

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 08.10.2022 20:40:17  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ee536f0fcb

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»

Кафедра «Электроснабжение»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 30 » 09

2022г



## Математические задачи энергетики

Методические указания по организации самостоятельной работы  
обучающихся направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика  
и электротехника»

Курск 2022

УДК 621.311

Составитель канд. техн. наук, доцент В.Н. Алябьев

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *О.М.Ларин*

Математические задачи энергетики: методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»/ Юго-зап. гос. ун-т; сост. В.Н.Алябьев; Курск, 2022. 26 с.

Приведены структура, методики реализации самостоятельной работы, задания, вопросы для подготовки к защите индивидуального задания на самостоятельную работу. Представлена методика применения кредитно-рейтинговой системы.

Предназначены для студентов всех форм обучения направления подготовки Электроэнергетика и электротехника.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать                      Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л.                      . Уч.-изд.л.                      . Тираж 30 экз. Заказ *104* . Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

	Общие сведения.....	4
1	Структура самостоятельной работы .....	5
2	Методика реализации самостоятельной работы по изучению теоретического курса .....	7
3	Методика реализации самостоятельной работы при решении задач	7
4	Методика реализации самостоятельной работы при выполнении индивидуального задания .....	16
4.1	Структура индивидуального задания	16
4.2	Требования к оформлению индивидуального задания	16
4.3	Методика выполнения индивидуального задания	18
4.4	Вопросы для подготовки к защите индивидуального задания	19
5	Реализация графика самостоятельной работы .....	21
6	Методика применения кредитно-рейтинговой системы.....	22
7	Методика проведения промежуточной аттестации .....	24
	Список использованных источников.....	25

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Самостоятельная работа по дисциплине «Математические задачи энергетики» должна способствовать достижению следующих целей:

- освоение студентами практических навыков формирования уравнений состояния электроэнергетической системы;
- развитие умений и навыков в практических методах расчета режимов работы сложных электроэнергетических систем;
- формирование у студентов способности применять физико-математический аппарат для решения поставленных задач.

Практические задачи, при решении которых специалист-электрик сталкивается с необходимостью количественной оценки тех или иных параметров электроэнергетической системы, многочисленны и разнообразны. Однако все они в конечном итоге объединены единой целью - обеспечить надежность работы отдельных элементов и электрической системы в целом.

Выпускник по направлению подготовки бакалавров 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника в соответствии с целями основной образовательной программы и задачами профессиональной деятельности должен обладать следующими компетенциями:

ПК-2. Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.

ПК-2.1. Проводит маркетинговые исследования научно-технической информации

ПК-2.2. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта и результатов экспериментов и исследований в области профессиональной деятельности

ПК-2.3. Готовит предложения для составления планов и методических программ исследований и разработок, практических рекомендаций по исполнению их результатов

Для изучения дисциплины «Математические задачи энергетики» необходимы остаточные знания по дисциплинам: физика; высшая математика (векторная алгебра, комплексные числа, дифференциальные и операционные исчисления и др.); теоретические основы электротехники (расчет электрических цепей переменного трехфазного тока); электрические машины (синхронные и асинхронные машины); электроэнергетические системы и сети (параметры схемы замещения воздушных и кабельных линий электропередачи, трансформаторов различного исполнения и др.).

## 1. СТРУКТУРА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа включает изучение некоторых вопросов теоретического курса, самостоятельное решение задач и выполнение индивидуального задания на самостоятельную работу. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы (108 часов), из них на самостоятельную работу и подготовку к экзамену отводится 71,9 часа.

Структура самостоятельной работы приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

№ раздела (темы)	Наименование раздела (темы) дисциплины	Срок выполнения (неделя)	Время, затрачиваемое на выполнение СРС, час.
1	Введение	2	4
2	Математические модели установившихся режимов	5	10
3	Методы решения уравнений установившегося режима	12	18
4	Математический аппарат для изучения статической устойчивости установившегося режима	16	12
5	Математический аппарат для изучения переходных процессов в линейных и нелинейных электрических системах	18	8
6	Выполнение индивидуального задания на самостоятельную работу	18	19,9
Итого			71,9

Содержание самостоятельной работы по темам, литература и компетенции, приобретаемые студентами, приведены в таблице 1.2

Таблица 1.2

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Виды деятельности			Учебно-методические материалы	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)	Компетенции
		лек час	№ лаб	№ пр.			
1	Введение	2	1		У-1, МУ-1, МУ-3	С	ПК-2
2	Математические модели установившихся режимов	4	2		У-1, У-2, У-3, МУ-1, МУ-2, 3	С	ПК-2
3	Методы решения уравнений установившегося режима	6	3,4, 5		У-1, У-3, У-4, МУ-1, МУ-2,3	С,К	ПК-2
4	Математический аппарат для изучения статической устойчивости установившегося режима	4	6,7, 8		У-1, У-2, У-3, МУ-1, МУ-3	С	ПК-2
5	Математический аппарат для изучения переходных процессов в линейных и нелинейных электрических системах	2	9		У-1, У-3, МУ-1, МУ-3	С	ПК-2

Самостоятельное изучение вопросов теоретического курса необходимо для лучшего усвоения наиболее важных моментов. Решение практических задач позволяет закрепить материал, изучаемый в аудитории, и проверить готовность самостоятельно решать задачи на пройденные темы. Итоговым видом самостоятельной работы является индивидуальное задание, которое комплексно объединяет теоретический курс и решение задач. Методики реализации видов самостоятельной работы рассмотрены ниже.

## **2. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КУРСА**

Для самостоятельной проработки теоретических вопросов необходимо использовать учебно-методические материалы по дисциплине [2, 3, 4, 5], а также другую доступную литературу.

Вопросы теоретического курса, выносимые на самостоятельную работу

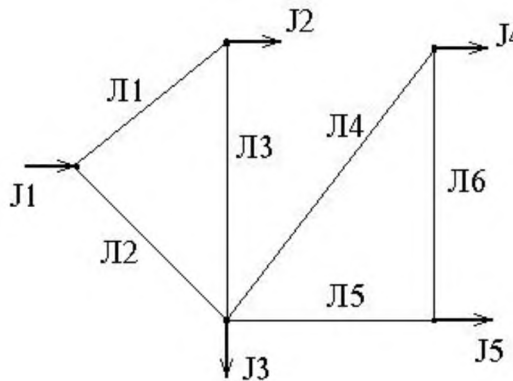
1. Метод разложения матрицы коэффициентов системы уравнений и произведений двух треугольных матриц (LU-разбиение).
2. Оценка величины максимального по модулю собственного числа с помощью нормы матрицы преобразования. Применение этих оценок к уравнениям режима электрической сети.
3. Метод определяющих переменных для систем уравнений с разреженными матрицами.
4. Анализ устойчивости установившегося режима работы электроэнергетической системы с использованием собственных векторов матрицы коэффициентов характеристического уравнения.
5. Расчет на ЭВМ режима работы конкретного фрагмента электроэнергетической системы.
6. Расчет нормального установившегося режима работы типового узла электрической нагрузки.
7. Расчет послеаварийного установившегося режима работы типового узла электрической нагрузки.
8. Разбиение электроэнергетической системы на подсистемы и расчет потоков мощности.
9. Сравнительный анализ точных и итерационных методов расчета установившихся режимов.
10. Анализ сходимости итерационных процессов применительно к типовым узлам электрической нагрузки.

## **3. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ**

Для лучшего усвоения вопросов, рассматриваемых на практических занятиях, предусмотрено самостоятельное решение задач. Задачи выдаются преподавателем в конце практического занятия согласно графику учебного процесса. Форма отчетности - наличие решенных задач, правильность выполнения которых проверяет преподаватель. Для самостоятельного ре-

шения рекомендуется использовать [1, 4, 5, 10]. Примерный перечень практических задач для самостоятельного решения по разделам:

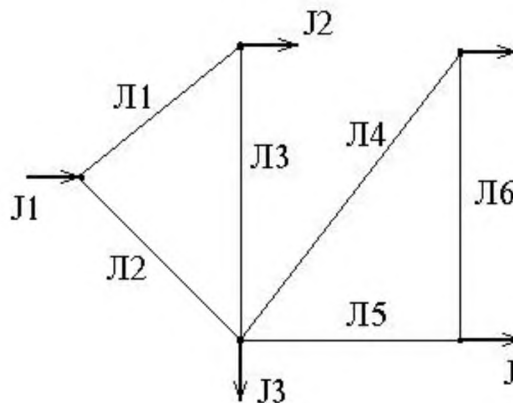
1. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $m$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 20, Л2 – 25, Л3 – 22,  
 Л4 – 23, Л5 – 24, Л6 – 20

$$\chi_{\text{ит}} = 0,4 \text{ Ом/км}$$

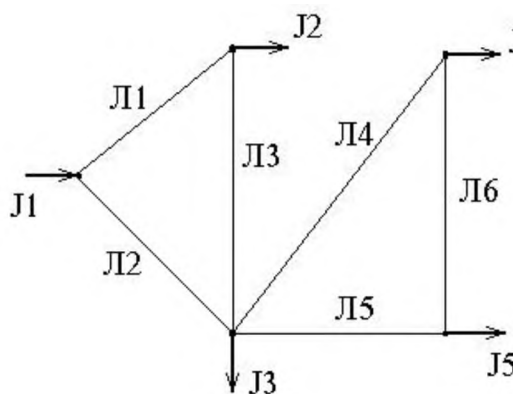
2. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $l$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 24, Л2 – 18, Л3 – 20,  
 Л4 – 23, Л5 – 21, Л6 – 19

$$\chi_{\text{ит}} = 0,4 \text{ Ом/км}$$

3. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $k$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.

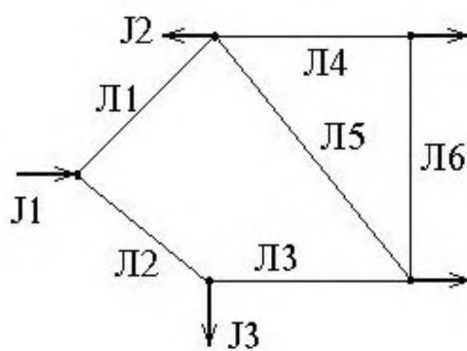


Длины линий, км:  
 Л1 – 18, Л2 – 12, Л3 – 14,  
 Л4 – 20, Л5 – 8, Л6 – 16

$$\chi_{\text{ит}} = 0,4 \text{ Ом/км}$$



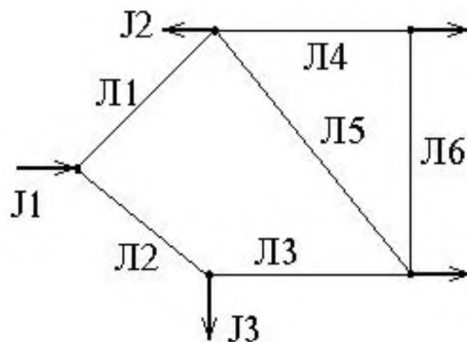
4. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $m$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 $L1 - 20, L2 - 25, L3 - 22,$   
 $L4 - 23, L5 - 24, L6 - 20$

$\chi_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$

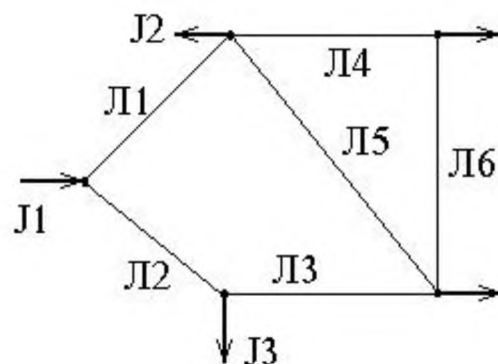
5. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $l$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 $L1 - 24, L2 - 18, L3 - 20,$   
 $L4 - 23, L5 - 21, L6 - 19$

$\chi_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$

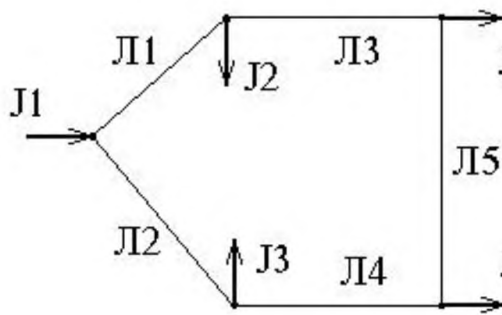
6. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $k$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 $L1 - 18, L2 - 12, L3 - 14,$   
 $L4 - 20, L5 - 8, L6 - 16$

$\chi_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$

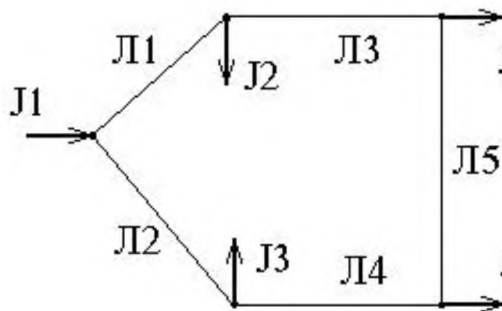
7. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $m$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 20, Л2 – 25, Л3 – 22,  
 Л4 – 23, Л5 – 24, Л6 – 20

$$x_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$$

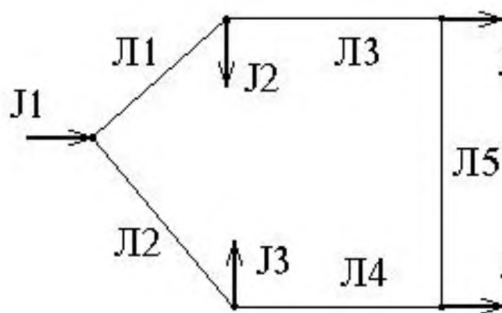
8. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $l$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 24, Л2 – 18, Л3 – 20,  
 Л4 – 23, Л5 – 21, Л6 – 19

$$x_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$$

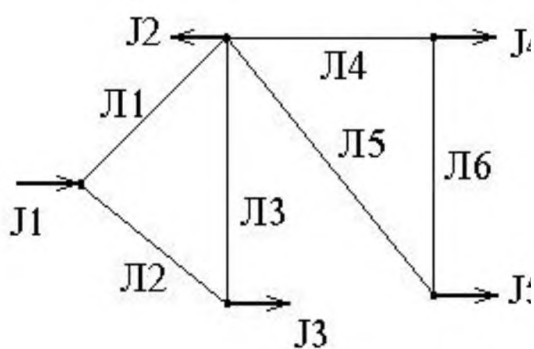
9. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $k$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 18, Л2 – 12, Л3 – 14,  
 Л4 – 20, Л5 – 8, Л6 – 16

$$x_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$$

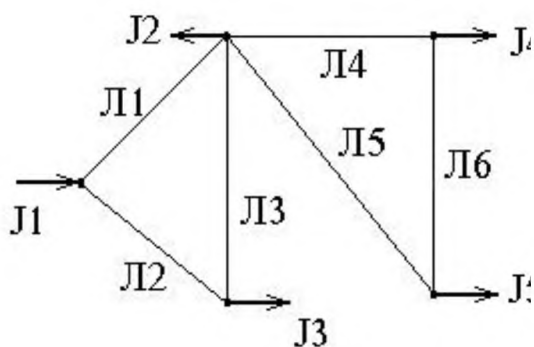
10. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $m$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 20, Л2 – 25, Л3 – 22,  
 Л4 – 23, Л5 – 24, Л6 – 20

$\chi_{\text{П}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

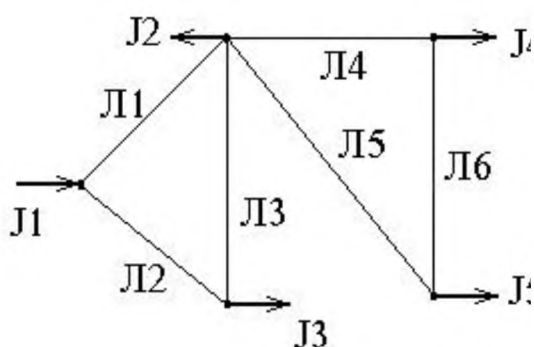
11. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $l$ - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 24, Л2 – 18, Л3 – 20,  
 Л4 – 23, Л5 – 21, Л6 – 19

$\chi_{\text{П}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

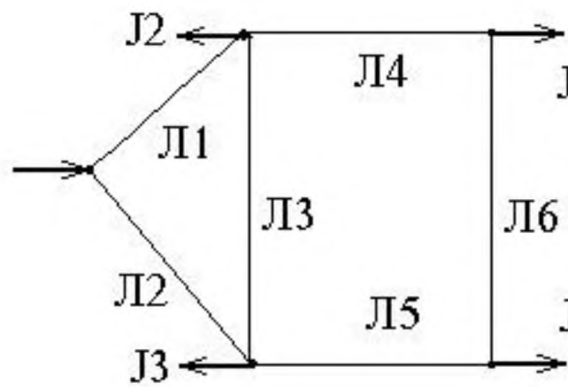
12. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $k$ - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 18, Л2 – 12, Л3 – 14,  
 Л4 – 20, Л5 – 8, Л6 – 16

$\chi_{\text{П}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

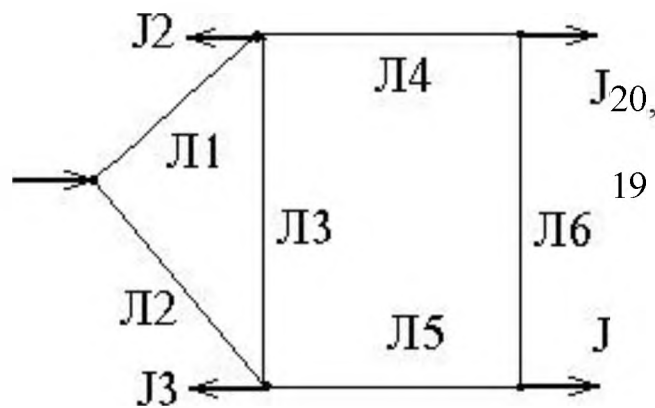
13. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $m$ - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 20, Л2 – 25, Л3 – 22,  
 Л4 – 23, Л5 – 24, Л6 – 20

$\chi_{II} = 0,4 \text{ Ом/км}$

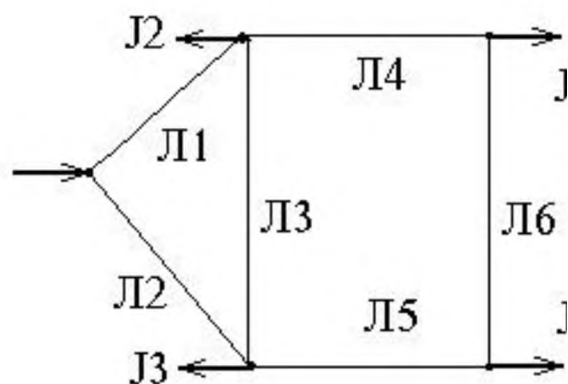
14. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $l$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 24, Л2 – 18, Л3 –  
 Л4 – 23, Л5 – 21, Л6 –  
 19

$\chi_{II} = 0,4 \text{ Ом/км}$

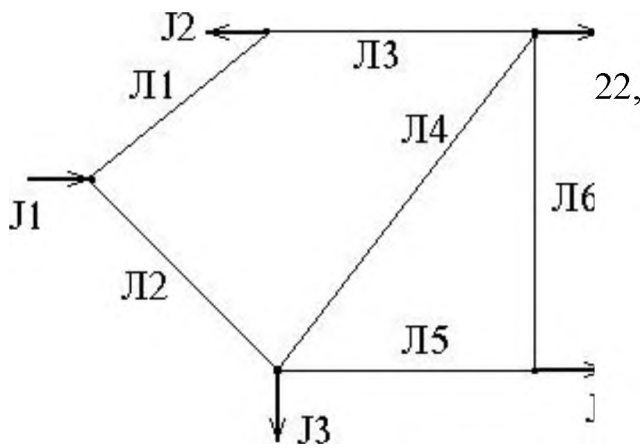
15. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $k$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 18, Л2 – 12, Л3 – 14,  
 Л4 – 20, Л5 – 8, Л6 – 16

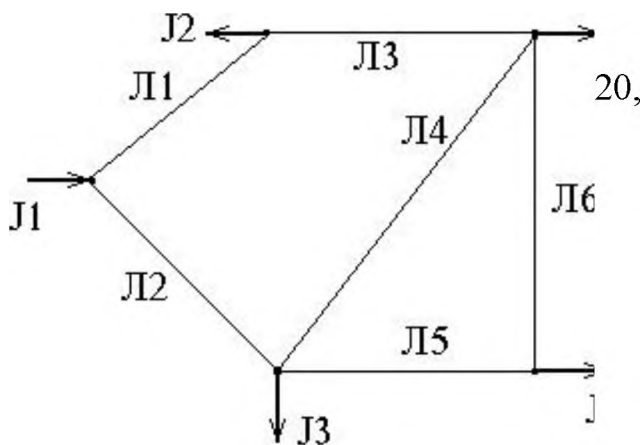
$\chi_{II} = 0,4 \text{ Ом/км}$

16. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $m$  - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



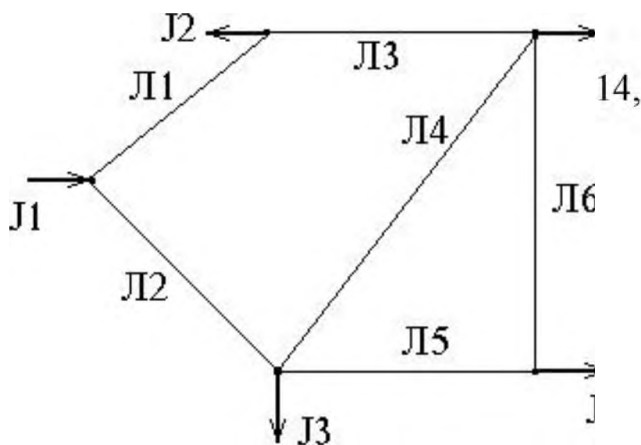
Длины линий, км:  
 Л1 – 20, Л2 – 25, Л3 – 22,  
 Л4 – 23, Л5 – 24, Л6 – 20  
 $\alpha_{\text{II}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

17. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $l$ - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



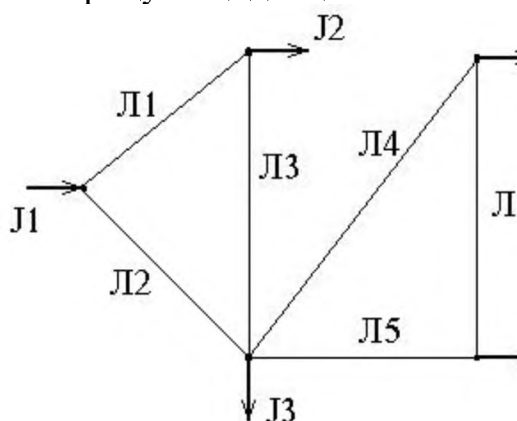
Длины линий, км:  
 Л1 – 24, Л2 – 18, Л3 – 20,  
 Л4 – 23, Л5 – 21, Л6 – 19  
 $\alpha_{\text{II}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

18. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей, рассчитать  $k$ - норму матрицы итерационного процесса и сделать вывод о его сходимости.



Длины линий, км:  
 Л1 – 18, Л2 – 12, Л3 – 14,  
 Л4 – 20, Л5 – 8, Л6 – 16  
 $\alpha_{\text{II}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

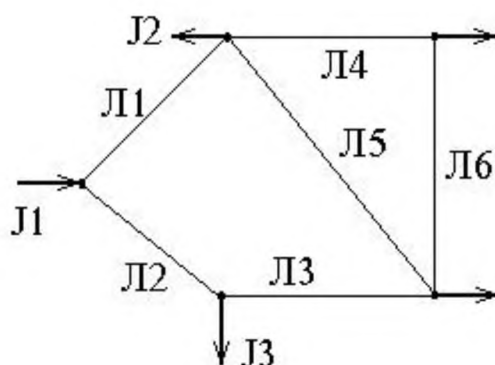
19. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей и первую матрицу инцидентий.



Длины линий, км:  
 Л1 – 20, Л2 – 25, Л3 – 22,  
 Л4 – 23, Л5 – 24, Л6 – 20

$\chi_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$

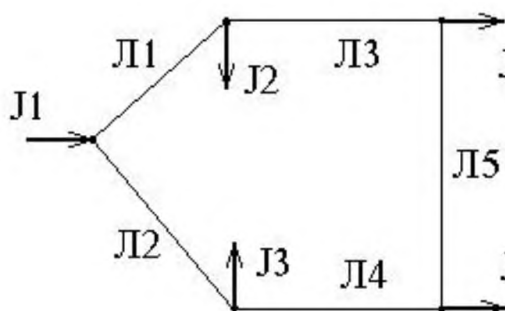
20. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей и первую матрицу инцидентий.



Длины линий, км:  
 Л1 – 24, Л2 – 18, Л3 – 20,  
 Л4 – 23, Л5 – 21, Л6 – 19

$\chi_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$

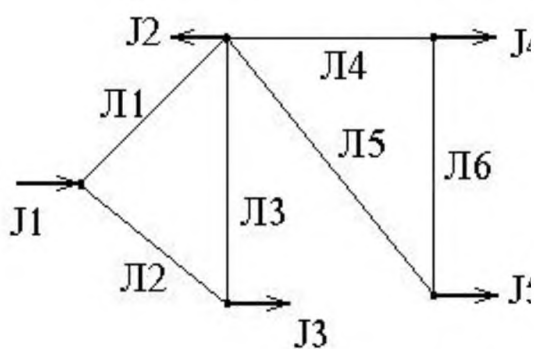
21. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей и первую матрицу инцидентий.



Длины линий, км:  
 Л1 – 18, Л2 – 12, Л3 – 14,  
 Л4 – 20, Л5 – 8, Л6 – 16

$\chi_{\Pi} = 0,4 \text{ Ом/км}$

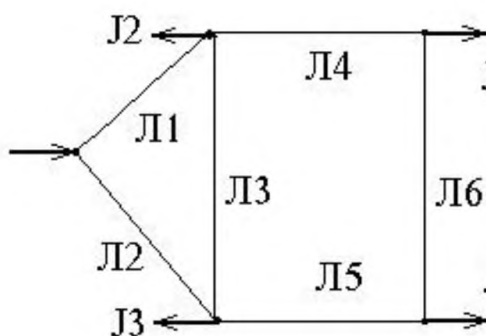
22. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей и вторую матрицу инцидентий.



Длины линий, км:  
 Л1 – 20, Л2 – 25, Л3 – 22,  
 Л4 – 23, Л5 – 24, Л6 – 20

$\chi_{\text{л}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

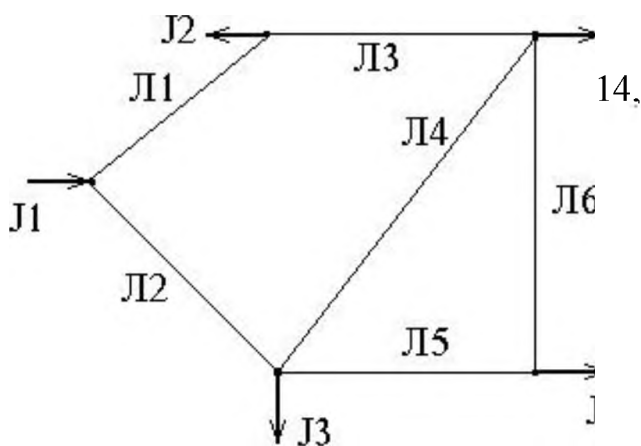
23. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей и вторую матрицу инцидентий.



Длины линий, км:  
 Л1 – 24, Л2 – 18, Л3 – 20,  
 Л4 – 23, Л5 – 21, Л6 – 19

$\chi_{\text{л}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

24. По заданной схеме составить матрицу узловых проводимостей и вторую матрицу инцидентий.



Длины линий, км:  
 Л1 – 18, Л2 – 12, Л3 – 14,  
 Л4 – 20, Л5 – 8, Л6 – 16

$\chi_{\text{л}} = 0,4 \text{ Ом/км}$

25. Рассчитать  $m$ -,  $l$ - и  $k$ - нормы заданной матрицы матрицы.

0,000	0,298	0,447	0,000
0,333	0,000	0,000	0,267
0,467	0,000	0,000	0,533
0,597	0,000	0,682	0,000

## **4. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ**

Одним из видов самостоятельной работы является выполнение индивидуального задания.

Цель работы - закрепить и систематизировать знания, полученные по дисциплине, в области расчета установившихся режимов; ролучить навыки самостоятельной творческой работы.

Расчеты установившихся режимов составляют значительную часть от полного объема исследований электроэнергетических систем, проводимых как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации этих систем. Данные расчеты необходимы при выборе конфигурации схемы электрической системы и параметров ее элементов, анализе рабочих режимов, нахождении оптимальных режимов ее работы.

В процессе выполнения данной работы приобретаются навыки расчета параметров электроэнергетической системы и параметров режима её работы, закрепляются знания, полученные на аудиторных занятиях.

### **4.1. Структура индивидуального задания**

Тема – «Применение метода последовательной релаксации для расчета установившихся режимов работы электроэнергетических систем».

Выполнение задания состоит из шести этапов.

1. Формирование полной системы уравнений
2. Преобразование матриц узловой проводимости, узловых напряжений и задающих токов узлов
3. Формирование уравнения итерационного процесса
4. Приведение уравнений к итерационному виду по методу последовательной верхней релаксации, получение решения.
5. Построение графика зависимости точности решения от номера шага итерации.
6. Оформление отчета по самостоятельной работе.

### **4.2. Требования к оформлению индивидуального задания**

Отчет должен состоять из титульного листа с названием работы, оглавления, основных расчетов и их результатов, анализа результатов расчетов, выводов, списка использованной литературы и приложений в виде результатов расчетов на ЭВМ.

Рисунки должны быть пронумерованы и иметь подрисуночные надписи. Сокращения слов в записке не допускаются, за исключением об-



щепринятых. Материал излагают от первого лица множественного числа, может быть использована неопределенная форма. Листы брошюруют в папку и нумеруют.

Изображения элементов сетей, надписи на чертежах, обозначения размерностей и т. п. должны быть выполнены в соответствии с действующими государственными стандартами и стандартом предприятия [10].

Количество значащих цифр при вычислениях должно соответствовать требованиям точности расчета и точности исходных данных. В расчетах обязательно указание единиц измерения без скобок с расстановкой знаков препинания.

Рисунки и таблицы предваряют упоминанием в тексте. Они должны иметь сквозную нумерацию. Кроме номера, внедренные объекты, как правило, сопровождают названиями. Название и номер таблицы указывают сверху, номер рисунка - снизу по оси симметрии. Построение графических зависимостей осуществляют по расчетным значениям и сопровождают в тексте документа таблицами с рассчитанными данными.

Печать документа осуществляют на лазерном или струйном принтере. Формат бумаги, применяемой для печати текстовой части документа, выбирают размером 210x297 мм. Устанавливают следующие границы полей текстового документа: верхнего - 15 мм, нижнего - 25 мм, левого - 30 мм, правого - 15 мм. Размер абзацного отступа составляет 12,5 мм. Его выдерживают равным по всему документу. Основной текст выполняют шрифтом Times New Roman Cyr через 1,5 интервала без применения какого-либо выделения. Размер шрифта устанавливают в 12-14 пунктов с выравниванием по обеим границам и автоматической расстановкой переносов. Для выделения важных текстовых фрагментов, выводов и т. п. возможно использование курсивных шрифтов, жирных шрифтов, рамок и др., в том числе шрифта Arial Cyr. Выделения прописными буквами не допускаются. Расположение в тексте пустых строк не допускается, за исключением строк перед заголовками и после них. Высоту пустой строки устанавливают размером 8 пт.

Знаки препинания от предшествующих знаков не отделяют, а от последующих знаков отделяют одним пробелом. Дефис от предшествующих и последующих знаков не отделяют, а тире - отделяют пробелом с обеих сторон. Кавычки и скобки не отделяют от заключенных в них элементов. Знаки препинания от кавычек и скобок не отделяют. Знак процента от числа отделяют пробелом, знаки углового градуса, минуты, секунды от числа не отделяют. К остальным импортированным символам, в том числе специальным, применяют правила, установленные стандартной настройкой графической оболочки, используемой по умолчанию.

Заголовки граф таблиц выравнивают по центру. Для таблиц, расположенных более чем на одном листе, заголовки граф нумеруют. В продолжении таблицы на другом листе вместо заголовков граф проставляют их номера.

### 4.3. Методика выполнения индивидуального задания

При расчетах установившихся режимов широко применяются уравнения узловых напряжений. Преимущества, обеспечившие им широкое практическое применение, состоят в простоте формирования, больших возможностях эффективной организации вычислительного процесса и в меньшем количестве переменных в сравнении с контурными уравнениями.

Линейные алгебраические уравнения, встречающиеся при решении задач установившегося режима, имеют следующие характерные особенности: матрица коэффициентов системы симметричная, в подавляющем большинстве случаев матрица коэффициентов системы уравнений является слабо заполненной, т.е. содержит большое число нулевых элементов.

Если узлы  $k$  и  $j$  не соединены непосредственно друг с другом, то взаимная проводимость  $Y_{kj} = 0$ . В сложных электрических системах узел  $k$  соединен не со всеми остальными узлами, а лишь с некоторыми из них. Поэтому большинство взаимных проводимостей (элементов матрицы  $Y_{kj}$ ) равно нулю, т.е.  $Y_{kj}$  слабо заполнена. Так, число ненулевых элементов в матрице узловых проводимостей для сложных схем замещения электрических систем с большим количеством узлов ( $n$ ) составляет примерно  $4n$ , т.е.  $n^2 - 4n$  элементов этой матрицы равны нулю.

Решение систем линейных алгебраических уравнений можно получать как с помощью прямых, так и с помощью итерационных методов. Для систем уравнений средней размерности чаще используют прямые методы.

Итерационные методы применяют главным образом при решении задач большой размерности, когда использование прямых методов невозможно из-за ограничений в доступной оперативной памяти ЭВМ или из-за необходимости выполнения чрезмерно большого числа арифметических операций.

Методы исключения для решения систем со слабо заполненными или разреженными матрицами неудобны тем, что при их использовании большое число нулевых элементов превращается в ненулевые, и матрица теряет свойство разреженности. В противоположность им при использовании итерационных методов в ходе итерационного процесса матрица не изменяется и, естественно, остается разреженной.

Одним из наиболее эффективных и широко используемых итерационных методов является метод последовательной верхней релаксации. Он применяется для решения систем линейных алгебраических уравнений с симметричными положительно определенными матрицами, к которым относятся и матрицы узловых проводимостей. В литературе можно найти другое название этого метода - SOR-метод.

Метод состоит в следующем: при вычислении очередного  $(k+1)$  приближения неизвестного  $x_i$  при  $i > 1$  используют уже найденные  $(k+1)$  приближения неизвестных  $x_1, x_2, \dots, x_{i-1}$ . Кроме того, после вычисления значения  $x_i$  производят дополнительное смещение значения  $x_i$  на величину  $(\omega - 1)(x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)})$ ,

где  $\omega$  - параметр релаксации. Вычисление  $x^{(k+1)}$  производится таким образом по следующей компактной формуле

$$(1) \quad x^{(k+1)} = (1 - \omega)x^{(k)} + \omega B_1 x^{(k+1)} + \omega B_2 x^{(k)} + \omega C$$

где  $\omega$  - параметр релаксации, находящийся в пределах  $0 < \omega < 2$ ;

$B_1, B_2, C$  - соответственно верхняя и нижняя треугольные матрицы и столбец свободных членов системы уравнений, приведенной к итерационному виду.

#### 4.4. Вопросы для подготовки к защите индивидуального задания

1. Правила выполнения арифметических действий над матрицами.
2. Основные способы нахождения обратной матрицы.
3. На основе какого закона составляются уравнения узловых напряжений?
4. Какова размерность системы узловых напряжений, если полное число узлов схемы равно 7.
5. Какова размерность системы узловых напряжений, если число независимых узлов схемы равно 21.
6. Какой из методов расчета режима работы электрической сети относится к точным?
7. Уравнения состояния линейной электрической цепи.
8. Уравнения узловых напряжений.
9. Свойства матрицы узловых проводимостей.
10. Формирование матричных уравнений состояния электрической цепи.
11. Как заменить источник ЭДС задающим током?
12. Какой из методов расчета режима работы электрической сети относится к итерационным?
13. Методы решения систем линейных уравнений режима.
14. Метод Крамера.
15. Метод Гаусса.
16. Расчет с помощью матрицы  $Z_u$ .

17. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
18. Метод простых итераций.
19. Метод Зейделя.
20. Метод последовательной релаксации.
21. Эквивалентирование системы.
22. Разделение на подсистемы и учет слабой заполненности матриц.
23. Алгоритм метода Гаусса.
24. Модификация метода Гаусса.
25. Факторы, влияющие на точность решения.
26. Достоинства и недостатки метода Гаусса.
27. Алгоритм метода простой итерации.
28. Условия сходимости метода простой итерации.
29. Факторы, влияющие на сходимость итерационного процесса.
30. Достоинства и недостатки метода простой итерации.
31. Алгоритм метода Зейделя.
32. Условия сходимости метода Зейделя.
33. От чего зависит количество итераций в методе Зейделя?

## 5. РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа по дисциплине «Математические задачи энергетики» должна способствовать:

закреплению знаний студентов о способах математической формулировки основных задач анализа режимов работы и устойчивости электроэнергетических систем, а также математических методах решения таких задач, ориентированных на применение ЭВМ;

развитию инженерного мышления;

совершенствованию навыков применения методов расчёта режимов работы и устойчивости систем;

воспитанию способности к физической интерпретации результатов анализа.

Самостоятельная работа включает в себя изучение некоторых вопросов теоретического курса, самостоятельное решение задач и выполнение индивидуального задания.

В соответствии с учебной программой следует соблюдать определённый порядок самостоятельной работы. В табл.1.1 приведён примерный график самостоятельной работы, выполнение которого является залогом успешного усвоения дисциплины, сдачи в срок курсовой работы и экзамена.

При выполнении графика самостоятельной работы могут возникать вопросы, которые следует решать на консультациях, предусмотренных объёмом учебной нагрузки преподавателя.

Задачи для самостоятельного решения с целью закрепления материала выдаются согласно читаемому лекционному материалу и темам лабораторных занятий. В журнале преподаватель делает соответствующие записи по мере выполнения студентом графика самостоятельной работы, используя систему зачётных единиц.

## 6. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ КРЕДИТНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ

В соответствии с Положением об организации учебного процесса в ЮЗГУ с использованием зачётных единиц (кредитов) и балльно-рейтинговой системы организация учебного процесса характеризуется следующими особенностями:

- используется Европейская система переноса и накопления зачётных единиц (кредитов ECTS) для оценки успешности освоения студентами учебных дисциплин;
- применяются основные инструменты ECTS: учебный договор, программы курсов, зачётные книжки;
- полная обеспеченность учебного процесса всеми необходимыми материалами в печатной и электронной формах: учебниками, методическими пособиями, учебно-электронными материалами, доступом к локальным и глобальным сетевым образовательным ресурсам;
- личное участие каждого студента в формировании своего индивидуального учебного плана на основе большой свободы выбора дисциплин.

Трудоёмкость всех видов учебной работы в планах бакалавров и специалистов устанавливается в зачётных единицах (з. е.), как правило, 1 з. е. = 36 академическим часам общей трудоёмкости или 27 астрономическим часам. Трудоёмкость может корректироваться в ходе мониторинга учебного процесса по особому регламенту.

Таким образом, одна з. е. (кредит) является условным параметром, рассчитываемым на основе реалистичных экспертных оценок совокупных трудозатрат среднего студента, необходимых для достижения целей обучения. Зачётные единицы назначаются всем образовательным компонентам учебного плана.

В табл. 6.1 и табл. 6.2 приведены нормативы расчёта трудоёмкости дисциплин и видов работы учебных планов и перевод баллов 100-балльной шкалы в их числовые коэффициенты и буквенные оценки при использовании кредитно-рейтинговой системы.

Текущая работа в семестре составляет 60 %, оценка на экзамене - 40 %. В зачётку выставляется средневзвешенная оценка. При изучении дисциплин существуют следующие виды контроля.

**Текущая аттестация** - аттестация во время семестра, включающая аттестацию на практических, семинарских занятиях, контрольных неделях, тестирование, защиту курсовой работы. Форма аттестации, её программа и трудоёмкость определяются кафедрой и вносятся в лист контрольных ме-

роприятий студента по дисциплине. Преподаватель в начале семестра доводит это до сведения студентов.

Оценка в 100-балльной шкале за выполнение и защиту курсовой работы вносится в ведомость, зачётную книжку и приложение к диплому.

**Промежуточная аттестация** - аттестация в период сессии, включающая зачёты и экзамены, предусмотренные учебным планом и действующим в ЮЗГУ Положением о промежуточной аттестации. Трудоёмкость промежуточной аттестации устанавливается кафедрой в соответствии с Положением о промежуточной аттестации.

Неучастие в итоговой аттестации в установленный срок без уважительной причины приравнивается к неудовлетворительной оценке. Если причина неучастия студента в промежуточном контрольном мероприятии является уважительной, преподаватель переносит это мероприятие для данного студента на другое время.

Таблица 6.1.

Наименование	Расчёт трудоёмкости в з. е.
Общая трудоёмкость; трудоёмкость дисциплины, включающая зачёт и трудоёмкость курсовых проектов (работ)	1 з. е. = 36 академических часов
Максимальная недельная трудоёмкость; трудоёмкость одной недели итоговой аттестации	1,5 з. е. = 54 академических часа
Трудоёмкость семестрового экзамена (3 дня для подготовки и 1 день на экзамен) при выделении этой трудоёмкости в учебном плане	1 з. е.
Общая семестровая трудоёмкость	30 з. е.
Общая годовая трудоёмкость	60 з. е.

Таблица 6.2.

Оценка в 100-балльной шкале	Оценка в традиционной шкале	Буквенные эквиваленты оценок в шкале ECTS (% успешно аттестованных)
85-100	5 (отлично)	A (отлично) - 10 %
70-84	4 (хорошо)	B (очень хорошо) - 25 %
50-69	3(удовлетворительно)	C (хорошо) - 30 % D(удовлетворительно) - 25 % E(посредственно) - 10 %
0-49	2(неудовлетворительно)	FX - неудовлетворительно, с возможной передачей F - неудовлетворительно, с повторным изучением дисциплины

## **7. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Промежуточная аттестация самостоятельной работы проводится с целью контроля за процессом самостоятельного изучения ряда вопросов, подробно не рассматриваемых в теоретическом курсе; закрепления методики решения практических задач и своевременного выполнения индивидуального задания.

Контроль качества проработки тем самостоятельной подготовки - предоставление конспекта объёмом 3-6 страниц по каждой теме. Преподаватель назначает время для проверки конспектов и беседы со студентом.

По всем видам самостоятельной работы преподавателем в течение семестра проводятся консультации.

Студенты, не выполнившие график самостоятельной работы, до сдачи экзамена не допускаются.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Математическое моделирование электрических систем и их элементов: учебное пособие / А. В. Лыкин. - 3-е изд. - Новосибирск: НГТУ, 2013. - 227 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228767> (дата обращения: 18.03.2019). - Режим доступа: по подписке. - Текст: электронный.
2. Электропитающие системы и электрические сети : учебное пособие/ Н.В.Хорошилов [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2012. - 352 с. - Текст: непосредственный.
3. Электроэнергетические системы и сети : учебное пособие : [предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»] / Н. В. Хорошилов [и др.] ; Юго-Западный государственный университет. – Курск : ЮЗГУ, 2014. - 147 с. - Текст: непосредственный.
4. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики : учебник для электроэнергетических специальностей вузов / Э. Н. Зуев, И. В. Литкенс ; под ред. В. А. Веникова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1981. - 288 с. - Текст : непосредственный.
5. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. - М. : Академия, 2004. - 448 с. - Текст : непосредственный.
6. Математические задачи энергетики : методические указания к лабораторным работам для студентов всех форм обучения направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. : В. Н. Алябьев, О. М. Ларин. – Курск : ЮЗГУ, 2017. - 32 с. - Текст: электронный.
7. Применение метода последовательной релаксации для расчета установившихся режимов работы электроэнергетических систем : методические указания к выполнению индивидуального задания на самостоятельную работу для студентов всех форм обучения направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост. : В. Н. Алябьев, О. М. Ларин. – Курск : ЮЗГУ, 2011. - 14 с. - Текст: электронный.
8. Электроэнергетические системы и сети : учебное пособие : [предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»] / Н. В. Хорошилов [и др.] ; Юго-Западный государственный университет. - Курск : ЮЗГУ, 2014. - 147 с. - Текст: непосредственный.
9. Энергетические системы в примерах и иллюстрациях. Под ред. В.А.Веникова. М.:Энергоатомиздат, 1983.

10. Лыкин А. В. Электрические системы и сети [Текст] : учебное пособие / А. В. Лыкин. - М. : Логос, 2007. - 254 с.