 (№ дог. Ах025341); • RastrWin3 Базовый комплекс (бесплатная студенческая лицензия с ограничением по числу учитываемых узлов сети).
3	Учебная аудитория для проведения практических занятий, лабораторных работ, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации	Практические занятия – специализированный компьютерный класс М424, оснащенный презентационной техникой (проектор Acer Projector P1165) и персональными компьютерами (Intel Core i3-8100 CPU 3.60 ГГц/ Gigabyte Z370 HD3/ RAM 8192 Мб/ HDD 1 Тб/ NVIDIA GeForce GTX 750/ LOC 23,8"/ ASUS DRW-24D5MT/ Wi-Fi/ LAN100Mb/ CyberPower BS850E), подключенными к локальной сети университета с доступом в интернет
4	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Для самостоятельной работы студентов предусмотрен компьютерный класс, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета, а также участием в программах Microsoft Office 365 для образования (студенческий) (№ дог. E04002C51M) с возможностью бесплатной загрузки программного обеспечения Microsoft.

6. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

6.1. Перечень основной литературы

3. Электрические системы, т.1. Математические задачи энергетики. Под ред. В. А. Веникова. Учебное пособие для электроэнергетических вузов. М., “Высшая школа”, 1981, 336 с.
4. Идельчик В. И. Электрические системы и сети. М., Энергоатомиздат, 1989
5. Веников В. А. Математические задачи электроэнергетики. М., “Высшая школа”, 1981
6. Расчет и анализ режимов работы сетей. Под ред. В. А. Веникова, Москва, Энергия, 1974
7. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Красноярск: ИПЦ КГТУ; Минск: БНТУ, 2006.- 808 с.
8. Ананичева С.С. Анализ электроэнергетических сетей и систем в примерах и задачах [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.С. Ананичева, С.Н. Шелюг. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2016. — 176 с. — 978-5-7996-1784-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65910.html>
9. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебник / Т.А. Филиппова. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 294 с. — 978-5-7782-2517-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45211.html>
10. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети [Текст]: учеб. пособие / А.В. Лыкин. – Москва: Логос, 2008. – 253 с.

6.2. Перечень дополнительной литературы

1. Ковалев И.Н. Электроэнергетические системы и сети [Электронный ресурс] : учебник / И.Н. Ковалев. — Электрон. текстовые данные. — М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. — 364 с. — 978-5-89035-813-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45349.html>
2. Русина А.Г. Балансы мощности и выработки электроэнергии в электроэнергетической системе [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А.Г. Русина, Т.А. Филиппова. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55 с. — 978-5-7782-1935-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45078.html>
3. Долгов А.П. Устойчивость электрических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.П. Долгов. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 177 с. — 978-5-7782-1320-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45182.html>
4. Ананичева С.С. Модели развития электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.С. Ананичева, П.Е. Мезенцев, А.Л. Мызин. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский

федеральный университет, 2014. — 148 с. — 978-5-321-02313-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65947.html>

6.3. Перечень интернет ресурсов

1. Методические указания по определению устойчивости энергосистем. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200035338>. – Заглавие с экрана.

2. Методические указания по определению устойчивости энергосистем. Часть 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200035339>. – Заглавие с экрана.

3. <http://www.forca.ru> – Электрические сети, оборудование электроустановок

4. <http://www.twirpx.com> – служба, обеспечивающая с помощью специализированного аппаратно-программного обеспечения хранение, накопление, передачу и обработку материалов Пользователей, представленной в электронном виде в публичный доступ. Интернет-библиотека, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания