

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

## **ОБОСНОВАНИЕ МАРШРУТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к практическим занятиям и выполнению курсовой работы  
для студентов направления подготовки  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
(профиль «Проектирование и строительство городских  
систем энергоснабжения») всех форм обучения*

Воронеж 2023

УДК 69.003:621.315(07)  
ББК 31.38я7

***Составитель:***

д-р техн. наук О. А. Куцыгина,  
ст. преподаватель Е. В. Плаксина

**Обоснование маршрута линий электропередачи:** методические указания к практическим занятиям и выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Проектирование и строительство городских систем энергоснабжения») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: О. А. Куцыгина, Е. В. Плаксина. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. 24 с.

Приводятся основные сведения, позволяющие студентам подготовиться к практическим занятиям и выполнению курсовой работы по дисциплине «Обоснование маршрута линий электропередачи».

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Проектирование и строительство городских систем энергоснабжения») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ-ПР КР-ОМЛЭ-БТТ.pdf.

Ил. 5. Табл. 6. Библиогр.: 17 назв.

**УДК 69.003:621.315(07)**  
**ББК 31.38я7**

***Рецензент*** – М. А. Шibaева, д-р экон. наук, профессор  
кафедры цифровой и отраслевой экономики ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## ВВЕДЕНИЕ

Энергетические сети представляют собой инженерно-технические системы, связывающие производителей и потребителей топливно-энергетических ресурсов, и сами по себе не являются предметом потребления. Поэтому обоснование маршрутов энергетических сетей, особенно линии электропередач, представляет собой специфическую задачу, решение которой должно опосредованно оказывать влияние на качество функционирования объектов жилого, производственного и другого назначения.

Методические указания по дисциплине «Обоснование маршрута линии электропередач» разработаны для самостоятельной работы студентов с целью подготовки к выполнению практических занятий контактно с преподавателем и курсовой работы, направленной на овладения знаниями, необходимыми для обоснования маршрута линии электропередач с целью эффективного строительства и эксплуатации энергетических сетей.

Курсовая работа предназначена для закрепления знаний, полученных студентами в процессе теоретического изучения курса «Обоснование маршрута линий электропередачи». При выполнении курсовой работы следует учесть, что прогнозирование и проектирование оптимального развития обособленной электроэнергетической системы практически невозможно. Поэтому в ряду иерархически взаимосвязанных задач на основе системного подхода особенно выделяется задача проектирования оптимального развития электрической сети, которая, в свою очередь, заменяется выбором наиболее рационального решения из совокупности вариантов. Выбор наиболее рационального варианта выполняется по результатам анализа их сравнительной эффективности.

При анализе сравнительной эффективности вариантов возникают задачи разработки вариантов развития электрических сетей и их технико-экономического обоснования. Варианты, определяющие развитие энергосистем, должны обеспечивать при наименьших экономических затратах снабжение потребителей электрической и тепловой энергией с учетом выполнения ограничений по всей совокупности критериев проектирования.

В методических указаниях приведена тематика и состав практических занятий, даны основные теоретические положения, регламентирующие процесс обоснования маршрута линий электропередачи и порядок проведения расчетов, варианты заданий и литература, необходимые для выполнения курсовой работы студентами всех форм обучения. Методические указания содержат пояснения и справочные данные в соответствии с нормативными актами, регламентирующими особенности процесса обоснования маршрута линий электропередачи в условиях рыночных отношений, не нашедшие отражения в учебной литературе. Методические указания могут быть использованы при выполнении раздела по экономическому обоснованию проектных вариантов в составе выпускной квалификационной работы бакалавров.

# **1. ТЕМАТИКА И СОСТАВ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ОБОСНОВАНИЕ МАРШРУТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ»**

## **Тема 1. Задачи прогнозирования и проектирования электрических систем**

### **План проведения практических занятий по теме 1**

1. Прогнозирование развития как основная задача электроэнергетики;
2. Задача проектирования оптимального развития электрической сети как выбор наиболее рационального решения из совокупности вариантов;
3. Уровни иерархической последовательности проектирования энергосистем и электрических сетей;
4. Этапы работ на отдельных уровнях проектирования электрических сетей.

### **Вопросы для самоконтроля по теме 1**

1. Что является задачей прогнозирования развития электроэнергетики как отрасли народного хозяйства с целью удовлетворения перспективных потребностей в максимальной мощности и электроэнергии?
2. Принцип прогнозирования нагрузки независимо от использованного метода.
3. Чем заменяется задача проектирования оптимального развития электрической сети?
4. По результатам какого анализа происходит выбор наиболее рационального варианта?
5. Что должны обеспечивать проектные варианты развития электрических сетей?
6. Назовите уровни иерархической последовательности проектирования электрических сетей
7. Назовите этапы отдельных уровней проектирования электрических сетей.

## **Тема 2. Критерии проектирования электрических сетей**

### **План проведения практических занятий по теме 2**

1. Техничко-экономические показатели развития электроэнергетических сетей;
2. Критерии экономической эффективности развития электрической системы;
3. Учет критерия надежности при проектировании электрической системы;
4. Учет критерия качества электроэнергии при проектировании электрической системы;
5. Экологический критерий и его учет при проектировании электрических сетей.

### **Вопросы для самоконтроля по теме 2**

1. Капитальные вложения для электрической сети как важнейший технико-экономический показатель единовременных затрат.
2. Годовые эксплуатационные затраты на электрические сети как важнейший технико-экономический показатель текущих затрат.
3. Стоимость потерь электроэнергии как сумма постоянных и переменных затрат.
4. Приведенные затраты как экономический критерий сравнительной эффективности в задачах проектирования и развития электрической сети.
5. Динамические и статические приведенные затраты.
6. Динамические дисконтированные затраты.
7. Интегральные приведенные затраты.
8. Надежность электропитания потребителей.
9. Критерии качества электроэнергии.
10. Экологический критерий при проектировании электрических сетей.

### **Тема 3. Принципы проектирования электрических сетей**

#### **План проведения практических занятий по теме 3**

1. Разработка балансов мощностей при проектировании;
2. Выбор номинального напряжения электрических сетей;
3. Разработка рациональной конфигурации электрических сетей.

#### **Вопросы для самоконтроля по теме 3**

1. Уравнение баланса активных мощностей.
2. Цель расчета баланса мощности.
3. Дефицитная, избыточная и сбалансированная энергосистема.
4. Номинальное напряжение электрической сети и последствия его повышения, нестандартное номинальное напряжение.
5. Экономически выгодный класс номинального напряжения по формуле Стилла, А. М. Залесского, Г. А. Илларионова.
6. Принципы оптимальности при разработке конкурентоспособных вариантов конфигурации сети.
7. Схемы развития электрической сети: радиальная, магистральная, замкнутая, смешанная.

## **Тема 4. Выбор сечений линий электропередачи**

### **План проведения практических занятий по теме 4**

1. Принципы выбора сечений проводов и кабелей;
2. Выбор сечений по экономическому критерию;
3. Выбор сечений по критерию качества.

### **Вопросы для самоконтроля по теме 4**

1. Принцип экономической целесообразности варианта электрической сети при проектировании сечений проводов и кабелей линий электропередачи.
2. Выбор сечения проводов и кабелей, а также материалов, из которого они должны быть выполнены.
3. Марки проводов для воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше, а также с меньшими номинальными напряжениями.
4. Ограничения по нагреву и по потере напряжения при выборе сечений проводов и кабелей.
5. Режимы при выборе проводов и кабелей, которые принимаются по условию экономической эффективности.
6. Условие обеспечения потребителей электроэнергией требуемого качества при выборе сечений проводов и кабелей местных сетей.
7. Причины, по которым при проектировании районных сетей ограничение по потере напряжения не учитывается.
8. Классический подход к выбору сечений воздушных и кабельных линий электропередачи по экономическому критерию.
9. Классические методы выбора сечений проводника по экономической плотности тока и методом экономических токовых интервалов сечений.

## 2. СОСТАВ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### 2.1. Состав курсовой работы

Курсовая работа по дисциплине «Обоснование маршрута линии электропередач» выполняется по вариантам задания. Номер варианта задается преподавателем. Номер варианта для выполнения задания студентами заочной формы обучения определяется по сумме двух последних цифр шифра зачетной книжки. Например: если шифр зачетной книжки 85-23-632, то номер варианта будет 5 (3+2). Исходные данные для курсовой работы могут задаваться индивидуально, а также определяться по итогам прохождения практик. Состав курсовой работы может быть изменен по согласованию с преподавателем.

**Состав** курсовой работы включает:

- титульный лист (форма прил. 1);
- задание (форма прил. 2);
- оглавление;
- введение;
- основная часть (выполненные задания);
- заключение;
- библиографический список;
- приложения.

В **содержании** приводятся все разделы (главы) и подразделы (параграфы) курсовой работы, пронумерованные арабскими цифрами, и указываются страницы, с которых они начинаются.

Во **введении** обозначается проблема, избранная для изучения, обосновывается ее актуальность, показывается степень ее разработки, место и значение в соответствующей области знаний, дается анализ источников и литературы, определяются объект, предмет, цели и задачи исследования.

В **основной части** работы, состоящей из нескольких глав (разделов), излагается материал темы, решаются задачи, поставленные во введении. Содержание работы должно соответствовать и раскрывать название темы курсовой работы.

**Заключение** – это самостоятельная часть курсовой работы. В нем подводятся итоги теоретической и практической разработки темы, предлагаются обобщения и выводы по исследуемой теме, формулируются рекомендации и предложения, могут намечаться задачи для дальнейшего углубления темы в выпускной квалификационной работе. Не следует ограничивать заключение пересказом содержания работы.

**Библиографический список** помещается после заключения. Включенные в список источники должны иметь отражение в тексте работы в квадратных скобках, например, [4]. Список источников свидетельствует о степени изученности проблемы, формирования у обучающихся навыков самостоятельной работы и должен содержать не менее 5 наименований.

В приложения включают справочные материалы, таблицы, схемы, нормативные документы, и др., что не отражено в основной части работы.

## 2.2. Оформление курсовой работы

Работа выполняется на компьютере, на листах формата А4, ориентация книжная, поля: верхнее 20 мм, левое 30 мм, правое 10 мм, нижнее 20 мм.

Для написания основного текста, подписей рисунков и таблиц, наименований подразделов следует использовать шрифт Times new Roman, размер 14 пт, Содержание табличных форм и рисунков, нумерацию страниц следует оформлять шрифтом 12 пт. Выравнивание текста – по ширине. Абзацный отступ 1,25 см.

Наименование разделов пишется шрифтом №16, прописными буквами. Точки после номера раздела и подразделов не ставятся.

Межстрочный интервал для основного текста и списка литературы составляет 1,5. Для содержания, таблиц и рисунков – 1. Между наименованием раздела и подраздела оставляется интервал в одну строку. А между наименованием подраздела и текстом – две строки.

На титульном листе следует указать название министерства, вуза, факультета, кафедры; название курсовой работы и номер варианта и/или тему; фамилию, имя и отчество студента, шифра зачетной книжки; ученую степень, должность, фамилию и инициалы преподавателя. Пример заполнения титульного листа приведен в приложении П1.

Таблицам и рисункам предшествует ссылка на них в тексте, Например, рис.1.1, табл. 1,2. Подпись рисунка ставится под рисунком. Например: «Рис.1.1 График зависимости затрат от объема продаж». Для подписи таблицы пишут слово «Таблица 1.1», выравнивание по правому краю. На следующей строке пишут название таблицы, через строку следует поместить таблицу.

Формулы следует оформлять в редакторе формул, размещать посередине строки, нумеровать в скобках с расположением по правому краю, отделять формулу от текста надо одной пустой строкой до и после формулы, например:

$$B = \sum_{j=1}^m B_j \times B_i, \quad (2.1)$$

Если обозначения, приведенные в формуле, встречались по тексту ранее, то после формулы ставится точка. В противном случае после формулы ставится запятая, а через интервал после формулы приводятся обозначения после слова «где», написанного со строчной буквы.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

#### 3.1. Задание на проектирование

Разработка маршрута линий электропередачи представляет собой цель проектирования развития электрической в результате выбора наиболее рационального варианта электроснабжения потребителей вновь сооружаемых и существующих подстанций с соблюдением требований надежности и качества электроэнергии, согласно ГОСТ 32144–2013.

Основными этапами проектирования являются следующие:

- выбор класса номинального напряжения сети;
- анализ балансов мощностей для района развития электрической сети;
- разработка и анализ вариантов развития электрической сети;
- выбор сечений линий электропередачи; -
- выбор схем распределительных устройств высшего напряжения подстанций для рассматриваемых вариантов развития электрической сети;
- технико-экономическое сравнение вариантов развития сети;
- расчеты и анализ установившихся режимов электрических сетей;
- выбор средств регулирования напряжений в электрической сети.

Пример карты-схема района развития сети показана на рис. 1.

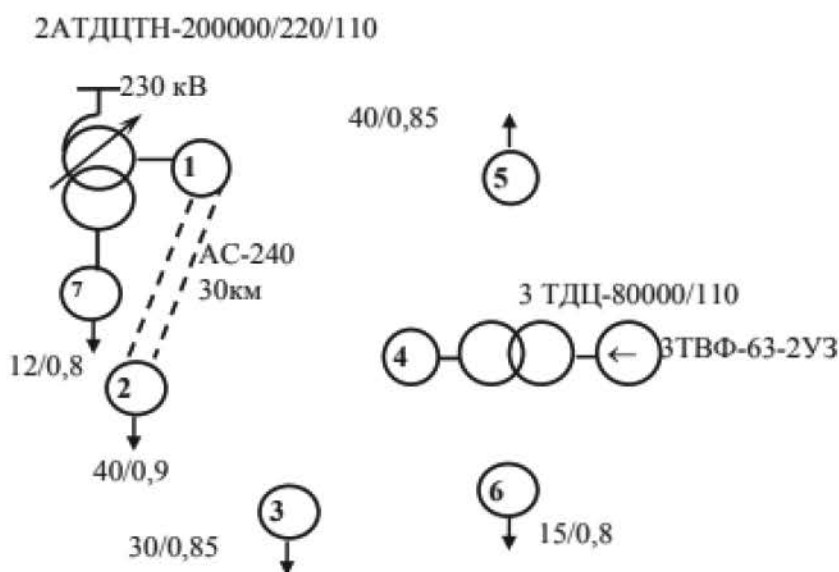


Рис. 1. Карта-схема района проектирования

В узлах сети указаны активные мощности нагрузок и коэффициенты мощностей. На схеме показана существующая на начало проектирования сеть. Источниками электроэнергии в рассматриваемом примере сети являются ТЭЦ

на газе с тремя блоками генератор-трансформатор (генератор ТВФ-63–2У3, трансформатор ТДЦ-80000/110) с теплофикационными турбинами с противодавлением и шины среднего напряжения двух автотрансформаторов связи с сетью 220 кВ типа АТДЦТН 200000/220/110- 94 5.

Дополнительные данные для проектирования (пример):

1. Район проектирования сети Урал,  $K_{\max} = 0,8-1$ );
2. Экономические характеристики, используемые при проектировании:
  - коэффициент приведения капитальных вложений к современным ценам ( $k = 70$ );
  - удельная стоимость потерь электроэнергии в сети ( $\beta_0 = 2 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч.}$ );
3. Состав потребителей по надежности: I, II категорий— 60%; III— 40%;
4. Число часов максимальной мощности нагрузок района ( $T_{\max} = 4500 \text{ ч.}$ );
5. Номинальные напряжения потребителей (10 кВ);
6. Коэффициент неравномерности графика нагрузки энергосистемы ( $\alpha = 0,6$ );
7. Требуемые напряжения на шинах 10 кВ подстанций и указаны в табл. 1

Таблица 1

Требуемые напряжения на шинах 10 кВ подстанций

| № узла             | 2    | 3    | 5    | 6    | 7    |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| Требуемое $U$ , кВ | 10,5 | 10,2 | 10,5 | 10,2 | 10,0 |

8. Диапазоны допустимых отклонений напряжений от требуемых, согласно условиям договоров энергоснабжающих предприятий и потребителей, составляют  $\pm 5\%$  в нормальных и  $\pm 10\%$  в послеаварийных режимах

### 3.2. Разработка вариантов конфигурации сети

Для района сети, приведенного на рис. 1, разработано четыре варианта сети в соответствии с рис. 2-5.

Район развития сети является избыточным по активной мощности в максимальном и минимальном режимах, следовательно, при разработке вариантов конфигурации сети необходимо учесть, что рационально предусматривать питание всех узлов сети, включая существующие на момент проектирования, от ТЭЦ. Кроме того, следует предусматривать рациональный путь передачи избыточной мощности в базисный узел, что особенно важно в режиме минимальных нагрузок

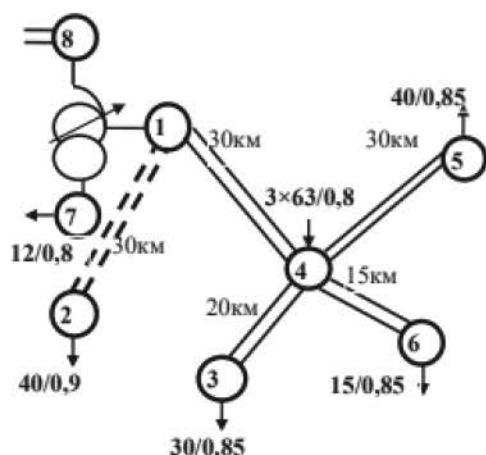


Рис. 2. Вариант 1 развития сети

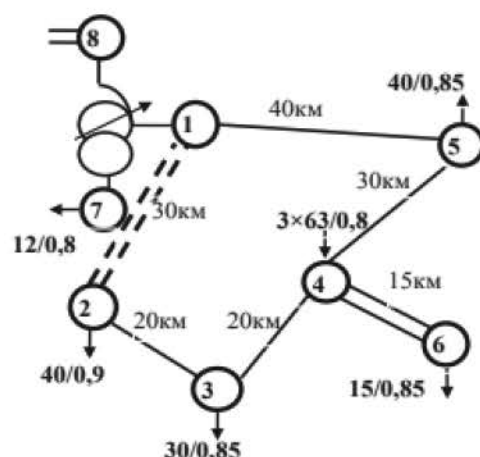


Рис. 3. Вариант 2 развития сети

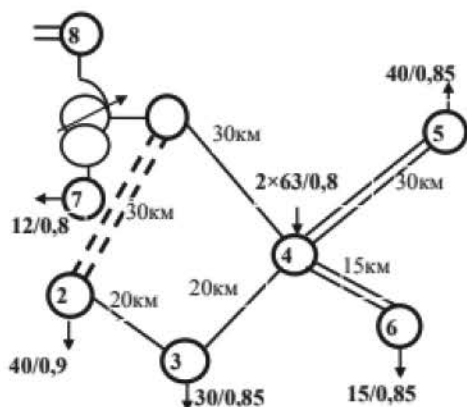


Рис. 4. Вариант 3 развития сети

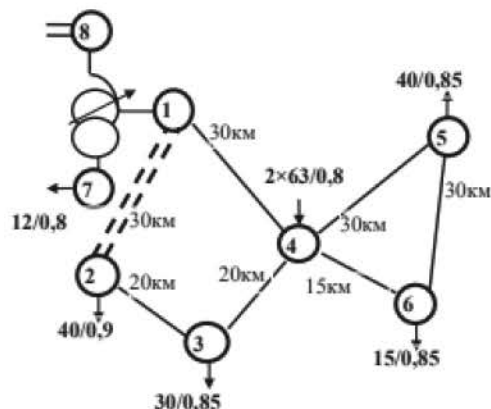


Рис. 5. Вариант 4 развития сети

**Вариант 1.** При разработке варианта 1 схемы развития сети использованы практические принципы формирования рациональной конфигурации сети. Питание ближайших к ТЭЦ узлов нагрузок 3, 5 и 6, а также выдача избыточной мощности ТЭЦ в соседнюю систему выполняется по кратчайшему пути. Ближайший к балансирующему узел 2 получает питание по существующей линии, при этом происходит экономически выгодная загрузка существующей сети. Взаимное резервирование источников питания выполняется по линии 1–4. Схема сети варианта 1 разомкнутая разветвленная, поэтому на всех участках сети для обеспечения надежного электроснабжения потребителей предусматривается сооружение не менее двух параллельных одно цепных линий одинакового сечения, что приводит, с одной стороны, к существенному увеличению капитальных вложений, с другой — к снижению потерь мощности. В варианте 1 развития сети реконструкция существующей подстанции в узле 2 не требуется.

**Вариант 2.** Схема варианта 2 развития сети выполняется в виде кольца, что позволяет снизить капитальные вложения по сравнению с вариантом 1 при обеспечении надежного электроснабжения всех потребителей. При разработке конфигурации схемы варианта 2 использован практический принцип формирования рациональной конфигурации сети — экономия капитальных вложений в сеть. Недостатком варианта 2 является необходимость реконструкции существующей подстанции узла 2. Кроме того, потери мощности в сети скорее всего будут больше, чем в сети варианта 1, что обусловлено увеличением пути передачи избытка мощности в соседнюю систему по сравнению с вариантом 1.

**Вариант 3.** Схема варианта 3 развития сети формируется на основе вариантов развития сети 1 и 2 и содержит разомкнутую схему питания узлов 5 и 6 и кольцевую для питания узлов 2 и 3. Достоинством варианта является передача избыточной мощности в соседнюю систему по кратчайшему пути. Недостатками варианта 3 являются потребность по условию надежности сооружения двух линий на участке 4–6 для питания небольшого потребителя в узле 6 и необходимость реконструкции существующей подстанции в узле 2.

**Вариант 4.** Вариант 4 развития сети имеет кольцевую конфигурацию и при его реализации достигается снижение капитальных вложений в сеть по сравнению с вариантом 3. Недостатком варианта 4, так же как и двух предыдущих, является необходимость реконструкции существующей подстанции узла 2.

### **3.3. Технико-экономическое сравнение вариантов развития сети**

Варианты, подлежащие технико-экономическому сравнению, должны быть технически и экономически сопоставимы, т. е. обеспечивать одинаковую передаваемую мощность и качество электроэнергии во всех режимах работы сети. При рассмотрении вариантов развития электрической сети 110 кВ можно считать, что строительство выполняется в один этап, капитальные вложения вкладываются единовременно, а ежегодные издержки неизменны в течение всего рассматриваемого периода эксплуатации сети. При таком допущении в качестве экономического критерия используются статические приведенные затраты.

Обоснование вида функционала статических приведенных затрат описано в разделе 3 [1]. Ниже показано формирование статических приведенных затрат 3 применительно к рассматриваемому примеру проектирования.

$$З = E_n \cdot K_{\Sigma} + I_{\text{год}} + У, \quad (3.1)$$

где  $E_n$  - коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений,  $E_n=0,2$ ;

$K_{\Sigma}$  - единовременные капитальные вложения в сооружение сети, определяемые по формуле

$$K_{\Sigma} = K_{\text{л}} + K_{\text{п}}, \quad (3.2)$$

где  $K_{\text{л}}$  и  $K_{\text{п}}$  - капитальные вложения соответственно в линии  $K_{\text{л}}$  и подстанции  $K_{\text{п}}$ ;

$I_{\text{год}}$  - ежегодные эксплуатационные расходы, определяемые по формуле

$$I_{\text{год}} = I_{\text{л}} + I_{\text{п}} + I_{\Delta W}, \quad (3.3)$$

где  $I_{\text{л}}$  - годовые издержки на амортизацию и обслуживание линий;

$I_{\text{п}}$  - то же, подстанций;

$I_{\Delta W}$  - издержки на возмещение потерь электроэнергии в электрических сетях;

$У$  - математическое ожидание ущерба от нарушения электроснабжения.

Учет ущерба от нарушений электроснабжения выполняется для подстанций, где все потребители только III категории по надежности, а такие подстанции в рассматриваемом примере отсутствуют. В связи с тем, что во всех узлах сети имеются потребители I и II категорий по надежности и предусмотрено питание всех потребителей от двух независимых источников, ущерб от нарушений электроснабжения определять не следует, так как  $У = 0$ .

Определение капитальных вложений производится обычно по укрупненным стоимостным показателям для всего оборудования подстанций и ЛЭП.

Капитальные вложения в линии электропередачи вычисляются для каждой линии по формуле

$$K_{\text{л}} = c_{\text{уд}} \cdot l \cdot n_i, \quad (3.4)$$

где  $c_{\text{уд}}$  - удельная стоимость сооружения электрических сетей, которая определяется по укрупненным нормативам цены строительства (НЦС, Сборник № 12 Наружные электрические сети, НЦС 81-02-12-2023), тыс. руб./км;

$l$  - длина электрических сетей, км;

$n_i$  - поправочные коэффициенты к показателям НЦС в соответствии со , сборником НЦС 81-02-12-2023.

Капитальные вложения в подстанции определяются с учетом наиболее дорогостоящего оборудования - высоковольтных выключателей, при этом при сравнении вариантов развития сети учитываются только отличия в числе дополнительных выключателей по вариантам. Капитальные вложения в подстанции вычисляются по соотношению

$$K_{\Pi} = K_{\text{выкл}} = c_{\text{выкл}} \cdot n_{\text{выкл}}, \quad (3.5)$$

где  $c_{\text{выкл}}$  - расчетная стоимость ячейки выключателя, которая определяется по ФЕРм 08-01-027-07 в ценах 01.01.2000 г. и индексам пересчета в текущий уровень цен;

$n_{\text{выкл}}$  - число ячеек выключателей в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Определение числа ячеек высоковольтных выключателей

| Вариант сети                                                                      | 1  | 2  | 3  | 4  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Число ячеек выключателей 110 кВ                                                   | 22 | 34 | 30 | 30 |
| Число ячеек выключателей для учета при экономическом сопоставлении вариантов сети | 0  | 12 | 8  | 8  |

Капитальные вложения в подстанции сети приведены в табл. 3.

Таблица 3

Капитальные вложения в подстанции

| Вариант                                                              | 1    | 2    | 3    | 4    |
|----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Число учтенных выключателей                                          | 0    | 12   | 8    | 8    |
| Стоимость ячейки выключателя 110 кВ, тыс. руб., в текущем уровне цен | 2100 |      |      |      |
| Капитальные вложения в подстанции, млн руб.                          | 0    | 25,2 | 16,8 | 16,8 |

Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание линий  $I_{\text{л}}$  и подстанций  $I_{\text{п}}$  зависят от соответствующих капитальных вложений

$$I_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} \cdot K_{\text{л}}, \quad (3.6)$$

$$I_{\text{п}} = \alpha_{\text{п}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (3.7)$$

где  $\alpha_{\text{л}}$  и  $\alpha_{\text{п}}$  - соответственно коэффициенты отчислений на амортизацию и обслуживание для линий и подстанций 110 кВ, которые определяются по нормам амортизации, например,  $\alpha_{\text{л}} = 0,028$ , а  $\alpha_{\text{п}} = 0,09$ .

Издержки на возмещение потерь электроэнергии в сети определяются по формуле

$$И_{\Delta W} = \beta_0 \cdot (\Delta P_{max} \cdot \tau + \Delta P_{пост.\Sigma} \cdot T), \quad (3.8)$$

где  $\beta_0$  - удельная стоимость потерь электроэнергии в сети,  $\beta_0 = 2$  руб./кВт·ч =  $2 \cdot 10^{-3}$  млн руб./МВт·ч;

$\Delta P_{max}$  - суммарные переменные потери мощности в режиме максимальных нагрузок;

$\Delta P_{пост.\Sigma}$  - суммарные условно постоянные потери в сети, состоящие из потерь на корону и от токов утечки по изоляторам воздушных линий и из потерь холостого хода трансформаторов;

$T$  - число часов работы сети в году,  $T = 8760$  ч;

$\tau$  - число часов максимальных потерь в году, определяемое в зависимости от годового числа часов максимальной мощности. Согласно заданию  $T_{max}=4500$  ч., а  $\tau = 2886$  ч.

В рассматриваемом примере не учитываются суммарные условно постоянные потери  $\Delta P_{пост.\Sigma}$ , поскольку потери в шунтах линий в сети 110 кВ незначительны, а трансформаторы во всех вариантах одинаковы.

В табл. 4 приведены расчеты годовых издержек на покрытие потерь электроэнергии в сети по вариантам.

Таблица 4

Годовые издержки на потери электроэнергии в сети

| Вариант | $\Delta P_{max}$ , МВт | $\Delta W$ , МВт·ч. | $И_{\Delta W}$ , млн руб. |
|---------|------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1       | 3,85                   | 11111,10            | 22,22                     |
| 2       | 4,49                   | 12958,14            | 25,92                     |
| 3       | 3,98                   | 11486,28            | 22,97                     |
| 4       | 3,99                   | 11515,14            | 23,03                     |

Расчеты капитальных вложений в линии электропередачи по вариантам 1–4 показаны в табл. 5.

Удельные капитальные вложения в линии электропередачи найдены для района Урала (II район по гололеду) при использовании железобетонных одноцепных опор в текущих ценах. При определении капитальных вложений в линии следует учесть, что во всех вариантах линия 1–2 является существующей, построена ранее и не возникла необходимость ее усиления, поэтому капиталовложения в ее сооружение не учитываются. Кроме того, не учитываются годовые издержки на амортизацию и обслуживание линии 1–2 ввиду их одинакового значения во всех вариантах развития сети.

Варианты развития сети, которые сравнивают по приведенным затратам, считаются экономически равноценными, если разница в приведенных затратах составляет не более 5%. Наиболее рациональный вариант схем развития сети из равноэкономичных выбирается с учетом:

- возможностей обеспечения качества электроэнергии;
- перспективы развития сети (например, с более высоким классом номинального напряжения);
- отсутствия или необходимости реконструкции подстанций;
- экономичности работы сети по истечении выбранного срока окупаемости сети (с меньшими потерями электроэнергии);
- более высокой надежности электроснабжения;
- оперативной гибкости схемы (приспособляемости к необходимым режимам работы сети, росту нагрузок и появлению новых пунктов потребления электроэнергии);
- улучшения условий эксплуатации и экологических характеристик сети;
- расхода цветного металла на провода воздушных линий и необходимого количества электрооборудования.

Таблица 5

Капитальные вложения в линии электропередачи

| № вар.                                   | ЛЭП | l, км | Число цепей | Сечение | Куд, (1990 г.) тыс. руб./км | Кл, (1990 г.) тыс. руб. | k  | Кл, млн руб. |
|------------------------------------------|-----|-------|-------------|---------|-----------------------------|-------------------------|----|--------------|
| 1                                        | 4-5 | 30    | 2           | АС-120  | 11,4                        | 684                     | 70 | 47,88        |
|                                          | 4-3 | 20    | 2           | АС-120  | 11,4                        | 456                     |    | 31,92        |
|                                          | 4-6 | 15    | 2           | АС-120  | 11,4                        | 342                     |    | 23,94        |
|                                          | 4-1 | 30    | 3           | АС-185  | 12,9                        | 1161                    |    | 81,27        |
| Итого по варианту 1 КЛ = 185,01 млн руб. |     |       |             |         |                             |                         |    |              |
| 2                                        | 1-5 | 40    | 1           | АС-150  | 11,7                        | 468                     | 70 | 32,76        |
|                                          | 4-5 | 30    | 2           | АС-240  | 14,0                        | 840                     |    | 58,80        |
|                                          | 4-3 | 20    | 2           | АС-240  | 14,0                        | 560                     |    | 39,20        |
|                                          | 3-2 | 20    | 2           | АС-185  | 12,9                        | 516                     |    | 36,12        |
|                                          | 4-6 | 15    | 2           | АС-120  | 11,4                        | 342                     |    | 23,94        |
| Итого по варианту 2 КЛ = 190,82 млн руб. |     |       |             |         |                             |                         |    |              |
| 3                                        | 4-3 | 20    | 2           | АС-150  | 11,7                        | 468                     | 70 | 32,76        |
|                                          | 2-3 | 20    | 1           | АС-150  | 11,7                        | 234                     |    | 16,38        |
|                                          | 4-1 | 30    | 2           | АС-185  | 12,9                        | 774                     |    | 54,18        |
|                                          | 4-5 | 30    | 2           | АС-120  | 11,4                        | 684                     |    | 47,88        |
|                                          | 4-6 | 15    | 2           | АС-120  | 11,4                        | 342                     |    | 23,94        |
| Итого по варианту 3 КЛ = 175,14 млн руб. |     |       |             |         |                             |                         |    |              |
| 4                                        | 4-3 | 20    | 2           | АС-150  | 11,7                        | 468                     | 70 | 32,76        |
|                                          | 2-3 | 20    | 1           | АС-150  | 11,7                        | 234                     |    | 16,38        |
|                                          | 4-1 | 30    | 2           | АС-185  | 12,9                        | 774                     |    | 54,18        |
|                                          | 4-6 | 15    | 1           | АС-185  | 12,9                        | 193,5                   |    | 13,55        |
|                                          | 5-4 | 30    | 1           | АС-185  | 12,9                        | 387                     |    | 27,09        |
|                                          | 5-6 | 30    | 1           | АС-120  | 11,4                        | 342                     |    | 23,94        |
| Итого по варианту 4 КЛ = 167,19 млн руб. |     |       |             |         |                             |                         |    |              |

Технико-экономическое сравнение вариантов развития распределительной сети приведено в табл. 6.

Таблица 6

Технико-экономическое сравнение вариантов распределительной сети

| № варианта | Кл, млн руб. | Кп, млн руб. | ИΔW, млн руб. | З        |          |
|------------|--------------|--------------|---------------|----------|----------|
|            |              |              |               | млн руб. | отн. ед. |
| 1          | 185,01       | 0            | 22,22         | 64,40    | 1,000    |
| 2          | 190,82       | 25,20        | 25,92         | 76,84    | 1,193    |
| 3          | 175,14       | 16,80        | 22,97         | 67,84    | 1,053    |
| 4          | 167,19       | 16,80        | 23,03         | 66,09    | 1,026    |

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ результатов технико-экономического сопоставления вариантов маршрута линий электропередачи показывает, что варианты 1 и 4 равно экономичны, так как статические приведенные затраты в эти варианты отличаются менее, чем на 5%.

В этих условиях выбор наиболее рационального варианта из равноэкономичных выполняется по другим критериям. В рассматриваемом примере предпочтение отдано варианту 1 развития сети, поскольку в нем не требуется реконструкция существующей подстанции 2, которая выполняется во всех остальных вариантах развития сети. Кроме того, в варианте 1 наименьшие потери электроэнергии в сети, а это значит, что после окончания срока окупаемости сети вариант 1 будет работать с лучшими экономическими показателями, чем вариант 4.

Предварительная проверка качества электроэнергии, которая выполнялась при выборе сечений линий, показала, что дополнительных средств регулирования напряжения не требуется. Если это подтвердится при более точном анализе сети из условий наиболее тяжелых послеаварийных режимов, то вариант 1 будет окончательно признан наиболее рациональным.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананичева С.С. Проектирование электрических сетей : учеб. пособие / С.С. Ананичева, Е.Н. Котова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 164 с.
2. Ананичева С.С., Мезенцев П.Е. Модели развития электроэнергетических систем : учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013.- 147 с.
- 3.. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2016.- 464 с.
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). М. : Экономика, 2000.- 421 с.
5. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии : учеб. пособие. 3-е изд. М. : КНОРУС, 2012.- 648 с.
6. Идельчик В.И. Электрические системы и сети : учебник для вузов. М. : Энергоатомиздат, 1989.- 592 с.
7. Ананичева С.С., Мызин А.Л. Оценка сравнительной эффективности инвестиционных проектов методом интегральных приведенных затрат : материалы III междунар. науч.-практ. конф. «Энергосистема, управление, конкуренция, образование». Екатеринбург, 2008. -11 с.
8. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. М. : Энергоатомиздат, 1985.- 352 с.
9. Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. М. : НЦ ЭНАС, 2012.- 376 с.
10. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ. Т. 2 / под ред. Е.Ф. Макарова. М. : Папирус ПРО, 2003.- 622 с.
11. Ананичева С.С., Шелюг С.Н. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Екатеринбург : УрФУ, 2015.- 87 с.
12. Зуев Э.Н., Ефентьев С.Н. Задачи выбора экономически целесообразных сечений проводов и кабелей : учеб. пособие. М. : МЭИ, 2005.- 88 с.
13. ГОСТ 32144–2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М. : Стандартинформ, 2014.
14. Ананичева С.С., Мызин А.Л. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах : учеб. пособие. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2013.- 108 с.
15. Ананичева С.С., Мызин А.Л. Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей : учеб. пособие. Екатеринбург : УрФУ, 2013.- 102 с.
16. Ананичева С.С., Мызин А.Л. Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей : учеб. пособие. Екатеринбург : УрФУ, 2011-82 с.
17. СТО 56947007–29.240.30.010–2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ типовые решения. URL: [http://www.fsk-ees.ru/media/File/customers\\_tech/Schems.pdf](http://www.fsk-ees.ru/media/File/customers_tech/Schems.pdf)

**Макет титульного листа курсовой работы**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Воронежский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)**

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине Обоснование проектов энергетических сетей

тема: \_\_\_\_\_

**Расчетно-пояснительная записка**

**Разработал (а)** \_\_\_\_\_

*(Подпись, дата)*

*(И.О., Фамилия)*

**Руководитель** \_\_\_\_\_

*(Подпись, дата)*

*(И.О., Фамилия)*

Оценка \_\_\_\_\_

Воронеж 2023

Макет задания на курсовую работу

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Воронежский государственный технический университет»**  
**(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)**

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу

дисциплина (МДК): Обоснование маршрута линий электропередачи

Тема: \_\_\_\_\_

Студент  
группы \_\_\_\_\_  
(индекс группы) (фамилия, имя, отчество)

Технические условия соответствуют номеру варианта \_\_\_\_\_

Содержание (разделы, расчеты и проч.) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Сроки выполнения этапов: с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_  
(Подпись, дата) (И.О., фамилия)

Студент \_\_\_\_\_  
(Подпись, дата) (И.О., фамилия)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                             | 3  |
| 1.ТЕМАТИКА И СОСТАВ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ<br>ДИСЦИПЛИНЫ «ОБОСНОВАНИЕ МАРШРУТА ЛИНИЙ<br>ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ» ..... | 4  |
| Тема 1. Критерии проектирования электрических сетей .....                                                                 | 4  |
| Тема 2. Обоснование затрат (себестоимости) выработки теплоты в<br>котельной.....                                          | 5  |
| Тема 3. Принципы проектирования электрических сетей .....                                                                 | 6  |
| Тема 4. Выбор сечений линий электропередачи .....                                                                         | 7  |
| 2.СОСТАВ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....                                                                        | 8  |
| 2.1. Состав курсовой работы.....                                                                                          | 8  |
| 2.2. Оформление курсовой работы.....                                                                                      | 9  |
| 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ<br>РАБОТЫ.....                                                            | 10 |
| 3.1.Задание на проектирование .....                                                                                       | 10 |
| 3.2. Разработка вариантов конфигурации сети.....                                                                          | 11 |
| 3.3. Техничко-экономическое сравнение вариантов развития сети.....                                                        | 13 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                                                           | 19 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....                                                                                             | 20 |
| Приложение 1. Макет титульного листа курсовой работы.....                                                                 | 21 |
| Приложение 2.Макет задания на курсовую работу.....                                                                        | 22 |

# ОБОСНОВАНИЕ МАРШРУТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям и выполнению курсовой работы  
для студентов направления подготовки  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
(профиль «Проектирование и строительство городских систем  
энергоснабжения») всех форм обучения

### **Составители**

**Куцыгина** Ольга Александровна

**Плаксина** Елена Владимировна

Издается авторской редакции

Компьютерный набор О. А. Куцыгиной

Подписано к изданию 12.04.2023.

Уч.-изд. л. 1,2.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84