

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию
в качестве учебно-методического пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальности
1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям),
направление специальности 1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение
сельского хозяйства (электроэнергетика)*

Минск
БГАТУ
2018

УДК 631.371:621.31(075)
ББК 31.28я7
Э45

Составители:

кандидат технических наук, профессор *Г. И. Янукович*,
старший преподаватель *А. И. Зеленкевич*,
старший преподаватель *Г. И. Кожарнович*

Рецензенты:

кафедра «Электроснабжение» БНТУ
(кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой *В. Б. Козловская*);
кандидат технических наук, доцент, заместитель директора
ГП «Институт энергетики НАН Беларуси» *Н. Е. Шевчик*

Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое проектирование : учебно-методическое
Э45 пособие / Сост.: Г. И. Янукович, А. И. Зеленкевич, Г. И. Кожарнович. – Минск : БГАТУ,
2018. – 96 с.

Изложены способы расчета электрических нагрузок, электрических сетей сельскохозяйственного назначения, токов короткого замыкания и методы выбора электрооборудования. Приведен пример расчета курсового проекта.

Для учащихся учреждений высшего и среднего специального образования электротехнических специальностей.

ISBN 978-985-519-950-3.

УДК 631.371:621.31(075)
ББК 31.28я7

ISBN 978-985-519-950-3

© БГАТУ, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Системы электроснабжения сельского хозяйства обеспечивают электрической энергией производственные объекты сельскохозяйственного назначения и населенные пункты.

Работа электроприемников зависит от качества электроэнергии и надежности электрических сетей. Правильно спроектированные электрические сети, оптимальные схемы электроснабжения и оборудование обеспечивают поддержание качества электроэнергии и надежности в допустимых пределах.

В пособии изложен материал, необходимый для изучения принципов электроснабжения сельского хозяйства.

В результате выполнения курсового проекта студенты должны уметь рассчитывать электрические нагрузки, выбирать типы и мощность источников питания, выполнять расчеты электрических сетей, рассчитывать токи короткого замыкания и выбирать оборудование трансформаторных подстанций и распределительных устройств.

Учебно-методическое пособие оформлено в соответствии с требованиями ЕСКД.

Цель и задачи курсового проекта

Целью курсового проекта является закрепление у будущего инженера-электрика теоретических знаний по учебной дисциплине «Электроснабжение сельского хозяйства» и формирование умений и профессиональных компетенций, необходимых для решения задач, связанных с электроснабжением населенных пунктов.

Задачами курсового проекта являются:

- изучение схем электроснабжения сельскохозяйственных объектов и сельских населенных пунктов и методов их построения;
- расчет электрических нагрузок на вводе в сельский жилой дом, в производственный объект и в сельских электрических сетях;
- освоение методов расчета электрических сетей;
- расчет токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов;
- защита оборудования подстанции и линий электропередачи от аварийных режимов и атмосферных перенапряжений.

Тематика курсового проекта

Тема курсового проекта – электроснабжение населенного пункта. Разнообразие вариантов курсовых проектов обеспечивается введением восьми производственных или коммунально-бытовых потребителей, различной нагрузкой жилых домов и конфигурацией питающей сети 10 кВ. Каждому студенту выдается индивидуальное задание на проект установленного образца, подписанное руководителем и утвержденное заведующим кафедрой. В нем указано наименование населенного пункта, сроки выдачи задания и сдачи законченного проекта.

В исходных данных указывается существующее годовое потребление электроэнергии на один дом в данном населенном пункте (от 500 до 2000 кВт·ч), тип потребительской подстанции (КТП, ЗТП, мачтовая и др.), сопротивление грунта ρ (от 80 до 250 Ом·м).

Графическая часть курсового проекта состоит из двух листов формата А1. В задании указывается наименование листов.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Структура курсового проекта должна включать следующие элементы (материалы приведены в порядке их расположения):

- титульный лист;
- задание;
- ведомость комплекта проектной документации (для курсовых проектов);
- реферат;
- содержание;
- введение;
- текст пояснительной записки с иллюстративным материалом, таблицами, графиками и т.п.;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

2. Общий объем курсового проекта составляет 30–35 машинописных страниц.

3. Объем графической части курсовых проектов составляет, как правило, 2 листа формата А1.

4. Способ выполнения текстовых материалов – машинописный (основной) с применением выходных печатающих устройств ЭВМ – при этом рекомендуется, набирая текст в текстовом редакторе MS Word, использовать шрифты Times New Roman размером 14 pt (пунктов) с полуторным интервалом, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 1,25 см.

Оформление структурных элементов

1. **Титульный лист** является первой страницей расчетно-пояснительной записки. Выполняется на бланке установленной формы. На титульном листе рамки не выполняются, штамп основной надписи не приводят.

2. **Задание на проектирование** является главным руководством, на основании которого разрабатывается проект. Задание выполняется на бланке установленного образца, который выдается руководителем курсового проекта. Задание на КП утверждается заведующим кафедрой. При получении задания свою подпись на нем ставит студент.

Форма задания на курсовой проект приведена в приложении 1.

3. **Ведомость** комплекта проектной документации (для курсовых проектов) является сводным перечнем всех материалов, разработанных при проектировании.

4. **Реферат** – это краткая характеристика выполненного проекта, предназначенная для предварительного ознакомления с проектом и отражающая основное содержание работы с точки зрения ее достоинств и достижения цели, поставленной в теме проекта.

Текст реферата пишется на стандартном листе, оформленном рамкой. Основную надпись на данном листе не помещают. Номер страницы не проставляют.

Заголовок «Реферат» пишется с прописной буквы и располагается на отдельной строке симметрично тексту. Объем реферата – не более одной страницы. Вначале указывают объем проектной документации: перечисляют общий объем текстовых материалов с выделением, в том числе, иллюстраций (эскизов, рисунков), таблиц и т. п.; указывают объем графической части проекта. Указывают количество использованных источников. Далее приводят ключевые слова. Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста расчетно-пояснительной записки, которые в наибольшей степени характеризуют содержание. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются строчными буквами в строку через запятые после слов «Ключевые слова». Затем дают краткое содержание проекта, отражающее цель проекта, методы разработки, принятые решения, приводят итоговые результаты и основные показатели, указывают возможности внедрения основных результатов проекта.

5. **Содержание** предназначено для облегчения поиска необходимых материалов при чтении записки, а также для общего ознакомления с проектом и представления об объемах всех разделов. Содержание начинает текстовую часть расчетно-пояснительной записки. Его размещают сразу после листа реферата с новой страницы и при необходимости продолжают на последующих листах. Слово «Содержание» пишут с прописной буквы посередине страницы. В содержании приводят порядковые номера и наименования разделов, подразделов и пунктов, имеющих наименование, а также приложения с их обозначениями и наименованиями. Указывается номер листа (страницы), на котором размещено начало материала (раздела, подраздела и т.п.). На первой странице содержания приводят основную надпись по форме, соответствующей основной надписи первого листа текстового материала.

6. **Введение** характеризует современное содержание тех вопросов и проблем, которым посвящен курсовой проект. Во введении нужно обосновать необходимость проведения именно этого проекта, показать его место в кругу аналогичных проектов, актуальность и новизну разрабатываемой темы, цель проекта и что ожидается получить в результате его выполнения.

7. **Текст пояснительной записки (ПЗ).** Содержание разделов расчетно-пояснительной записки определяется заданием на проектирование. Оформление расчетно-пояснительной записки осуществляется в соответствии с [1].

8. **Заключение** должно отражать основные результаты работы, выводы и предложения.

9. **Список использованных источников.** Составление списка использованных источников является завершением курсового проекта, основой для которого служат записи всех просмотренных и изученных книг, статей из сборников и журналов и других материалов.

Как правило, используется алфавитный способ группировки материала в списках, когда источники группируют в алфавитном порядке записей. В начале списка размещаются по алфавиту книги, а затем – статьи из журналов и сборников. При этом иностранные источники размещают по алфавиту после перечня всех источников на языке выполняемой работы.

Библиографический указатель использованной при выполнении литературы дается на отдельной странице (страницах) под заголовком «Список использованных источников». Заголовок порядкового номера не имеет.

В список включают только те источники, на которые в тексте ПЗ имеется ссылка. Каждый источник, включенный в список, нумеруют арабскими цифрами с точкой и записывают с новой строки.

10. **Приложения.** Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д.

Приложения оформляют как продолжение записки на последующих ее листах.

В тексте записки на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте записки.

Оформление листов пояснительной записки

1. Текстовые материалы ПЗ выполняются на листах белой машинописной бумаги, оформленных рамками в соответствии с рисунком 1.1.

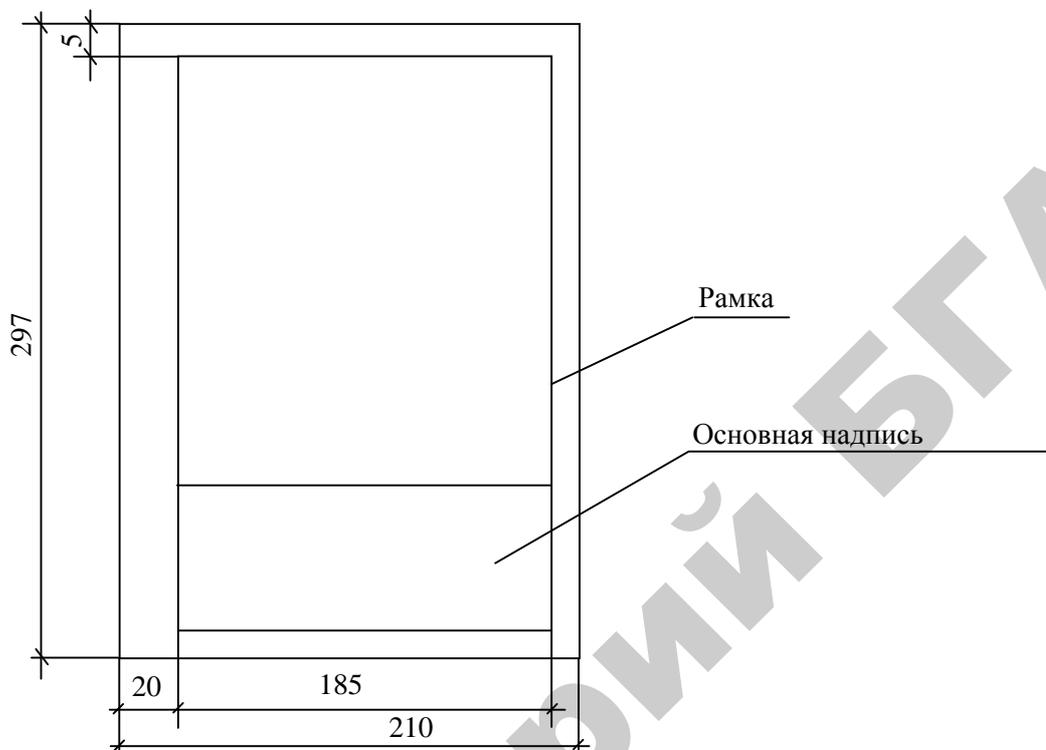


Рисунок 1 – Компоновка и размеры листа текстовой части ПЗ

2. Основная надпись на листах пояснительной записки выполняется в соответствии с рисунком 1.2.

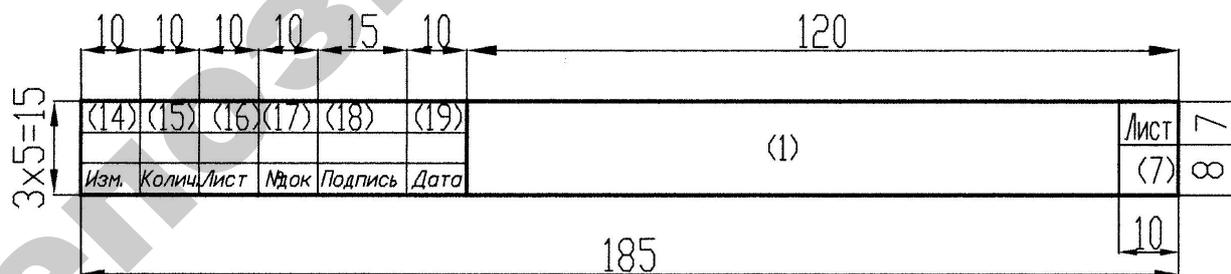


Рисунок 2 – Форма основной надписи для листов ПЗ

3. Листы записки и приложений имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Титульному листу, заданию на проектирование, реферату номера присваивают, но не проставляют. Номера страниц начинают проставлять с листа «Содержание».

4. Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы и т. п.), расположенные на отдельных листах записки, включают в общую нумерацию страниц. При этом лист, формат которого больше формата А4, учитывают как одну страницу.

Правила построения текстового материала

1. Текстовый материал ПЗ подразделяют на разделы, подразделы, пункты. Разделам присваивают порядковые номера, которые обозначают арабскими цифрами без точки и записывают с абзацного отступа.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, то пункт не нумеруется.

2. Разделы и подразделы и при необходимости пункты должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов, пунктов. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Заголовки подразделов (пунктов) не должны повторять содержание заголовков разделов (подразделов).

Заголовок записывается с прописной буквы. Точка в конце не ставится. Заголовки не подчеркиваются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

3. Каждый раздел ПЗ следует начинать с новой страницы.

Правила оформления формул

1. В пояснительной записке математические формулы могут быть расположены внутри текста или отдельными строками. Внутри текста помещают несложные и не дробные формулы. Такие формулы, как правило, не нумеруют.

На отдельных строках приводят более сложные формулы, которые обычно сопровождаются пояснениями примененных символов. При этом выше и ниже формулы необходимо оставлять по одной свободной от записи строке.

2. Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

3. Если формула не умещается в одну строку, то делается перенос. Переносить формулу на следующую строку допускается только на знаках выполнения операций: плюс (+), минус (–), умножение (×) или на знаках равенства (=), неравенства (\neq), знаках соотношений и т. п.

4. Все формулы, помещенные в тексте ПЗ, нумеруют арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа от нее в круглых скобках.

5. Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и номера формулы, разделенных точкой, например: (3.1).

Пример. Номинальный ток асинхронного электродвигателя I_n , А, определяется по формуле

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi_n \eta_n}, \quad (1)$$

где P_n – номинальная мощность, кВт;

U_n – номинальное напряжение, кВ;

$\cos \varphi_n$ – коэффициент мощности, о.е.;

η_n – КПД электродвигателя, о.е.

Правила оформления таблиц

1. Название таблицы должно отражать содержание таблицы, быть точным, кратким. Название следует размещать над таблицей после слова «Таблица».

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

2. Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

3. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте. При ссылке необходимо писать слово «таблица» с указанием ее номера.

4. Заголовки граф и строк в таблице следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

Оформление проектной документации

1. **Проектной документации** присваивают обозначение, состоящее из базового цифрового обозначения, и через дефис – буквенного обозначения (см. структуру обозначения).

Структура базового обозначения при курсовом проектировании:

$X_1X_2.X_3X_4.X_5X_6X_7.X_8X_9 - X_{10}X_{11}X_{12}$

где X_1X_2 – индекс работы: 02 – курсовой проект, 03 – курсовая работа;

X_3X_4 – индекс кафедры;

$X_5X_6X_7$ – номер варианта по заданию;

X_8X_9 – год разработки (две последние цифры года);

$X_{10}X_{11}X_{12}$ – для текстовых материалов – ПЗ, для графических материалов – марка разрабатываемого чертежа.

Примечание. Индексы кафедр: АСУП – 49; ЭСХП – 43; электроснабжения – 53; электротехнологии – 68; энергетики – 58; ППС – 24; электротехники – 45.

2. Основные надписи

Применение тех или иных форм основных надписей определяется назначением чертежа и материалом, помещенным на разрабатываемом чертеже:

1) форма рисунка 1.3 – для чертежей генпланов с инженерными сетями, планов зданий и сооружений с размещением оборудования, чертежей схем электрических, технологических и т. п.;

2) форма рисунка 1.4 – для первого листа ПЗ, с которого начинается изложение текстовой части;

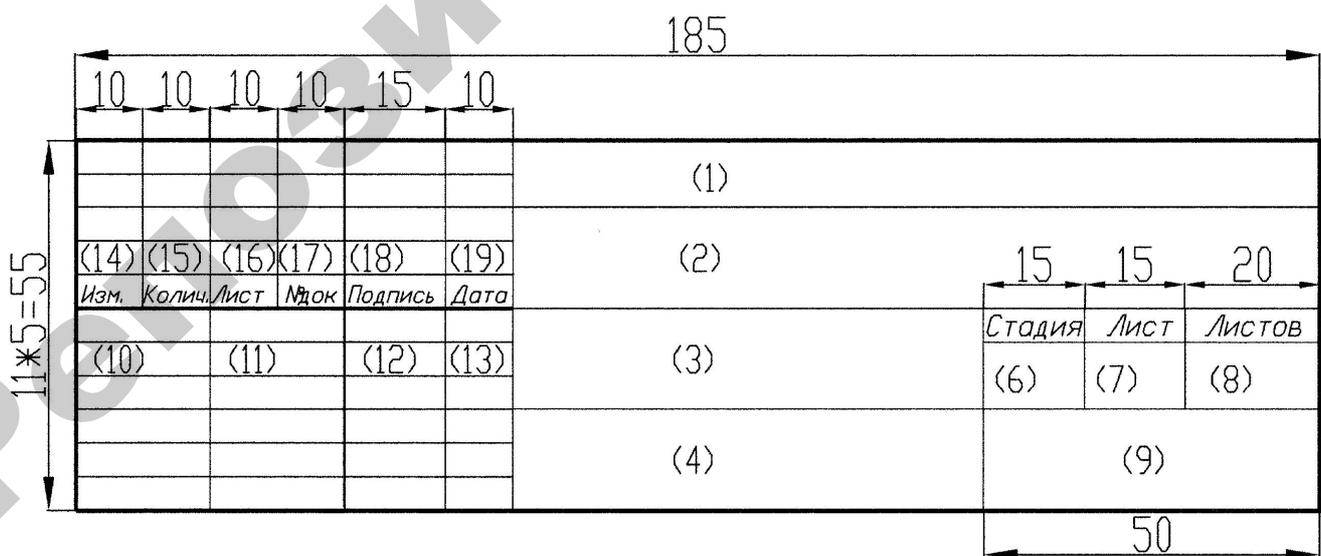


Рисунок 3 – Форма основной надписи, которая применяется для листов графической части и листа ведомости комплекта проектной документации

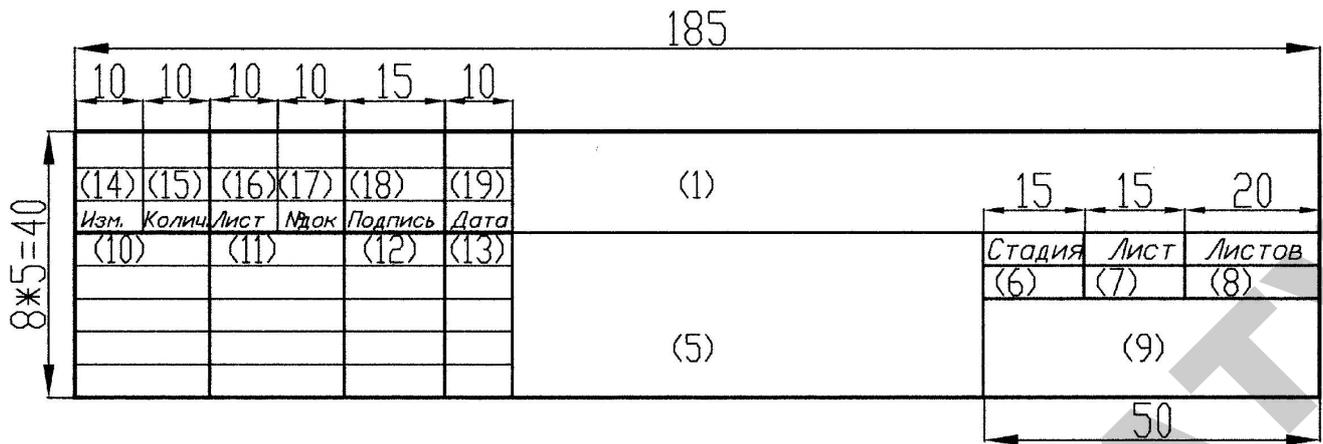


Рисунок 4 – Форма основной надписи, которая применяется для листа ПЗ, с которой начинается изложение текстовой части записки (обычно лист «Содержание»)

Указания о заполнении основной надписи

В графах основной надписи (на рисунках 2, 3, 4 номера граф показаны в скобках) указывают:

- а) в графе 1 – обозначение проектной документации — маркировка документа:
 - базовое обозначение;
 - добавляемая через дефис марка разрабатываемых чертежей;
- б) в графе 2 – тему курсового проекта (работы);
- в) в графе 3 – наименование здания (сооружения). Для чертежа генерального плана в графе 3 записывают наименование соответствующего раздела, например «электроснабжение», «теплоснабжение» или «диспетчеризация», «диспетчерское управление»;
- г) в графе 4 – наименование изображения или материала, помещенного на данном листе, т. е. название чертежа, листа. Если на листе приведены несколько материалов (например, план здания, разрез П–П, экспликация, перечень элементов, сечение «А–А» и т. п.), то в название чертежа включают основные материалы, второстепенные – опускают;
- д) в графе 5 – наименование документа аналогично графе 4 (обычно – «Пояснительная записка»);
- е) в графе 6 – условное обозначение стадии проектирования: «С» (строительный проект);
- ж) в графе 7 – порядковый номер листа. На документе, состоящем из одного листа, графу не заполняют;

з) в графе 8 – общее число листов документа;

и) в графе 9 на первой строке записывают наименование организации, разработавшей документ (БГАТУ), на второй строке – шифр зачетки студента;

к) в графе 10 – характер проекта: «разработал» (студент); в следующей строке – «руководитель», далее – «консультант», «нормоконтролер», «зав. кафедрой»;

л) в графе 11 – фамилии студента, руководителя, консультанта(ов), нормоконтролера, зав. кафедрой в соответствующих строках;

м) в графе 12 – подписи;

н) в графе 13 – даты.

Графы 14–19 в дипломных и курсовых проектах не заполняются.

Репозиторий БГАТУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1 Введение

В введении студент дает характеристику объекту электроснабжения. Приводит число домов, год их строительства, виды производственных потребителей и их характеристику. Показывает, что населенный пункт нужно электрифицировать или провести реконструкцию электрических сетей. Увязывает задачи электроснабжения населенного пункта с общими задачами энергетики республики.

2 Исходные данные

В данном пункте студент в соответствии с заданием приводит исходные данные коммунально-бытовых и производственных потребителей. Нагрузку и наименование производственных потребителей принимает по шифрам (таблица 1) из приложения [2].

По номерам населенных пунктов и их координатам (таблица 2) рисуется план населенного пункта зоны (рисунок 1). Исходные данные для расчета воздушной линии 10 кВ принимаются по таблице 3 задания. Образец бланка задания приведен в Приложении 1.

3 Определение допустимых потерь напряжения в электрических сетях

Далее будут рассмотрены различные способы расчета электрических сетей. Их выбранное сечение должно быть проверено по допустимой потере напряжения. Допустимая потеря напряжения используется также при определении числа трансформаторных подстанций.

Исходными данными для определения потери напряжения являются допустимые отклонения напряжения на вводах потребителей и уровень напряжения в центре питания.

Уровень напряжения на вводах потребителей зависит от уровня его в центре питания, суммарных потерь в линиях электропередачи и трансформаторах и от значений коэффициентов трансформации. Отклонения и потери напряжения в системе электроснабжения связаны между собой зависимостью:

$$V_{\text{ц.пит}} + \sum (V_{\text{пост}} + V_{\text{пер}}) - \sum \Delta U_{\text{л}} - \sum \Delta U_{\text{т}} - V_{\text{потр}} = 0, \quad (3.1)$$

где $V_{\text{ц.пит}}$ – отклонение напряжения в центре питания, %;

$\sum (V_{\text{пост}} + V_{\text{пер}})$ – сумма постоянных и переменных надбавок напряжения трансформаторов, %;

$\sum \Delta U_{\text{л}}$ – суммарные потери напряжения в линиях, %;

$\sum \Delta U_{\text{т}}$ – суммарные потери напряжения в трансформаторах, %;

$V_{\text{потр}}$ – допустимое отклонение напряжения у потребителя, %.

Центром питания в системе напряжений 35/10/0,4 кВ считают шины напряжением 35 кВ, в системе 10/0,4 кВ – шины напряжением 10 кВ. Отклонение напряжения в цепи питания измеряется, и информация о ее величине находится в районе электрических сетей (РЭС).

Постоянная надбавка в современных трансформаторах с переключением без возбуждения (ПБВ) $V_{\text{пост}} = +5\%$. Переменные надбавки напряжения могут быть равными: $-5; -2,5; 0; +2,5; +5\%$. Таким образом, суммарная надбавка у понижающих трансформаторов равна $0; +2,5; +5; +7,5; +10\%$.

Потери напряжения в трансформаторах, применяемых в сельском хозяйстве, при максимальной нагрузке составляют 4–5 %.

Отклонение напряжения у потребителей в соответствии с ТКП 32144–2013 не должно выходить за пределы $\pm 10\%$. Рассматриваются при расчете два режима и две расчетных точки. Для режима максимальных нагрузок (100 %) отклонение напряжения у наиболее удаленного потребителя не должно быть ниже -5% . В режиме минимальных нагрузок (25 %) отклонение напряжения у ближайшего потребителя не должно превышать $+5\%$.

Учитывая баланс отклонений и потерь напряжения, из выражения (3.1) можно определить допустимую потерю напряжения в линиях:

$$\Delta U_{\text{доп}} = V_{\text{ц.пит}} + \sum (V_{\text{пост}} + V_{\text{пер}}) - \sum \Delta U_{\text{т}} - V_{\text{потр}} = 0. \quad (3.2)$$

Все составляющие баланса (3.2), кроме допустимой потери напряжения в линиях, считаются известными или заданными. Решать данное уравнение удобно путем составления таблицы отклонений и потерь напряжения. Типовой пример составления такой таблицы показан в приложении [1].

4 Расчет электрических нагрузок

4.1 Определение расчетной нагрузки на вводе в сельский жилой дом

При наличии сведений о существующем годовом потреблении электроэнергии расчетная нагрузка на вводе в сельский дом определяется по номограмме, приведенной на рисунке 4.1. При этом необходимо учитывать, что исходные данные берутся, как правило, за предыдущий год, а вводят объект в эксплуатацию не ранее, чем через год после составления проекта. Поэтому расчетный год определяется прибавлением двух лет к расчетному периоду. Тогда при пятилетнем периоде расчетным годом будет седьмой, при десятилетнем периоде – двенадцатый. Так, например, при существующем годовом потреблении 1000 кВт·ч/дом и седьмом расчетном году расчетная нагрузка на вводе в сельский жилой дом составит 2,5 кВт.

Если в расчетном году населенный пункт намечено газифицировать природным газом, то полученную по номограмме нагрузку следует уменьшить на 20 %.

Годовое потребление
электроэнергии
на расчетный год, кВт·ч/дом

Расчетная нагрузка на
вводе в сельский дом,
кВт/дом

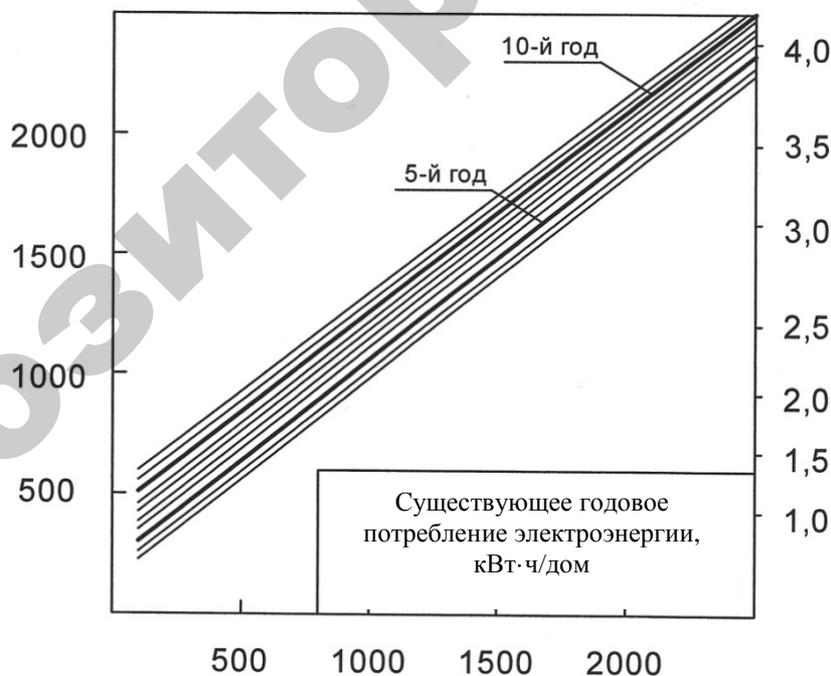


Рисунок 4.1 – Удельная расчетная нагрузка на вводе в сельский дом и перспективное потребление электроэнергии на внутриквартирные нужды в зависимости от существующего уровня электропотребления

4.2 Определение расчетных нагрузок производственных, коммунальных и прочих потребителей

Расчетные нагрузки этих потребителей определяются по типовым проектам. Можно воспользоваться нормами, приведенными в приложении 1 [2].

Если мощность потребителя отличается от мощности соответствующего потребителя, помещенного в таблице приложения 1 [2], то расчетную нагрузку первого определяют экстраполяцией или интерполяцией.

Расчетная нагрузка на вводах потребителей, которые имеют электроосвещение и до трех силовых электроприемников, приближенно может быть принята равной арифметической сумме их установленных мощностей.

4.3 Определение расчетных нагрузок предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции

В сельской местности находится ряд предприятий промышленного типа, занимающихся переработкой сельскохозяйственной продукции. Это хлебопромышленные предприятия, хлебозаводы, мясокомбинаты, молокозаводы, льнозаводы, консервные заводы, а также такие предприятия как кирпичные заводы, леспромхозы, торфопредприятия и пр. Расчетные нагрузки этих предприятий можно определить по формуле 4.1, пользуясь данными таблицы 4.1.

$$P_p = \frac{A_{уд} n}{T_{\max}} \quad (4.1)$$

где $A_{уд}$ – удельный расход электроэнергии на единицу продукции, кВт·ч;

n – годовое число единиц продукции;

T_{\max} – годовое число часов использования максимума нагрузки, ч.

Полные расчетные мощности дневного и вечернего максимумов нагрузки определяют по формулам

$$S_{p.д} = \frac{P_{p.д}}{\cos \varphi_d}, \quad S_{p.в} = \frac{P_{p.в}}{\cos \varphi_v},$$

где $\cos \varphi_d, \cos \varphi_v$ – коэффициенты мощностей в дневной и соответственно в вечерний максимумы нагрузок.

Таблица 4.1 – Ориентировочные показатели для определения электрических нагрузок отдельных предприятий в сельской местности

Наименование потребителя	Основной вид продукции	Единица измерения	Потребление электроэнергии на единицу продукции, кВт · ч	Коэффициент мощности при максимальной нагрузке		Количество смен	Годовое число часов использования максимальной нагрузки, ч
				дневной, $\cos \varphi_{д}$	вечерний, $\cos \varphi_{в}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
Хлебоприемные предприятия	Зерно	т	2,5–3,5	0,70	0,90	1	1500
				0,70	0,75	2,3	3000
Комбинаты хлебобулочных изделий	Хлеб, мука,	т	20–40	0,75	0,90	1	1500
	Крупа	т	25–35	0,75	0,80	3	3000
	Макаронные изделия	т	80	0,75	0,80	3	3000
Мясокомбинаты	Мясо	т	60–75	0,75	0,90	1	1800
	Колбаса	т	60–75	0,75	0,80	2,3	2500
	Консервы	тыс. у.б	50	0,65	0,70	2,3	2500
Молокозаводы	Молоко,	т	25	0,75	0,8	1,2	2500
	Сыр,	т	165	0,75	0,85	1	2000
	Сухое молоко,	т	300	0,75	0,80	2	2500
	Масло	т	100–120	0,75	0,80	1,2,3	1800–2500
Кондитерские фабрики	Кондитерские изделия	т	40	0,65	0,70	3	3000
Масложиркомбинаты	Масло растительное	т	135–300	0,75	0,80	1,2	2000–2500
	Солод	тыс. дал	45	0,75	0,80	2	2500
Пивзаводы	пиво	тыс. дал	950	0,75	0,80	2	2500
	Консервные заводы	Консервы овощные	тыс. у.б	50	0,70	0,75	2
Заводы безалкогольных напитков		тыс. дал	180	0,75	0,80	2	2500
						3	3500
Винзаводы	Вино	тыс. дал	170	0,70	0,90	1	1000
Сахарные заводы	Сахар	т	30–50	0,70	0,75	3	3000
Спиртзаводы	Спирт	дал	0,5–1,8	0,75	0,90	1	2500
				0,75	0,80	2	2500

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Предприятия по ремонту сельхоз-техники	Ремонт тракторов	тыс. руб	450	0,70	0,95 0,80	1,2	1600 2300
Льно и пенько-заводы	Волокно	т	650	0,70	0,90	1	1800
Кирпичные заводы	Кирпич	тыс. шт	50–80	0,70	0,75	2–3	2500
Леспромхозы	Лес	м ³	15–20	0,70	0,95	1	1500
	Пиломатериалы	м ³	40	0,70	0,75	2	3000
Торфопредприятия	Торф	т	15–20	0,75	0,80	3	3000

4.4 Определение расчетных нагрузок наружного освещения

Расчетная нагрузка уличного освещения определяется по формуле

$$P_{\text{р.ул}} = P_{\text{уд}} l, \quad (4.2)$$

где $P_{\text{уд}}$ – удельная мощность, зависящая от ширины улицы и вида покрытия, определяется по таблице 4.2;

l – длина улицы, м.

Расчетная нагрузка наружного освещения площадей и торговых центров принимается 0,5 Вт/м² площади.

Нагрузка наружного освещения территории хозяйственных центров (дворов) принимается из расчета 250 Вт на одно помещение и 3 Вт на погонный метр длины периметра хоздвора (4.3):

$$P_{\text{р.х.д}} = 250n + 3L, \quad (4.3)$$

где n – число помещений на хозяйственном дворе;

L – периметр двора, м.

Таблица 4.2 – Нормы нагрузок уличного освещения

Объект	Норма средней освещенности, лк	Рекомендуемые светильники	Удельная мощность установки, Вт/м
Поселковые улицы с асфальтобетонными и переходными типами покрытий, ширина проезжей части: 5...7 м 9...12 м 5...7 м 9...12 м	4	СЗПР - 250 РКУ - 250	4,5...6,5 6,0...8,0
	8	СПО - 500 НСУ - 200	11,0 13,0
	2	СПО - 200 НСУ - 200	5,5
		НКУ - 200	7,0
Улицы и дороги местного значения и пешеходные шириной: 5...7 м 9...12 м	1	СПО - 200 НКУ - 200	3,0 4,5

4.5 Нагрузки комплексов по промышленному производству сельскохозяйственной продукции

Расчетные нагрузки комплексов по промышленному производству сельскохозяйственной продукции, а также зданий и сооружений во вновь разрабатываемых типовых проектах определяются одним из следующих способов: суточному графику нагрузок, установленной мощности электроприемников, методом упорядоченных диаграмм, по данным замеров на введенных в строй объектах идентичных проектируемым.

4.6 Расчет электрических нагрузок в сетях напряжением 400/230 В

Электрические нагрузки в сетях напряжением 400/230 В складываются из нагрузок жилых домов, общественных и коммунальных учреждений, производственных потребителей, а также нагрузки наружного освещения.

Порядок расчета

1. Вычертить в заданном масштабе план объекта (населенный пункт, животноводческий комплекс, производственные мастерские и т.п.) с нанесением жилых домов и зданий общественных, коммунально-бытовых и производственных потребителей.

2. Определить нагрузки на вводах к потребителям по методике, изложенной в п.п. 4.1–4.5.

3. На плане проектируемого объекта наметить трассы будущих низковольтных линий напряжением 0,4 кВ. Разбить их на участки длиной не более 100 м. Все однородные потребители, присоединенные к каждому участку, и соизмеримые по мощности, объединить в группы. Каждой группе потребителей и отдельным потребителям, не входящим в группы, присвоить номера.

4. Определить суммарную расчетную активную нагрузку каждой группы. Если нагрузки по величине не отличаются более чем в 4 раза, то расчет ведут по формулам

$$P_{\text{д}} = k_o \sum_1^n P_{\text{pi}} k_{\text{д}}, \quad (4.4)$$

$$P_{\text{в}} = k_o \sum_1^n P_{\text{pi}} k_{\text{в}}, \quad (4.5)$$

где k_o – коэффициент одновременности (определяется по таблице 4.3)

n – число потребителей в одной группе;

P_{pi} – расчетная нагрузка на вводе i -го потребителя;

$k_{\text{д}}$, $k_{\text{в}}$ – коэффициенты дневного и, соответственно, вечернего максимума объекта $P_{\text{р}}$.

Допускается определять расчетные нагрузки по одному дневному режиму, если суммируются производственные потребители, или по вечернему – если суммируются бытовые потребители.

Коэффициенты дневного и вечернего максимума принимаются:

для производственных потребителей $k_{\text{д}} = 1$; $k_{\text{в}} = 0,6$;

для бытовых потребителей (дома без электроплит) $k_{\text{д}} = 0,3–0,4$; $k_{\text{в}} = 1$;

для бытовых потребителей (дома с электроплитами) $k_{\text{д}} = 0,6$; $k_{\text{в}} = 1$;

для смешанной нагрузки $k_{\text{д}} = k_{\text{в}} = 1$.

Таблица 4.3 – Коэффициенты одновременности для суммирования электрических нагрузок

Наименование потребителей	Количество потребителей										
	2	3	5	7	10	15	20	50	100	200	500 и более
Жилые дома с удельной нагрузкой на вводе: до 2 кВт/дом; свыше 2 кВт/дом	0,76	0,66	0,55	0,49	0,44	0,40	0,37	0,30	0,26	0,24	0,22
	0,75	0,64	0,53	0,47	0,42	0,37	0,34	0,27	0,24	0,20	0,18
Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	0,73	0,62	0,50	0,43	0,38	0,32	0,29	0,22	0,17	0,15	0,12
Производственные потребители	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,47	0,40	0,35	0,30

Если же нагрузки потребителей отличаются более чем в 4 раза, суммирование их производится отдельно для дневного и вечернего максимума с помощью добавок (таблица 4.4) по формуле:

$$P_{д(в)} = P_б + \Delta P, \quad (4.6)$$

Таблица 4.4 – Таблица добавок к большей слагаемой при суммировании нагрузок в сетях 0,4 кВ

<i>P</i>	ΔP														
0,2	+0,2	11	+6,7	36	+23,5	61	+41,7	102	+70	152	+110	202	+152	252	+192
0,3	+0,2	12	+7,3	37	+24,2	62	+42,4	104	+72	154	+111	204	+153	254	+193
0,4	+0,3	13	+7,9	38	+25,0	63	+43,1	106	+73	156	+113	206	+155	256	+195
0,5	+0,3	14	+8,5	39	+25,8	64	+43,8	108	+75	158	+114	208	+156	258	+196
0,6	+0,4	15	+9,2	40	+26,5	65	+44,5	110	+76	160	+116	210	+158	260	+198
0,8	+0,5	16	+9,8	41	+27,2	66	+45,2	112	+78	162	+117	212	+160	262	+200
1,0	+0,6	17	+10,5	42	+28,0	67	+45,9	114	+80	164	+119	214	+161	264	+201
1,5	+0,9	18	+11,2	43	+28,8	68	+46,6	116	+81	166	+120	216	+163	266	+203
2,0	+1,2	19	+11,8	44	+29,5	69	+47,3	118	+82	168	+122	218	+164	268	+204
2,5	+1,5	20	+12,5	45	+30,2	70	+48,0	120	+84	170	+123	220	+166	270	+206
3,0	+1,8	21	+13,1	46	+31,0	72	+49,4	122	+86	172	+124	222	+168	272	+208
3,5	+2,1	22	+13,8	47	+31,8	74	+50,2	124	+87	174	+126	224	+169	274	+209
4,0	+2,4	23	+14,4	48	+32,5	76	+52,2	126	+89	176	+127	226	+171	276	+211
4,5	+2,7	24	+15,0	49	+33,2	78	+53,6	128	+90	178	+129	228	+172	278	+212
5,0	+3,0	25	+15,7	50	+34,0	80	+55,0	130	+92	180	+130	230	+174	280	+214
5,5	+3,3	26	+16,4	51	+34,7	82	+56,4	132	+94	182	+132	232	+176	282	+216
6,0	+3,6	27	+17,0	52	+35,4	84	+57,8	134	+95	184	+134	234	+177	284	+217
6,5	+3,9	28	+17,7	53	+36,1	86	+59,2	136	+97	186	+136	236	+179	286	+219
7,0	+4,2	29	+18,4	54	+36,8	88	+60,6	138	+98	188	+138	238	+180	288	+220
7,5	+4,5	30	+19,0	55	+37,5	90	+62,0	140	+100	190	+140	240	+182	290	+222
8,0	+4,8	31	+19,7	56	+38,2	92	+63,4	142	+102	192	+142	242	+184	292	+224

Окончание таблицы 4.4

<i>P</i>	ΔP	<i>P</i>	ΔP	<i>P</i>	ΔP	<i>P</i>	ΔP	<i>P</i>	ΔP	<i>P</i>	ΔP	<i>P</i>	ΔP	<i>P</i>	ΔP
8,5	+5,1	32	+20,4	57	+38,9	94	+64,8	144	+103	194	+144	244	+185	294	+225
9,0	+5,4	33	+21,2	58	+39,6	96	+66,2	146	+105	196	+146	246	+187	296	+227
9,5	+5,7	34	+22,0	59	+40,3	98	+77,6	148	+106	198	+148	248	+188	298	+228
10	+6,0	35	+22,8	60	+41,0	100	+69,0	150	+108	200	+150	250	+190	300	+230
Примечание: <i>P</i> – меньшая из слагаемых нагрузок, кВт; ΔP – добавка, соответствующая меньшей нагрузке, кВт.															

При наличии в зоне электроснабжения сезонных потребителей (парники, теплицы, орошение и т. п.) расчетные нагрузки сети определяются с учетом коэффициентов сезонности k_c , приведенных в таблице 4.5.

Если суммарная нагрузка сезонных потребителей составляет от суммарной нагрузки несезонных потребителей более 20 % для весенних, 30 % для летних или 10 % для осенне-летних, то кроме расчетного зимнего режима выполняется расчет нагрузки для соответствующего сезона.

Таблица 4.5 – Коэффициенты сезонности сельскохозяйственных потребителей

Вид потребителя	Сезон			
	зима	весна	лето	осень
Традиционные потребители	1	0,8	0,7	0,9
Орошение	0–0,1	0,3–0,5	1,0	0,2–0,5
Закрытый грунт на электрообогреве	0,3	1,0	0	0
Осенне-летние потребители	0,2	0	1,0	1,0

5. Получить суммарную расчетную активную нагрузку P_p трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ путем суммирования нагрузок всех групп потребителей по формулам (4.4), (4.5) или (4.6) с учетом таблицы 4.4.

6. Определить средневзвешенный коэффициент мощности объекта $\cos \varphi_{\text{ср.взв}}$ из выражения

$$\cos \varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum_1^n P_{pi} \cdot \cos \varphi_i}{\sum_1^n P_{pi}}, \quad (4.7)$$

где $\cos \varphi_{\text{ср.взв}}$ – коэффициент мощности i -го потребителя определяется по таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Коэффициенты мощности сельскохозяйственных потребителей трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ

Потребители, трансформаторные подстанции	Коэффициент мощности (cosφ) и коэффициент реактивной мощности (tgφ) при максимальной нагрузке			
	дневной		вечерний	
	cosφ	tgφ	cosφ	tgφ
Животноводческие и птицеводческие помещения	0,75	0,89	0,85	0,62
То же с обогревом	0,92	0,43	0,96	0,29
Отопление и вентиляция животноводческих помещений	0,99	0,5	0,99	0,15
Кормоцеха	0,75	0,88	0,78	0,80
Зерноочистительные тока, зернохранилища	0,7	1,02	0,75	0,88
Установки орошения и дренажа почвы	0,80	0,75	0,80	0,75
Парники и теплицы на электрообогреве	0,92	0,43	0,96	0,29
Мастерские, тракторные станы, гаражи для машин	0,7	1,02	0,75	0,88
Мельницы, маслобойки	0,8	0,75	0,85	0,62
Цеха по переработке сельскохозяйственной продукции	0,75	0,88	0,80	0,75
Общественные учреждения и коммунальные предприятия	0,85	0,62	0,90	0,48
Жилые дома без электроплит	0,90	0,48	0,93	0,40
Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	0,92	0,43	0,96	0,29
Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с	0,70	1,02	0,75	0,88
производственной нагрузкой,	0,90	0,48	0,92	0,43
коммунально-бытовой нагрузкой,	0,80	0,75	0,83	0,67
смешанной нагрузкой				

7. Определяем полную расчетную нагрузку проектируемого объекта:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi_{\text{ср.взв}}}. \quad (4.8)$$

По данной расчетной нагрузке по каталогу выбирается мощность трансформаторов и их количество. Число трансформаторов на подстанции выбирается с учетом надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

8. После того как выбрана мощность трансформаторов и их количество на подстанции, находится место трансформаторных подстанций для проектируемого объекта.

9. Если проектируемым объектом является протяженный поселок, имеющий равномерно распределенную нагрузку, приближенное число трансформаторных подстанций определяется по формуле

$$N_{\text{ТП}} = 0,25 \sqrt{\frac{S_p L}{\Delta U \%}}, \quad (4.9)$$

где L – длина населенного пункта, км;

$\Delta U\%$ – допустимая потеря напряжения в сети напряжением 0,4 кВ (определяется по таблице отклонений напряжения).

Протяженным поселком считается населенный пункт, имеющий не более двух улиц и длину, превышающую двойную ширину поселка.

Число ТП для населенных пунктов другой конфигурации определяется по формуле

$$N_{\text{ТП}} = 0,35 \sqrt[3]{\frac{S_p^2 F}{(\Delta U \%)^2}}, \quad (4.10)$$

где F – площадь населенного пункта, км².

Полученные по этим формулам значения округляют до условного числа. Если протяженность объекта не превышает 200 м, следует установить одну ТП. Если по расчету получится $N_{\text{ТП}} \geq 2$, то всех потребителей разделяют на зоны, число которых должно быть равным числу ТП. Зоны желательно создавать с однородными потребителями.

8. На план объекта (зоны) нанести оси координат и определить координаты нагрузок и их групп. По формуле (4.11) определить центр нагрузок и место трансформаторной подстанции. Результаты расчета нагрузок потребителей и их координаты свести в таблицу 4.7.

Если по расчету в населенном пункте необходимо сооружать несколько ТП, то для определения места их расположения потребители делятся на зоны. Число зон должно быть равно количеству ТП. Обычно ТП размещают в центре нагрузок. Поэтому, в каждой зоне находят координаты отдельных нагрузок и их групп по формулам

$$\left. \begin{aligned}
 X &= \frac{\sum_1^n P_{p.i} \cdot x_i}{\sum_1^n P_{p.i}} \\
 Y &= \frac{\sum_1^n P_{p.i} \cdot y_i}{\sum_1^n P_{p.i}}
 \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

где x_i, y_i – координаты центра нагрузки групп;

P_{pi} – расчетная нагрузка потребителей или их групп.

9. В соответствии выбранными трассами линий и местом ТП составляют расчетную схему низковольтной сети. На нее наносят потребителей, указывают их мощность, номера линий и расчетных участков, длины участков.

Таблица 4.7 – Результаты расчета нагрузок отдельных потребителей и однородных групп и их координаты

Номер потребителей и групп	Наименование потребителей	Расчетная мощность, кВт		Координаты нагрузок, м		Коэффициенты мощности	
		P_d	P_b	X	Y	$\cos\varphi_d$	$\cos\varphi_b$
1							
2							
...							
Итого							

10. Скорректировать место ТП и отходящих линий напряжением 0,4 кВ. При этом обеспечить возможность подхода линии 10 кВ и выхода линий 0,4 кВ. Место рядом с ТП должно быть свободным от застроек. Исключить пересечение между собой линий 0,4 кВ, а протяженность их от начала до самой удаленной точки не должна превышать 0,8–1,0 км.

11. Составить расчетную схему низковольтной сети. Она должна соответствовать выбранным трассам линий. Нанести потребителей. Указать их мощность, номера линий и расчетных участков, длины участков.

12. Суммирование нагрузок по участкам линии проводится аналогично рассмотренной выше методике с использованием коэффициентов одновременности по формулам (4.4–4.5) или по таблице 4.4. Результаты расчетов свести в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Расчетная нагрузка на участках линии 400/230 В

Номера расчетных участков	Расчетная нагрузка				Коэффициент мощности на участке		Надбавка, кВт		Коэффициент одновременности	Наружное освещение, кВт
	активная, кВт		полная, кВ·А							
	P_d	P_B	S_d	S_B	$\cos \varphi_d$	$\cos \varphi_B$	ΔP_d	ΔP_B	k_o	$P_{ул}$

Расчетная мощность трансформаторов определяется путем суммирования нагрузок участков отходящих линий напряжением 0,4 кВ.

Число трансформаторов на подстанции выбирается с учетом надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

4.7 Расчет электрических нагрузок в сетях напряжением 10 кВ

Порядок расчета

1. На план сельскохозяйственной зоны, приведенной в задании (рисунок 1), нанести номера населенных пунктов, номера ТП, установленную мощность трансформаторов и другие исходные данные для расчета электрических нагрузок в сетях 10 кВ воздушных линий, взяв их из задания (таблица 3). Составить расчетную схему линии напряжением 10 кВ.

2. По таблице 4.9 уточнить коэффициенты роста нагрузок, определить коэффициенты дневного и вечернего максимума нагрузок и коэффициенты сезонности (таблица 4.5). Результаты расчетов свести в таблицу 4.10.

Таблица 4.9 – Коэффициент роста нагрузок ТП 10/0,4 кВ

Вид потребителя	Расчетный год			
	5	7	10*	12*
Коммунально-бытовые	1,2	1,3	1,8	2,0
Производственные	1,3	1,4	2,1	2,4
Смешанные и прочие несельскохозяйственные	1,3	1,4	2,0	2,2

* Коэффициенты расчета нагрузок на 10-й и 12-й год учитывают нагрузки всех потребителей, включая новые.

Для электрических нагрузок ТП, питающих законченное строительство животноводческих комплексов, неперспективные населенные пункты и другие потребители, развитие которых не намечается, коэффициент роста нагрузок принимается равным единице ($k_n = 1$).

Таблица 4.10 – Результаты расчетов нагрузок подстанций

№№ п.п.	№№ ТП	$S_{ТП}$	$P_{ТП}$	k_n	k_d	k_b	$P_{р.д}$	$P_{р.в}$	Вид потре- бителя
		кВ·А	кВт				кВт	кВт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

3. Перспективная расчетная нагрузка существующих ТП с учетом коэффициента роста определяется по формуле

$$P_p = P_{ТПi} k_n, \quad (4.12)$$

где $P_{ТПi}$ – максимальная существующая нагрузка трансформаторной подстанции в исходном году, кВт;

k_n – коэффициент роста нагрузок (принимается по таблице 4.9).

4. Учитывая выражение (4.12), определить нагрузки ТП для дневного и вечернего максимума по формулам

$$P_{р.д} = P_{ТПi} k_d k_n; \quad (4.13)$$

$$P_{р.в} = P_{ТПi} k_b k_n. \quad (4.14)$$

При наличии на линии ТП, питающих сезонные потребители, нагрузки этих ТП определяются с учетом коэффициента сезонности (таблица 4.5).

5. Произвести суммирование нагрузок по участкам линии. Если нагрузки подстанций отличаются по значению не более чем в 4 раза, суммирование производится с учетом коэффициентов одновременности, приведенных в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Коэффициент одновременности для суммирования электрических нагрузок в сетях 6–20 кВ

Количество трансформаторных подстанций	2	3	5	10	20	25 и более
Коэффициент одновременности	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65

Если нагрузки подстанций отличаются по значению более чем в 4 раза, суммирование следует проводить по формуле (4.6). Добавки, соответствующие меньшим нагрузкам, принимаются из таблицы 4.12.

Таблица 4.12 – Таблица добавок к большей слагаемой при суммировании нагрузок в сетях 6–35 кВ в кВт

P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP										
1	+0,6	26	+17,2	52	+38,0	105	+78	260	+204	510	+408	760	+618	1020	+847
2	+1,2	27	+18,0	54	+39,5	110	+82	270	+212	520	+416	770	+626	1040	+865
3	+1,8	28	+18,8	56	+41,0	115	+86	2X0	+220	530	+424	780	+634	1060	+882
4	+2,5	29	+19,6	58	+42,5	120	+90	290	+228	540	+432	790	+642	1080	+900
5	+3,1	30	+20,4	60	+44,0	125	+94	300	+235	550	+440	800	+650	1100	+918
6	+3,7	31	+21,2	62	+45,6	130	+98	310	+243	560	+448	810	+659	1120	+935
7	+4,3	32	+22,0	64	+47,2	135	+102	320	+251	570	+456	820	+667	1140	+953
8	+5,0	33	+22,8	66	+48,8	140	+106	330	+259	580	+465	830	+668	1160	+970
9	+5,6	34	+23,6	68	+50,4	145	+110	340	+267	590	+474	840	+686	1180	+967
10	+6,3	35	+24,4	70	+52,0	150	+115	350	+275	600	+483	850	+695	1200	+1005
11	+7,0	36	+25,2	72	+53,5	155	+119	360	+283	610	+492	860	+704	1220	+1022
12	+7,7	37	+26,0	74	+55,0	160	+123	370	+291	620	+500	870	+713	1240	+1040
13	+8,4	38	+26,8	76	+56,5	165	+127	380	+299	630	+508	880	+722	1260	+1057
14	+9,0	39	+27,6	78	+58,0	170	+131	390	+307	640	+517	890	+731	1280	+1075
15	+9,7	40	+28,4	80	+59,5	175	+135	400	+315	650	+525	900	+740	1300	+1093
16	+10,4	41	+29,2	82	+61,0	180	+139	410	+323	660	+534	910	+749	1320	+1110
17	+11,0	42	+30,0	84	+62,5	185	+143	420	+332	670	+543	920	+758	1340	+1128
18	+11,6	43	+30,8	86	+64,0	190	+147	430	+340	680	+552	930	+767	1360	+1146
19	+12,3	44	+31,6	88	+65,5	195	+151	440	+348	690	+561	940	+776	1380	+1164
20	+13,0	45	+32,4	90	+67,0	200	+155	450	+357	700	+570	950	+785	1400	+1182
21	+13,7	46	+33,2	92	+68,5	210	+162	460	+365	710	+578	960	+794	1420	+1200
22	+14,4	47	+34,0	94	+70,0	220	+170	470	+374	720	+586	970	+803	1440	+1218
23	+15,1	48	+34,8	96	+71,5	230	+178	480	+382	730	+594	980	+812	1460	+1235
24	+15,8	49	+35,6	98	+73,0	240	+186	490	+391	740	+602	990	+821	1480	+1252
25	+16,5	50	+36,5	100	+74,5	250	+194	500	+400	750	+610	1000	+830	1500	+1270

8. Определить полную расчетную мощность по участкам в дневной и вечерний максимумы по формулам

$$S_{p.д} = \frac{P_{p.д}}{\cos \varphi_{д}}, \quad (4.15)$$

$$S_{p.в} = \frac{P_{p.в}}{\cos \varphi_{в}}. \quad (4.16)$$

Коэффициенты мощности $\cos \varphi_{д}$ и $\cos \varphi_{в}$ определяются по таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Значение коэффициентов мощности для сетей 6–35 кВ

$P_{д}/P_{в}$	$\cos \varphi_{д}$	$\cos \varphi_{в}$	$P_{д}/P_{в}$	$\cos \varphi_{д}$	$\cos \varphi_{в}$
0,25–0,35	0,92	0,95	0,86–1,15	0,78	0,87
0,36–0,60	0,88	0,93	1,16–1,4	0,76	0,82
0,61–0,85	0,83	0,91	1,41 и более	0,73	0,73

Результаты работы свести таблицу 4.14.

Таблица 4.14 – Расчет электрических нагрузок на участках линии 10 кВ

Расчетный участок	Расчетная активная нагрузка, кВт		$\cos \varphi$	Коэффициент одновременности	Надбавка, кВт		Расчетная полная нагрузка, кВ·А	
	$P_{р.д}$	$P_{р.в}$			$\Delta P_{д}$	$\Delta P_{в}$	$S_{р.д}$	$S_{р.в}$

5 Электрический расчет сетей 0,4 и 10 кВ

Электрические сети напряжением 0,4 и 10кВ в настоящее время сооружаются самонесущими изолированными проводами (СИП). В соответствии с ТКП 339–2011 выбор сечения токоведущих проводников этих проводов должен производиться по допустимому току. Затем оно проверяется по условию нагрева при коротком замыкании на термическую стойкость.

Порядок расчета

1. Определяется расчетный ток нагрузки $I_{расч}$.
2. По расчетному току нагрузки по таблицам 5.1 или 5.2 ориентировочно определяется сечение проводника $F_{табл}$ и соответствующее ему значение тока $I_{табл}$.

Таблица 5.1 – Допустимый длительный ток для СИП и допустимый ток односекундного короткого замыкания

Номинальное сечение основных жил, мм ²	Допустимый ток нагрузки, А, не более			Допустимый ток односекундного короткого замыкания, кА, не более	
	Самонесущие изолированные провода	Защищенные провода		Самонесущие изолированные провода	Защищенные провода
		10 кВ	35 кВ		
16	100	–	–	1,5	–
25	130	–	–	2,3	–
35	160	200	220	3,2	3,0
50	195	245	270	4,6	4,3
70	240	310	340	6,5	6,0
95	300	370	400	8,8	8,2
120	340	430	460	10,9	10,3
150	380	485	520	13,2	12,9
185	436	560	600	16,5	15,9
240	515	600	670	22,0	20,6

Таблица 5.2 – Допустимый ток нагрузки и допустимый ток односекундного короткого замыкания для покрытых проводов

Номинальное сечение токопроводящей жилы, мм ²	Допустимый ток нагрузки, А,	Допустимый ток односекундного короткого замыкания, кА (не более)	Активное сопротивление проводов, Ом/км
	АСИ	АСИ	АСИ
35	175	3,2	0,789
50	210	4,7	0,602
70	265	6,8	0,428
95	330	9,4	0,306

3. Если расчетная температура окружающей среды отличается от 25 °С, применяют поправочные коэффициенты k_t , приведенные в таблице 5.3, и определяют допустимый ток $I_{\text{доп}}$.

Таблица 5.3 – Поправочные коэффициенты k_t

Температура токопроводящей жилы, °С	Поправочные коэффициенты при температуре окружающей среды, °С											
	-5 и ниже	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
80	1,24	1,21	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
90	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

$$I_{\text{доп}} = k_t k_{\text{п}} I_{\text{табл}}, \quad (5.1)$$

где $k_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент на число параллельно проложенных проводов и расстояния между ними, для СИП принимается $k_{\text{п}} = 1$.

4. Найденное значение допустимого тока сравнивают с током нагрузки.

Если $I_{\text{доп}} > I_{\text{расч}}$, сечение провода считается выбранным. Если $I_{\text{доп}} < I_{\text{расч}}$, сечение провода увеличивают и расчет повторяют.

Допустимый нагрев токопроводящих проводов при эксплуатации не должен превышать значений, указанных в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Допустимый нагрев СИП

Режим эксплуатации	Допустимая температура нагрева СИП °С с изоляцией из полиэтилена	
	термопластичного	сшитого
Нормальный режим	70	90
Режим перегрузки продолжительностью до 6 часов в сутки	80	130
Режим короткого замыкания с протеканием тока короткого замыкания до 5 секунд	135	250

5. Допустимый ток согласовывают с током плавкой вставки предохранителя по условиям (2.10–2.13, б) или током срабатывания расцепителей автомата по условиям (2.24–2.30) [2].

6. Выбранное сечение провода проверяют по условиям нагрева при коротком замыкании по условию

$$F \geq I_{\text{кз}} \frac{\sqrt{t}}{k}, \quad (5.2)$$

где F – сечение токопроводящих жил, мм²;

$I_{\text{кз}}$ – значение тока короткого замыкания, А;

t – время протекания тока короткого замыкания, с;

k – коэффициент, $\frac{\text{А} \cdot \text{с}^{0,5}}{\text{мм}^2}$. В зависимости от термостойкости изоляции провода принимается: для проводов с изоляцией из термопластичного полиэтилена – 59 и из сшитого полиэтилена – 92.

7. Сечение провода проверяется на термическую стойкость по формуле

$$I_{\text{н.т.}}^2 t_{\text{н.т.}} \geq I_{\text{кз.}}^2 t, \quad (5.3)$$

где $I_{\text{н.т.}}$ – номинальный ток термической устойчивости, который провод может выдерживать без повреждений в течение времени $t_{\text{н.т.}}$ (в таблицах 5.1 и 5.2 дается для 1 с, а в таблицах 5.5 и 5.6 – для 1 или 3 с);

$t_{\text{н.т.}}$ – номинальное время термической устойчивости;

$I_{\text{кз.}}$ – установившийся ток короткого замыкания;

t – время действия тока короткого замыкания.

Таблица 5.5 – Допустимый длительный и аварийный ток для самонесущих изолированных проводов с алюминиевыми жилами с изоляцией из термопластичного полиэтилена

Сечение провода, мм ²	Длительный ток, А, при температуре воздуха, °С		Кратковременный ток, А, при длительности короткого замыкания, с	
	25	40	1	3
10	60	40	600	300
16	70	45	1000	500
25	95	60	1500	800
35	110	65	2000	1200
50	140	85	3000	1700
70	170	95	4000	2400
95	200	110	5000	2900

Таблица 5.6 – Допустимый длительный и аварийный ток для самонесущих изолированных проводов с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена

Сечение провода, мм ²	Длительный ток, А, при температуре воздуха, °С		Кратковременный ток, А, при длительности короткого замыкания, с	
	25	40	1	3
10	80	65	900	500
16	95	80	1400	800
25	125	105	2300	1300
35	150	120	3200	1800
50	195	160	4600	2600
70	240	190	6400	3700
95	280	225	7600	4400

8. По формуле (5.4) определяется потеря напряжения при выбранных сечениях провода и сравнивается с допустимой. Если она окажется меньше допустимой ($\Delta U_{\text{расч}} < \Delta U_{\text{доп}}$), расчет считается законченным.

$$\Delta U_{\text{расч}} = \sqrt{3} I l (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi). \quad (5.4)$$

Если потеря напряжения будет больше допустимой ($\Delta U_{\text{расч}} > \Delta U_{\text{доп}}$), то сечение провода увеличивают. Допустимая потеря напряжения определяется по таблице отклонений напряжения.

6 Определение потерь энергии в электрических сетях

6.1 Потери энергии в линии

Потери энергии в линии можно определить по одному из трех способов.

1. Если задан график продолжительности тока нагрузки для любого участка электрической линии с нагрузкой на конце, то в этом случае строят график продолжительности квадрата тока нагрузки и определяют его площадь планиметрированием или подсчетом по миллиметровой сетке.

Тогда потери энергии в линии будут равны

$$\Delta W = 3r \int_0^t i^2 dt. \quad (6.1)$$

Если нагрузка задана мощностью, то подставив в выражение (6.1) вместо тока значение мощности, получим

$$\Delta W = 3r \int_0^t \left(\frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi} \right)^2 dt = \frac{z}{U^2 \cos^2 \varphi} \int_0^t p^2 dt, \quad (6.2)$$

где p – активная мощность на участке линии в данный момент;

U – номинальное напряжение сети;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

2. Если график нагрузки потребителей не задан, а известна лишь максимальная нагрузка I_{\max} и годовое число часов ее использования T , то в этом случае для данного значения T по кривой $\tau = f(T)$, приведенной на рисунке 6.1, находят время максимальных потерь τ .

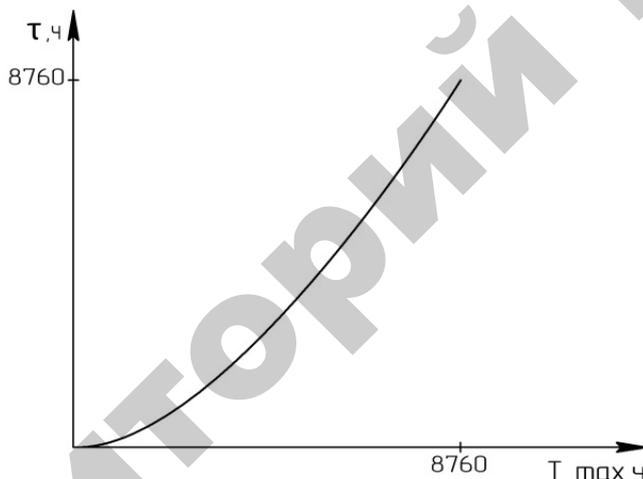


Рисунок 6.1 – Зависимость времени потерь от времени использования максимальной нагрузки

Тогда потери энергии будут равны

$$\Delta W = 3I_{\max}^2 r \tau. \quad (6.3)$$

Если ток выразить через активную мощность и подставить в выражение (6.3), то получим

$$\Delta W = \left(\frac{P_{\max}}{\sqrt{3}U \cos \varphi} \right)^2 3r \tau = \frac{P_{\max}^2}{U^2 \cos^2 \varphi} r \tau. \quad (6.4)$$

3. Если известен средний квадратичный ток, то потери энергии в линии в этом случае можно определить по следующей формуле

$$\Delta W = 3rI_{\text{ср.кв}}^2 \cdot 8760 \quad (6.5)$$

При нагрузке, равномерно распределенной вдоль линии, потери энергии в три раза меньше, чем в линии с нагрузкой на конце.

6.2 Потери энергии в трансформаторах

Потери энергии в трансформаторе, так же как и потери мощности, складываются из потерь в обмотках и потерь в стали.

Годовые потери энергии в трансформаторе

$$\Delta W = \Delta P_{\text{к.з}} \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{н}}} \right)^2 \tau + \Delta P_{\text{ст}} \cdot 8760, \quad (6.6)$$

где $\Delta P_{\text{к.з}}$ – потери короткого замыкания;

$S_{\text{н}}$ – номинальная мощность трансформатора;

S_{max} – максимальная нагрузка трансформатора.

8760 – число часов в году.

7 Конструктивное выполнение линий и ТП

В этом пункте студент дает характеристику применяемых в проекте опор линий электропередачи, проводов, применяемой арматуре. Показывает схему электрических соединений подстанции, тип и конструкцию подстанции (КТП, ЗТП, столбовая, блочная и пр.), применяемое оборудование, их характеристики.

8 Расчет токов короткого замыкания

Проектируемая сеть питается от системы неограниченной мощности. Расчет токов короткого замыкания необходимо вести в относительных единицах.

Порядок расчета

1. На основе принципиальной электрической схемы строят расчетную схему. На ней указывают параметры всех элементов. Для линий указывают марку провода, длину и напряжение, для трансформатора – мощность, высшее и низшее напряжения, напряжение короткого замыкания. Указывают точки короткого замыкания.

2. Составляют схему замещения. Для этого все элементы расчетной схемы заменяют сопротивлениями, пользуясь следующими формулами.

Для системы

$$x_{*c} = \frac{S_{\sigma}}{S_{к.с}}, \quad (8.1)$$

где $S_{к.с}$ – мощность короткого замыкания в точке присоединения электроустановки к системе.

Для двухобмоточного трансформатора

$$x_{*т} = \frac{U_{к}}{100} \frac{S_{\sigma}}{S_{н.т}}. \quad (8.2)$$

Для линий (воздушных, кабельных)

$$x_{*л} = x_0 l \frac{S_{\sigma}}{U_{ср}^2}, \quad (8.3)$$

$$r_{*л} = r_0 l \frac{S_{\sigma}}{U_{ср}^2}, \quad (8.4)$$

где $U_{ср}$ – среднее напряжение ступени (принимается $U_{ср} = 1,05 U_{н}$), кВ.

3. Преобразование схемы замещения. Все сопротивления схемы замещения приводят к простейшему виду путем использования известных из электротехники методов преобразования. В результате получают результирующее сопротивление:

$$x_{*рез} = x_{*c} + \sum x_{*вн}, \quad (8.5)$$

где $\sum x_{вн}$ – суммарное внешнее сопротивление всех элементов сети.

4. Определяют токи короткого замыкания:

Трехфазный

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{I_{\text{б}}}{x_{*\text{рез}}}; \quad (8.6)$$

Ударный

$$i_{\text{у}} = \sqrt{2}k_{\text{у}}I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (8.7)$$

где $k_{\text{у}}$ – ударный коэффициент.

Для сельских электрических сетей, которые питаются от мощных энергосистем, при коротких замыканиях на шинах низкого напряжения подстанции напряжением 110 кВ и выше ударный коэффициент следует принимать $k_{\text{у}} = 1,8$. При коротких замыканиях на шинах 10 и 35 кВ подстанции с высшим напряжением 35 кВ $k_{\text{у}} = 1,5$. При коротких замыканиях в сетях 10 и 0,4 кВ ударный коэффициент $k_{\text{у}} = 1$.

4. Мощность трехфазного короткого замыкания определяется по формулам

$$S_{\text{к}}^{(3)} = \frac{S_{\text{б}}}{x_{*\text{рез}}}, \quad (8.8)$$

или

$$S_{\text{к}}^{(3)} = \sqrt{3}I_{\text{к}}^{(3)}U_{\text{ср}}. \quad (8.9)$$

9 Выбор электрических аппаратов подстанции

В этом пункте студент должен начертить схему главных электрических соединений подстанции и показать, какие аппараты установлены на подстанции. На стороне 10кВ – это разъединители и предохранители, на стороне 0,4кВ – предохранители или автоматические выключатели. Электрические аппараты выбираются по номинальным току и напряжению и проверяются на термическую и динамическую устойчивость. Результаты выбора и проверки представить в виде таблиц 9.1 и 9.2.

Таблица 9.1 – Выбор и проверка разъединителей

Параметр	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условие выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{н.а}$	$U_{н.уст}$	$U_{н.а} \geq U_{н.уст}$
Номинальный ток, кА	$I_{н.а}$	$I_{р.макс}$	$I_{н.а} \geq I_{р.макс}$
Динамическая устойчивость, кА	$i_{макс}$	i_y	$i_{макс} \geq i_y$
Термическая устойчивость, кА ² ·с	$I_{н.т}$	I_{∞}	$I_{н.т}^2 t_{н.т} \geq I_{\infty}^2 t_{\phi}$

Таблица 9.2 – Выбор и проверка предохранителей

Параметр	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условие выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{н.а}$	$U_{н.уст}$	$U_{н.а} \geq U_{н.уст}$
Номинальный ток, кА	$I_{н.а}$	$I_{р.макс}$	$I_{н.а} \geq I_{р.макс}$
Номинальный ток отключения, кА	$I_{н.откл}$	I''	$I_{н.откл} \geq I''$
Номинальная мощность отключения, МВ·А	$S_{н.откл}$	S''	$S_{н.откл} \geq S''$

10 Защита отходящих линий 0,4 кВ

На КТП 10/0,4 кВ, оснащенные автоматическими выключателями А3100, А3700, АЕ2000, ВА и имеющими независимый расцепитель, разработана и выпускается полупроводниковая защита типа ЗТИ-0,4. Она предназначена для защиты трехфазных четырехпроводных воздушных линий 0,4 кВ от междуфазных и однофазных на нулевой провод коротких замыканий, а также замыканий на землю. Эта защита представляет собой приставку к автомату, расположенную под ним в низковольтном шкафу КТП. Для подключения к линии ЗТИ в приставке имеется четыре токовых входа, через которые пропускают три фазных и нулевой провода линии.

Выбор предохранителей для защиты наружных сетей напряжением 0,4 кВ

Предохранители выбирают по следующим условиям.

1. Напряжению:

$$U_{н.п} \geq U_c, \quad (10.1)$$

где U_c – напряжение сети;

$U_{н.п}$ – номинальное напряжение предохранителя.

2. Номинальному току плавкой вставки:

$$I_{в.н} \geq k_n I_{нагр}, \quad (10.2)$$

где $I_{в.н}$ – номинальный ток плавкой вставки;

$I_{нагр}$ – ток нагрузки защищаемой линии;

k_n – коэффициент надежности, который зависит от характера нагрузки;

При наличии в сети электродвигателей с тяжелыми условиями пуска $k_n = 2 - 2,5$; при отсутствии электродвигателей $k_n = 1,1$.

3. Предельному отключающему току:

$$I_{пр} \geq I_{к.макс}, \quad (10.3)$$

где $I_{пр}$ – предельный ток, отключающий предохранитель;

$I_{к.макс}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного короткого замыкания в месте установки предохранителя.

4. Чувствительности:

$$\frac{I_{к}^{(1)}}{I_{в.н}} \geq 3, \quad (10.4)$$

где $I_{к}^{(1)}$ – ток однофазного короткого замыкания в конце защищаемой линии.

Если при проверке предохранителя на чувствительность она не обеспечивается, то устанавливают другой комплект предохранителей или автомат в конце зоны действия рассматриваемого. В этом случае линию секционируют, т. е. делят на части. Секционирование производят таким образом, чтобы каждая часть линии была защищена соответствующим аппаратом с требуемой чувствительностью. Место установки секционирующего аппарата (дополнительного предохранителя или автомата) определяется предельным сопротивлением $z_{пр}$, характеризующим зону, защищаемую выбранным предохранителем с требуемой чувствительностью:

$$z_{\text{пр}} = \frac{U_{\phi}}{3I_{\text{в.н.}}} - \frac{z_{\text{т}}}{3} - z_{\text{п}}, \quad (10.5)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение линии ($U_{\phi} = 230 \text{ В}$);

$z_{\text{т}}$ – сопротивление при однофазном коротком замыкании трансформатора 10/0,4 кВ;

$z_{\text{п}}$ – сопротивление петли фазный провод – нулевой провод на участке линии от ТП до места установки предохранителя.

Дополнительный комплект предохранителей должен быть установлен так, чтобы сопротивление между ним и основным комплектом не превышало предельного.

Выбор автоматических выключателей для защиты наружных сетей напряжением 0,4 кВ

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям.

1. Напряжению:

$$U_{\text{н.а.}} \geq U_{\text{с}}, \quad (10.6)$$

где $U_{\text{н.а.}}$ – номинальное напряжение автомата;

$U_{\text{с}}$ – напряжение сети.

2. Номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{\text{н.т.р}} \geq k_{\text{н}} I_{\text{нагр}}, \quad (10.7)$$

где $I_{\text{н.т.р}}$ – номинальный ток теплового расцепителя;

$I_{\text{нагр}}$ – ток нагрузки защищаемой линии;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, зависящий от условий пуска электродвигателей, подключенных к линии; при наличии в сети электродвигателей с нормальными условиями пуска (продолжительностью пуска от 2 до 10 с) $k_{\text{н}} = 1,1$; при наличии двигателей с тяжелыми условиями пуска $k_{\text{н}} = 1,25 - 1,5$.

3. Предельному допустимому току отключения автомата:

$$I_{\text{пр.а}} \geq I_{\text{к.макс}}^{(3)}, \quad (10.8)$$

где $I_{\text{пр.а}}$ – предельный ток отключения автомата;

$I_{\text{к.макс}}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного короткого замыкания.

4. Току срабатывания электромагнитного расцепителя (токовой отсечки):

$$I_{\text{с.э.р}} \geq k_{\text{н.э}} I_{\text{макс}}, \quad (10.9)$$

где $I_{\text{с.э.р}}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя;

$k_{\text{н.э}}$ – коэффициент надежности, учитывающий разброс по току электромагнитного расцепителя. Для автоматических выключателей с номинальным током 100 А $k_{\text{н.э}}$ следует принимать не менее 1,4, а для выключателей с номинальным током более 100 А – не менее 1,25;

$I_{\text{макс}}$ – максимальный ток.

5. Коэффициенту чувствительности электромагнитного расцепителя:

$$k_{\text{ч.э.р}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{\text{у.э.р}}} \geq 1,1, \quad (10.10)$$

где $k_{\text{ч.э.р}}$ – коэффициент чувствительности электромагнитного расцепителя;

$I_{\text{к}}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания в месте установки автомата;

$I_{\text{у.э.р}}$ – ток уставки электромагнитного расцепителя.

Принимается $I_{\text{у.э.р}} \geq I_{\text{с.э.р}}$.

6. Коэффициенту чувствительности теплового расцепителя:

$$k_{\text{ч.т.р}} = \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{н.т.р}}} \geq 3, \quad (10.11)$$

где $k_{\text{ч.т.р}}$ – коэффициент чувствительности теплового расцепителя;

$I_{\text{к}}^{(1)}$ – ток однофазного короткого замыкания в наиболее удаленной точке защищаемого участка.

11 Защита от перенапряжений

В данном пункте студент должен показать способы защиты подстанций 10/0,4 кВ от атмосферных перенапряжений. Данные подстанции от прямых ударов молнии не защищают. Их защищают только от волн, набегающих с линии. Для этих целей используют разрядники. Необходимо показать в проекте, какие разрядники применяются и где их устанавливают.

12 Заземление

В данном пункте курсового проекта необходимо выполнить расчет заземляющего устройства подстанции.

При однородном грунте рекомендуется следующий порядок расчета.

1. Определяется в зависимости от параметров электроустановки допустимое сопротивление заземляющего устройства r_3 .

Для подстанции 10/0,4 кВ допустимое сопротивление заземляющего устройства при $\rho \leq 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ находят по формуле

$$r_3 \leq \frac{125}{I_3} \leq 10 \text{ Ом}, \quad (12.1)$$

где I_3 – ток замыкания на землю, определяемый по формуле

$$I_3 = \frac{U_n (l_b + 35 l_k)}{350}, \quad (12.2)$$

где U_n – номинальное напряжение сети, кВ;

l_b, l_k – длина электрически связанных воздушных и кабельных линий, включая ответвления, км;

при $\rho \leq 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ с учетом сопротивлений повторных заземлителей нулевого провода на воздушной линии 400/230 В сопротивление заземляющего устройства должно быть $r_3 \leq 4 \text{ Ом}$.

2. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта ρ . При определении расчетного значения удельного сопротивления грунта по измеренным значениям $\rho_{\text{изм}}$ пользуются формулой

$$\rho = K_c K_{i-3} \rho_{\text{изм}}, \quad (12.3)$$

где K_c – коэффициент сезонности. Он зависит от типа заземлителя и климатической зоны. Определяется по таблице 10.1;

K_{i-3} – коэффициенты, учитывающие состояние грунта при измерениях (K_1 – принимается, если измерения проводились при значительной влажности грунта; K_2 – при средней важности; K_3 – при сухом грунте). Эти коэффициенты принимаются из таблицы 12.1.

Таблица 12.1 – Коэффициенты, учитывающие состояние грунта при измерениях

Тип заземлителя	Длина, м	Коэффициент сезона K_c для климатических зон				Поправочные коэффициенты		
		1	2	3	4	K_1	K_2	K_3
Вертикальный	2–3	1,65	1,45	1,3	1,1	1,15	1,0	0,92
	5–7	1,35	1,25	1,15	1,1	1,1	1,0	0,95
Горизонтальный	До 10	5,5	3,5	2,5	1,5	1,7	1,0	0,75
	10–50	4,5	3,0	2,0	1,4	1,6	1,0	0,8

Удельное сопротивление грунта можно определить ориентировочно. При этом можно воспользоваться таблицей 12.2.

Таблица 12.2 – Удельные сопротивления грунтов

Грунт	Содержание влаги, %	Значение удельного сопротивления ρ грунта, Ом·м	
		предельные	рекомендуемые для расчета
Песок	10...20	200...1000	700
	Сухой	5000	5000
Супесок	10...20	150...400	300
Суглинок	30	40	200
	20	65	
	10	200...300	100
Глина	40	8	
	20	33	
	10	100	
Глина, смешанная с известняком и щебнем	–	50...200	150
Садовая земля	–	40	40
Торф	–	20	20
	60	10	200
	20	80	
Чернозем	сухой	200	
	То же	200...400	300
Мергель, известняк, крупнозернистый песок с валунами	–	1000...2000	2000

3. В случае использования естественных заземлителей, рассчитывается их сопротивление. При использовании трубы или кабеля

$$r_{\text{ест}} = \frac{\rho \ln\left(\frac{2l}{d}\right)}{\pi l}, \quad (12.4)$$

где l – длина трубы;

d – диаметр трубы.

4. Определяется требуемое сопротивление искусственных заземлителей:

$$r_{\text{иск}} = \frac{r_3 r_{\text{ест}}}{r_{\text{ест}} - r_3}. \quad (12.5)$$

Если естественные заземлители не используются, то $r_{\text{иск}} = r_3$.

5. Определяется сопротивление одиночного вертикального заземлителя $R_{\text{од}}$ с учетом удельного сопротивления грунта. Если верхний конец стержня (уголка) ниже уровня земли, то

$$R_{\text{од}} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (12.6)$$

где l – длина стержня;

d – диаметр стержня;

t – расстояние от поверхности земли до середины стержня заземлителя (при длине стержня 5 м и расстоянии от поверхности земли до вершины стержня 0,8 м $t = 5 : 2 + 0,8 = 3,3$ м).

При использовании уголка с шириной полки b

$$d = 0,95 b.$$

6. Определяем приближенное количество одиночных заземлителей:

$$n = \frac{R_{\text{од}}}{0,7 r_{\text{иск}}}. \quad (12.7)$$

Полученную величину округляют в сторону увеличения до значения кратного двум.

7. По графикам, приведенным на рисунке 12.1, определяют коэффициенты использования или экранирования вертикальных стержней $\eta_{ст}$ и горизонтальной полосы $\eta_{пол}$. Значения их зависят от отношения расстояния между стержнями a к длине стержня l и числа стержней n .

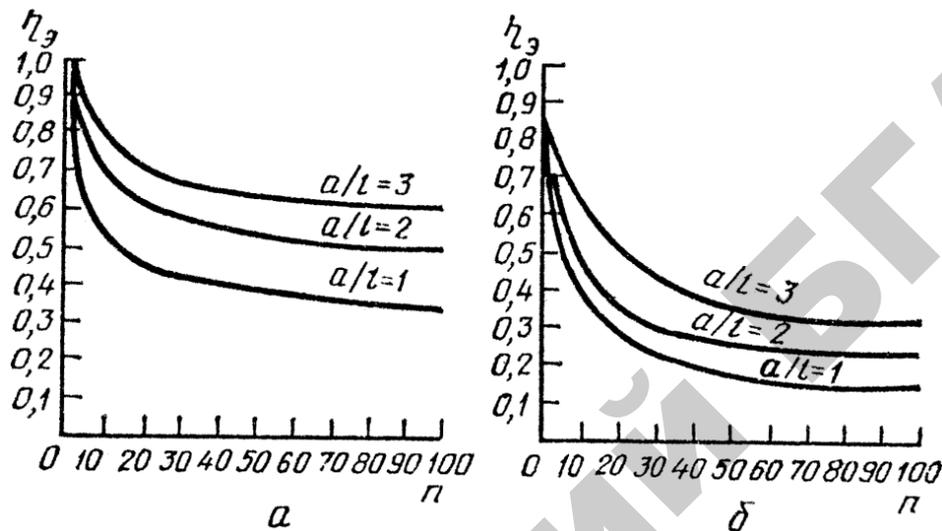


Рисунок 12.1 – Графики для определения коэффициентов экранирования (использования) стержневых заземлителей (а) и горизонтальной полосы связи (б)

8. Определяют длину соединительной горизонтальной полосы:

$$L = l n, \quad (12.8)$$

где l – длина одной соединительной полосы;

n – число полос.

9. Определяется сопротивление соединительной полосы:

$$R_{п} = \frac{\rho \ln \left(\frac{L^2}{dh} \right)}{2\pi L \eta_{пол}}, \quad (12.9)$$

где h – глубина прокладки полосы;

$\eta_{пол}$ – коэффициент использования горизонтальной полосы (определяется по графику, приведенному на рисунке 12.1, б).

10. Определяется требуемое сопротивление заземления с учетом сопротивления горизонтальной полосы:

$$R_{\text{и}} = \frac{r_{\text{иск}} R_{\text{п}}}{R_{\text{п}} - r_{\text{иск}}}. \quad (12.10)$$

11. Определяется окончательное количество вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{R_{\text{од}}}{R_{\text{и}} \eta_{\text{ст}}}, \quad (12.11)$$

где $\eta_{\text{ст}}$ – коэффициент использования вертикальных стержней (определяется по графику, приведенному на рисунке 12.1, а).

Заключение

В заключении приводятся результаты выполненной работы в проекте, их анализ и итоги.

Приложение А

ОБРАЗЕЦ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Факультет агроэнергетический

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой электроснабжения

В.М. Збродыга

«__» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект

Студенту Иванову И.И. _____ 4_ курс 101э группа дневное _____ отделение

Тема курсового проекта: Электроснабжение н.п. Жуки _____

Срок сдачи законченного проекта «01» 12 2018 года

Исходные данные: Существующее годовое потребление электроэнергии на многоквартирный жилой дом 1700 кВт·ч. Тип потребительской подстанции КТП. Номер расчетного населенного пункта – 8. Сопротивление грунта: $\rho = \underline{150}$ Ом·м.

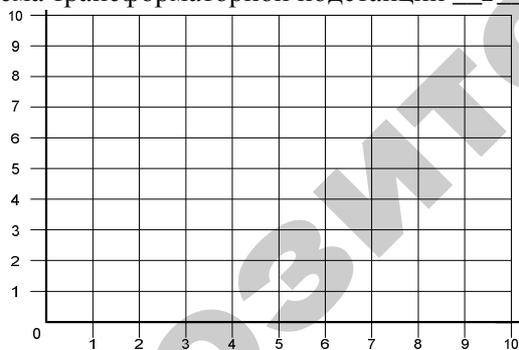
Примечание: 1. Исходные данные для выполнения проекта берутся из таблиц 1–3. 2. Рисунок 1 используется для нанесения координат населенных пунктов в соответствии с заданием и составления схемы сети 10 кВ. 3. Задание прилагается к законченному проекту. 4. Линии 10 и 0,4 кВ выполнять изолированными проводами.

Содержание пояснительной записки: 1. Введение. 2. Исходные данные. 3. Определение допустимых потерь напряжения в электрических сетях. 4. Расчет электрических нагрузок. 5. Электрический расчет сетей 0,4 и 10 кВ. 6. Определение потерь энергии в электрических сетях. 7. Конструктивное выполнение линий и ТП. 8. Расчет токов короткого замыкания. 9. Выбор электрических аппаратов подстанции. 10. Защита отходящих линий 0,4 кВ. 11. Защита от перенапряжений. 12. Заземление. Заключение. Литература.

Перечень графического материала:

– план электрических сетей 10, 0,4 кВ и расчетные схемы 1 лист;

– схема трансформаторной подстанции 1 лист;



Масштаб 1:200000

Рисунок 1 – План н.п. сельскохозяйственной зоны

Календарный график работы: пункт

1–5 (25%) 10.10.18; 6–8 (25%) 20.10.18;

9–11 (25%) 10.11.18; 12–16 (25%) 20.11.18;

Срок сдачи законченного проекта

«01» 12 2018 года.

Таблица 1 – Исходные данные по коммунально-бытовым и производственным потребителям

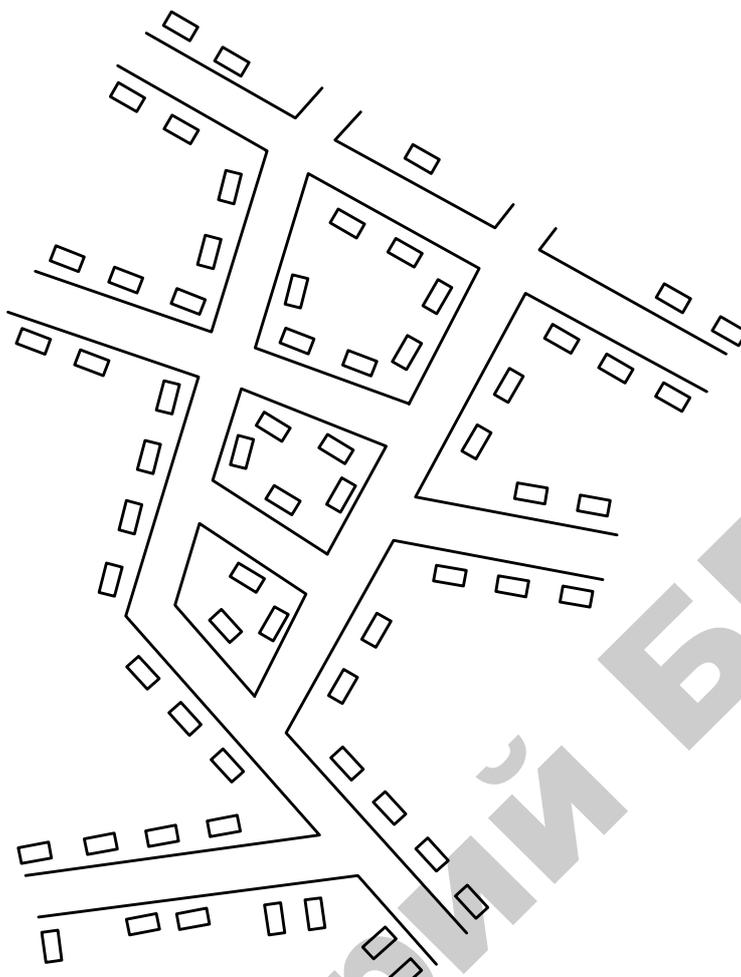
Номер варианта	Номер шифра нагрузки							
	341	352	356	383	530	535	544	550
91								

Таблица 2 – Координаты (X; Y) населенных пунктов

Номер задания	Источник питания	Номера населенных пунктов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16.	0; 2	3; 3	2; 5	2; 8	5; 5	5; 8	4; 9	6; 9	6; 1	9; 3	8; 6

Таблица 3 – Исходные данные для расчета воздушной линии 10 кВ

вариант	Отклонение напряжения		Ск.з. на шинах ИП	Соотношение мощностей	Номера населенных пунктов									
	ΔU^{100}	ΔU^{25}			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	91	%	%	МВ·А	$\frac{P_d}{P_{\Sigma}}$	210	45	110	25	80	160	40		200
	+5	0	500	$\frac{P_{\Sigma}}{P_0}$	230	110	80	65	150	80	90		250	40
					0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,7	0,6	0,5



№91 – Жуки

М 1:4000

Примечание.

Коммунально-бытовые нагрузки на плане располагаются по усмотрению студента.

Список использованных источников

1. Янукович, Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства. Учебное пособие для студентов спец. 1–74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович. – Минск : ИВЦ «Минфина», 2014. – 638 с.
2. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие для студентов спец. 1–74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович. – Минск : ИВЦ «Минфина», 2013. – 447 с.
3. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельскохозяйственного производства: учебное пособие для студентов спец. 1–74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович. – Минск : ИВЦ «Минфина», 2012. – 364 с.

Руководитель _____
(Подпись, дата)

_____ (инициалы, фамилия, уч. степень, звание)

Студент

Принял задание к исполнению _____
(Подпись, дата)

_____ (инициалы, фамилия, уч. степень, звание)

ВВЕДЕНИЕ

Электроснабжение производственных предприятий и населенных пунктов в сельской местности имеет свои особенности по сравнению с электроснабжением промышленности и городов.

Главная из них – это необходимость подводить электроэнергию к огромному числу сравнительно маломощных объектов, рассредоточенных по всей территории страны. В результате протяженность сетей (в расчете на единицу мощности потребителя) во много раз превышает эту величину в других отраслях народного хозяйства, а стоимость электроснабжения в сельском хозяйстве составляет до 75 % общей стоимости электрификации, включая затраты на приобретение рабочих машин.

Самый важный показатель системы электроснабжения – надежность подачи электроэнергии. В связи с ростом электрификации сельскохозяйственного производства, всякое отключение – плановое (для ревизии и ремонта) и, особенно, неожиданное, аварийное – наносит огромный ущерб потребителю и самой энергетической системе. Поэтому необходимо применять эффективные и экономически целесообразные меры по обеспечению оптимальной надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

					02.53.091.17-ПЗ		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Иванов И.И.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Зеленькевич</i>					3	41
<i>Консульт.</i>	<i>Зеленькевич</i>				Пояснительная записка БГАТУ 12345678		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Збродыга В.М.</i>						
<i>Н. контр.</i>	<i>Зеленькевич</i>						

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные к курсовому проекту:

Номер задания – 16;

Номер расчетного населенного пункта – 8;

Номер варианта исходных данных – 91;

Существующее годовое потребление электроэнергии на многоквартирный жилой дом – 1700 кВт·ч;

Тип потребительской подстанции – КТП;

Сопротивление грунта $\rho = 150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Таблица 1 – Коммунально-бытовые потребители

Номер на плане	Шифр нагрузки	Наименование потребителя	Расчетная нагрузка			
			P_d , кВт	Q_d , квар	P_v , кВт	Q_v , квар
1	341	Столярный цех	15,0	10,0	1,0	0,0
2	352	Гречерушка	3,0	2,0	1,0	0,0
3	356	Хлебопекарня производительностью 3 т/сут	5,0	4,0	5,0	4,0
4	383	Котельная с котлами КВ-300М или Д-721	5,0	4,0	5,0	4,0
5	530	Бригадный дом	2,0	0,0	5,0	0,0
6	535	Сельская амбулатория на 3 врачебных должности	10,0	3,0	10,0	3,0
7	544	Столовая с электронагревательным оборудованием и с электроплитой на 35 мест	35,0	15,0	15,0	5,0
8	550	Магазин на 2 рабочих места, смешанный ассортимент	2,0	0,0	4,0	0,0

						02.53.091.17-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		4

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 0,4 И 10 кВ

Для дальнейшего расчета составляем таблицу отклонений напряжения (таблица 2) и определяем по ней допустимые потери напряжения в сетях. Согласно нормам технологического проектирования электрических сетей, потери в электрических сетях 0,4 кВ не должна превышать 8 %. Потери напряжения в линии 10 кВ не должны превышать 10 %. Надбавку трансформатора принимаем +7,5 %, потери в трансформаторе –4 % при 100 % нагрузке и –1 % при 25 %. Напряжение у потребителя не должно повышаться или снижаться более чем на 5 % от номинального.

Таблица 2 – Отклонения напряжений

Элементы схемы	Нагрузка	
	100 %	25 %
Шины питающей подстанции	+5	0
ВЛ – 10 кВ	–5,5	–1,375
Трансформатор 10/0,4:		
надбавка	2,5	2,5
потеря	–4	–1
ВЛ – 0,4 кВ		
потери во внутренних сетях	–1,5	0
потери во внешних сетях	–6,5	0
Отклонение напряжения у потребителя	–10	+0,125

Полученные значения потерь напряжения в сетях будут использованы в дальнейшем расчете.

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Для расчета электрических нагрузок в сети 0,4 кВ размещаем на плане населенного пункта производственные и общественные потребители, а также объединяем жилые дома в группы (не более 10 домов).

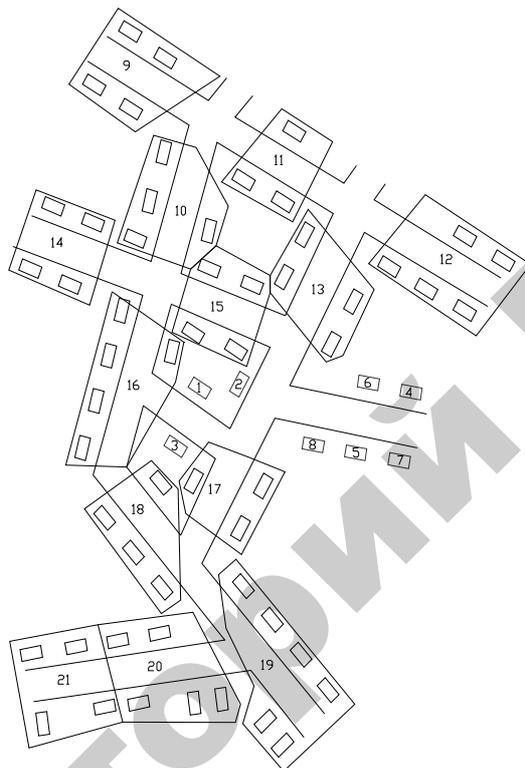


Рисунок 1 – Населенный пункт Жуки

Исходя из задания – $W_{\text{сущ}} = 1700$ кВт·ч/дом, по номограмме находим $P_{7\text{лет}} = 3$ кВт/дом.

Определим расчетные нагрузки одного жилого дома:

$$P_{1д} = K_{д} P_{дi} = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ кВт},$$

$$P_{1в} = K_{в} P_{vi} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ кВт}.$$

Дневную и вечернюю нагрузку групп домов найдем по формулам (4.4) и (4.5). Полученные значения сведем в таблицу 3.

						02.53.091.17-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док	Подпись	Дата		6

Таблица 3 – Определение нагрузок групп потребителей

Номер группы	N, шт	$P_{д1}$, кВт	$P_{в1}$, кВт	Коэфф. одновр., K_0	$P_{д}$, кВт	$P_{в}$, кВт
9	4	1,2	3,0	0,59	2,8	7,1
10	4	1,2	3,0	0,59	2,8	7,1
11	3	1,2	3,0	0,64	2,3	5,8
12	5	1,2	3,0	0,53	3,2	8,0
13	4	1,2	3,0	0,59	2,8	7,1
4	4	1,2	3,0	0,59	2,8	7,1
15	4	1,2	3,0	0,59	2,8	7,1
16	5	1,2	3,0	0,53	3,2	8,0
17	3	1,2	3,0	0,64	2,3	5,8
18	4	1,2	3,0	0,59	2,8	7,1
19	6	1,2	3,0	0,50	3,6	9,0
20	5	1,2	3,0	0,53	3,2	8,0
21	4	1,2	3,0	0,59	2,8	7,1
ИТОГО	55				37,6	93,9

Определим мощность, необходимую на уличное освещение.

По генплану $L_{ул} = 1640$ м. Согласно таблице 4.2 удельная мощность $P_{уд.ул} = 5,5$ Вт/м. Тогда $P_{ул.осв} = 5,5 \cdot 1640 / 1000 = 9$ кВт.

Нагрузки производственных потребителей принимаем по исходным данным. Так как дневные и вечерние нагрузки отличаются более чем в 4 раза, то суммирование нагрузок отдельных потребителей производим с учетом надбавок. Из таблицы 4.3 находим $K_0 = 0,27$.

Первая группа: жилые дома (55 домов).

$$P_{д} = K_0 P_{д1} N = 0,27 \cdot 1,2 \cdot 55 = 17,8 \text{ кВт},$$

$$P_{в} = K_0 P_{в1} N = 0,27 \cdot 3 \cdot 55 = 44,6 \text{ кВт}.$$

Вторая группа: столярный цех, гречерушка, хлебопекарня производительностью 3 т/сут, котельная с котлами КВ-300М или Д-721, бригадный дом, магазин на 2 рабочих места, смешанный ассортимент.

Из таблицы 4.3 находим $K_0 = 0,76$.

$$P_{д} = K_0 P_{д1} = 0,76 \cdot (15 + 3 + 5 + 5 + 2 + 2) = 24,3 \text{ кВт},$$

$$P_{в} = K_0 P_{в1} = 0,76 \cdot (1 + 1 + 5 + 5 + 5 + 4) = 15,96 \text{ кВт}.$$

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
------	--------	------	--------	---------	------

Третья группа: сельская амбулатория на 3 врачебных должности, столовая с электронагревательным оборудованием и с электроплитой на 35 мест.

Из таблицы 4.3 находим $K_0 = 0,85$.

$$P_d = K_0 P_{1d} = 0,85 \cdot (10 + 35) = 38,25 \text{ кВт},$$

$$P_b = K_0 P_{1b} = 0,85 \cdot (10 + 15) = 21,3 \text{ кВт}.$$

Суммируем расчетные нагрузки трех групп, с использованием надбавок получаем

$$P_{\text{нп}}^{\text{дн}} = 38,25 + 11,1 + 15,2 = 64,6 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{нп}}^{\text{веч}} = 44,6 + 9,8 + 13,2 = 67,6 \text{ кВт}.$$

Так как вечерняя нагрузка превышает дневную, а вечером включают уличное освещение, то максимальную мощность населенного пункта найдем как

$$P_{\text{н.п}} = P_{\text{н.п}}^{\text{веч}} + P_{\text{ул.осв}} = 67,6 + 9 = 76,6 \text{ кВт}.$$

Определим коэффициент мощности коммунально-бытовых потребителей. Результаты занесем в таблицу 4.

Таблица 4 – Определение коэффициента мощности коммунально-бытовых потребителей

Номер потребителя на плане	Шифр нагрузки	Наименование потребителя	Расчетная нагрузка				$\cos\varphi_d$, о.е.	$\cos\varphi_b$, о.е.
			P_d , кВт	Q_d , квар	P_b , кВт	Q_b , квар		
1	341	Столярный цех	15	10	1	0	0,83	1,00
2	352	Гречерушка	3	2	1	0	0,83	1,00
3	356	Хлебопекарня производительностью 3 т/сут	5	4	5	4	0,78	0,78
4	383	Котельная с котлами КВ-300М или Д-721	5	4	5	4	0,78	0,78
5	530	Бригадный дом	2	0	5	0	1,00	1,00
6	535	Сельская амбулатория на 3 врачебных должности	10	3	10	3	0,96	0,96
7	544	Столовая с электронагревательным оборудованием и с электроплитой на 35 мест	35	15	15	5	0,92	0,95
8	550	Магазин на 2 рабочих места, смешанный ассортимент	2	0	4	0	1,00	1,00

Рассчитаем средневзвешенный коэффициент мощности населенного пункта по формуле

$$\cos \varphi_{\text{cp}} = \frac{1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 5 \cdot 0,78 + 5 \cdot 0,78 + 5 \cdot 1 + 10 \cdot 0,96 + 15 \cdot 0,95 + 4 \cdot 1 + 93,9 \cdot 0,93}{1 + 1 + 5 + 5 + 5 + 10 + 15 + 4 + 93,9} = 0,93.$$

Полная мощность населенного пункта:

$$S_{\text{н.п}} = \frac{P_{\text{н.п.}}}{\cos \varphi_{\text{cp.взв}}} = \frac{76,6}{0,93} = 82,7 \text{кВ} \cdot \text{А}.$$

Изм.	Колич.	Лист	№ док	Подпись	Дата

4 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ И МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТП 10/0,4кВ

Площадь населенного пункта, по генплану – $F = 0,06 \text{ км}^2$. Допустимые потери напряжения в сети 0,4кВ – $\Delta U_{\text{д}} \% = 6,5 \%$.

Расчетное число ТП равно

$$N_{\text{ТП}} = 0,35 \sqrt[3]{82,7^2 \cdot 0,06 / (-6,5)^2} = 0,66.$$

Принимаем $N_{\text{ТП}} = 1$.

Определяем мощность трансформатора по полной расчетной нагрузке. Так как расчетная полная мощность населенного пункта равна 82,7 кВ·А, принимаем мощность трансформатора $S = 100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

Выбираем трансформатор типа ТМГ11-100-10/0,4 с параметрами: $P_{\text{х}} = 0,33 \text{ кВт}$, $P_{\text{к}} = 1,97 \text{ кВт}$, $U_{\text{к}} = 4,5 \%$. Для определения места расположения ТП определим координаты нагрузок и их групп путем определения центра нагрузок групп потребителей.

Для этого на план нанесем оси координат и определим координаты нагрузок.

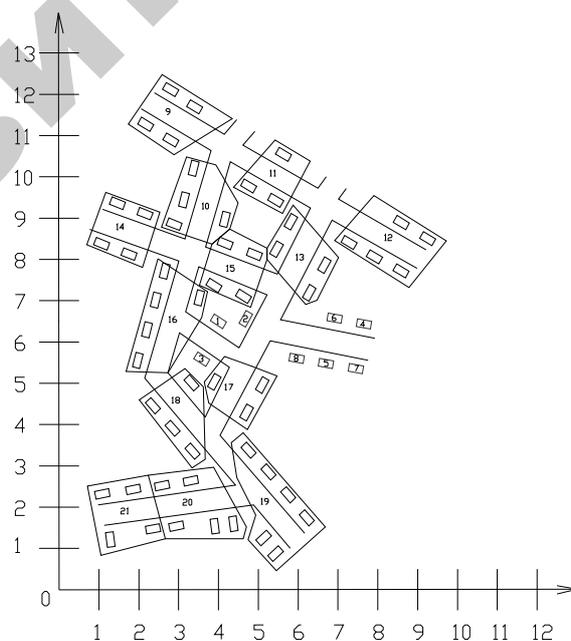


Рисунок 2 – Координаты нагрузок населенного пункта

Изм.	Колич.	Лист	№ док	Подпись	Дата

02.53.091.17-ПЗ

Лист

10

Результаты расчетов сведем в таблицу 5.

Таблица 5 – Определение центра электрических нагрузок

№ потребителя	P_{pi} , кВт	X_i , м	Y_i , м	$X_i \cdot P_{pi}$	$Y_i \cdot P_{pi}$
1	1,0	4,00	6,50	4,00	6,50
2	1,0	4,80	6,80	4,80	6,80
3	5,0	3,50	5,60	17,50	28,00
4	5,0	8,20	6,80	41,00	34,00
5	5,0	7,00	5,30	35,00	26,50
6	10,0	7,30	6,70	73,00	67,00
7	15,0	8,00	5,30	120,00	79,50
8	4,0	6,20	5,40	24,80	21,60
9	7,1	2,80	12,30	19,82	87,08
10	7,1	3,60	9,60	25,49	67,97
11	5,8	5,80	10,50	33,41	60,48
12	8,0	8,80	9,00	69,96	71,55
13	7,1	6,50	8,40	46,02	59,47
14	7,1	1,50	9,10	10,62	64,43
15	7,1	4,50	7,80	31,86	55,22
16	8,0	2,80	6,90	22,26	54,86
17	5,8	4,50	4,50	25,92	25,92
18	7,1	3,00	4,10	21,24	29,03
19	9,0	5,50	1,40	49,50	12,60
20	8,0	3,40	1,50	27,03	11,93
21	7,1	1,40	1,20	9,91	8,50
Сумма	139,93		Сумма	713,14	878,93

Координаты центра нагрузок X_p и Y_p определим по формулам

$$X_p = \frac{\sum_i^n P_{pi} \cdot X_i}{\sum_i^n P_{pi}} = \frac{713,14}{139,93} = 5,1 \text{ м}; \quad Y_p = \frac{\sum_i^n P_{pi} \cdot Y_i}{\sum_i^n P_{pi}} = \frac{878,93}{139,93} = 6,3 \text{ м.}$$

Результаты сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Определение центра нагрузок

Центр нагрузок	X_p , м	Y_p , м
расчетный	5,10	6,30
принятый	6,10	6,90

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

02.53.091.17-ПЗ

Лист

11

Площадку для строительства ТП выбираем на незаселенной местности, не затопляемой паводковыми водами, в центре электрических нагрузок или вблизи от него, по возможности близко от автодороги. Площадка должна иметь по возможности инженерно-геологические условия, допускающие строительство без устройства дорогостоящих заземлений и фундаментов под оборудование и не вызывать большого объема планировочных работ.

5 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕТИ 10 кВ

Электрический расчет сетей напряжением 10кВ производится с целью выбора сечения и марки проводов линий, а также проверки качества напряжения у потребителя. Сечение проводов воздушных линий напряжением 0,4 и 10 кВ рассчитывают по нагреву. Все линии проверяем по допустимой потере напряжения.

Для проведения электрического расчета, на основании имеющихся данных составляем расчетную схему сети 10 кВ.

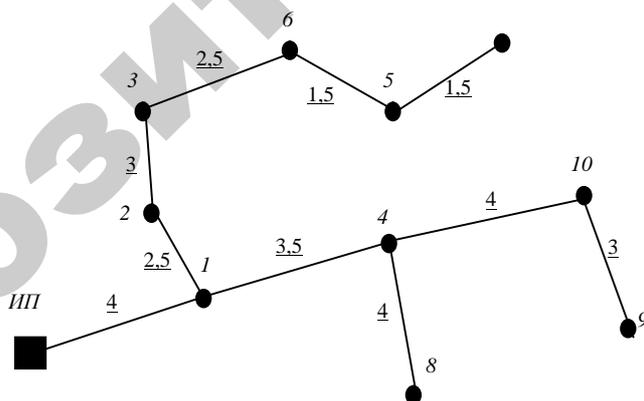


Рисунок 3 – Расчетная схема сети 10 кВ.

Нагрузка населенных пунктов в соответствии с заданием приведена в таблице 7.

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Таблица 7 – Нагрузка населенных пунктов

Номера населенных пунктов									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
210	45	110	25	80	160	40	90	200	40
230	110	80	65	150	80	90	110	250	40

Определим активные нагрузки на участках линии.

Так как вечерний максимум нагрузки больше, то расчеты будем вести по вечерним нагрузкам.

Участок

$$5-7 \quad P_{\text{уч}} = 90 \text{ кВт};$$

$$6-5 \quad P_{\text{уч}} = 150 + 67,0 = 217 \text{ кВт};$$

$$3-6 \quad P_{\text{уч}} = 150 + 67,0 + 59,5 = 277 \text{ кВт};$$

$$2-3 \quad P_{\text{уч}} = 150 + 67,0 + 59,5 + 59,5 = 336 \text{ кВт};$$

$$1-2 \quad P_{\text{уч}} = 150 + 67,0 + 59,5 + 59,5 + 82,0 = 418 \text{ кВт};$$

$$10-9 \quad P_{\text{уч}} = 250 \text{ кВт};$$

$$4-10 \quad P_{\text{уч}} = 250 + 27,2 = 277 \text{ кВт};$$

$$4-8 \quad P_{\text{уч}} = 110 \text{ кВт};$$

$$1-4 \quad P_{\text{уч}} = 250 + 27,2 + 48,0 + 82,0 = 407 \text{ кВт};$$

$$\text{ИП-1} \quad P_{\text{уч}} = 250 + 178 + 82,0 + 59,5 + 48,0 + 115 + 60 + 67 + 82 + 28,4 = 969,4 \text{ кВт}.$$

По отношению мощностей $\frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{о}}}$ из рисунка 1.5 [2] определяем коэффициент мощности $\cos \varphi$ потребителей. Результаты сводим в таблицу 8.

Таблица 8 – Коэффициент мощности $\cos \varphi$ потребителей

Номер населенного пункта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\text{п}}/P_{\text{о}}$	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,7	0,6	0,5
$\cos \varphi$	0,8	0,83	0,85	0,8	0,83	0,85	0,8	0,77	0,78	0,8

Определим полные мощности на участках линии:

$$S_{5-7} = 90,00 / 0,85 = 105,90 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{6-5} = 217,0 / 0,88 = 246,60 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
------	--------	------	--------	---------	------

$$S_{3-6} = 276,5 / 0,86 = 320,10 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{2-3} = 336,0 / 0,86 = 390,70 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{1-2} = 418,0 / 0,88 = 475,00 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{10-9} = 250,0 / 0,86 = 290,00 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{4-10} = 277,2 / 0,83 = 334,00 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{4-8} = 110,0 / 0,85 = 129,40 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{1-4} = 407,2 / 0,83 = 492,70 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{\text{ИП-1}} = 969,4 / 0,85 = 1142,7 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Определяем расчетный ток I_p на участке:

$$I_{5-7} = 90 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,85) = 6,1 \text{ А};$$

$$I_{6-5} = 217 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,88) = 14,3 \text{ А};$$

$$I_{3-6} = 276,5 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,86) = 18,5 \text{ А};$$

$$I_{2-3} = 336 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,86) = 22,6 \text{ А};$$

$$I_{1-2} = 418 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,88) = 27,5 \text{ А};$$

$$I_{10-9} = 250 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,86) = 16,8 \text{ А};$$

$$I_{4-10} = 277,2 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,83) = 19,3 \text{ А};$$

$$I_{4-8} = 110 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,85) = 7,5 \text{ А};$$

$$I_{1-4} = 407,2 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,83) = 28,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{ИП-1}} = 969,4 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,85) = 66,1 \text{ А}.$$

Выбираем сечения проводов. Результаты занесем в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты выбора проводов

Участок	Марка и сечение провода	Сопротивление проводов	
		активное, R_0 , Ом/км	реактивное X_0 , Ом/км
1	2	3	4
5-7	СИП-3 3x50	0,6	0,13
6-5	СИП-3 3x50	0,6	0,13
3-6	СИП-3 3x50	0,6	0,13
2-3	СИП-3 3x50	0,6	0,13

					02.53.091.17-ПЗ		Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	14	

Окончание таблицы 9

1	2	3	4
1-2	СИП-3 3x50	0,6	0,13
10-9	СИП-3 3x50	0,6	0,13
4-10	СИП-3 3x50	0,6	0,13
4-8	СИП-3 3x50	0,6	0,13
1-4	СИП-3 3x50	0,6	0,13
ИП-1	СИП-3 3x50	0,6	0,13

Определяем потери напряжения на участках сети:

$$\Delta U_{5-7} = (105,9 \cdot 1,5/10) \cdot (0,602 \cdot 0,85 + 0,13 \cdot 0,53) = 9,21 \text{ В};$$

$$\Delta U_{6-5} = (246,6 \cdot 1,5/10) \cdot (0,602 \cdot 0,88 + 0,13 \cdot 0,47) = 21,88 \text{ В};$$

$$\Delta U_{3-6} = (320,1 \cdot 2,5/10) \cdot (0,602 \cdot 0,86 + 0,13 \cdot 0,51) = 46,86 \text{ В};$$

$$\Delta U_{2-3} = (390,7 \cdot 3,0/10) \cdot (0,602 \cdot 0,86 + 0,13 \cdot 0,51) = 68,46 \text{ В};$$

$$\Delta U_{1-2} = (475,0 \cdot 2,5/10) \cdot (0,602 \cdot 0,88 + 0,13 \cdot 0,47) = 70,24 \text{ В};$$

$$\Delta U_{10-9} = (290,0 \cdot 3,0/10) \cdot (0,602 \cdot 0,87 + 0,13 \cdot 0,50) = 50,88 \text{ В};$$

$$\Delta U_{4-10} = (334,0 \cdot 4,0/10) \cdot (0,602 \cdot 0,83 + 0,13 \cdot 0,56) = 76,44 \text{ В};$$

$$\Delta U_{4-8} = (129,4 \cdot 4,0/10) \cdot (0,602 \cdot 0,85 + 0,13 \cdot 0,53) = 30,03 \text{ В};$$

$$\Delta U_{1-4} = (492,7 \cdot 3,5/10) \cdot (0,602 \cdot 0,83 + 0,13 \cdot 0,55) = 98,42 \text{ В};$$

$$\Delta U_{ИП-1} = (1142,7 \cdot 4,0/10) \cdot (0,602 \cdot 0,85 + 0,13 \cdot 0,52) = 264,89 \text{ В}.$$

Потери в процентах от междуфазного напряжения:

$$\Delta U\%_{5-7} = (9,21/10000) \cdot 100 = 0,09 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{6-5} = (21,88/10000) \cdot 100 = 0,22 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{3-6} = (46,86/10000) \cdot 100 = 0,47 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{2-3} = (68,46/10000) \cdot 100 = 0,68 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{1-2} = (70,24/10000) \cdot 100 = 0,70 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{10-9} = (50,88/10000) \cdot 100 = 0,51 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{4-10} = (76,44/10000) \cdot 100 = 0,76 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{4-8} = (30,03/10000) \cdot 100 = 0,30 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{1-4} = (98,42/10000) \cdot 100 = 0,98 \text{ \%};$$

$$\Delta U\%_{ИП-1} = (264,89/10000) \cdot 100 = 2,65 \text{ \%}.$$

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
------	--------	------	--------	---------	------

Результаты остальных расчетов сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчета сети 10 кВ

Номер участка	Длина $l_{уч}$, км	Суммарная расчетная мощность P_p , кВт	Коэффициент мощности $\cos\phi$	Максимальная полная мощность $S_{уч}$, кВ·А	Расчетный ток I_p , А	Допустимый ток $I_{доп}$, А	Марка и сечение проводов	Сопротивление проводов		Потеря напряжения, В	Потеря напряжения, %
								активное, R_0 Ом/км	реактивное X_0 Ом/км		
5-7	1,5	90,0	0,85	105,9	6,1	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	9,21	0,09
6-5	1,5	217,0	0,88	246,6	14,3	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	21,88	0,22
3-6	2,5	276,5	0,86	320,1	18,5	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	46,86	0,47
2-3	3,0	336,0	0,86	390,7	22,6	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	68,46	0,68
1-2	2,5	418,0	0,88	475,0	27,5	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	70,24	0,70
10-9	3,0	250,0	0,86	290,0	16,8	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	50,88	0,51
4-10	4,0	277,2	0,83	334,0	19,3	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	76,44	0,76
4-8	4,0	110,0	0,85	129,4	7,5	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	30,03	0,30
1-4	3,5	407,2	0,83	492,7	28,5	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	98,42	0,98
ИП-1	4,0	969,4	0,85	1142,7	66,1	245	СИП-3 3x50	0,602	0,13	264,89	2,65

Определим потери напряжения от источника питания до расчетного населенного пункта:

$$\Delta U\%_{ИП-8} = \Delta U\%_{4-8} + \Delta U\%_{1-4} + \Delta U\%_{ИП-1} = 0,3 + 0,98 + 2,65 = 3,93 \%$$

Так как расчетные потери напряжения меньше допустимых, то расчет окончен.

Расчет сети 0,4 кВ ведем аналогично сети 10 кВ.

												Лист
												16
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата							

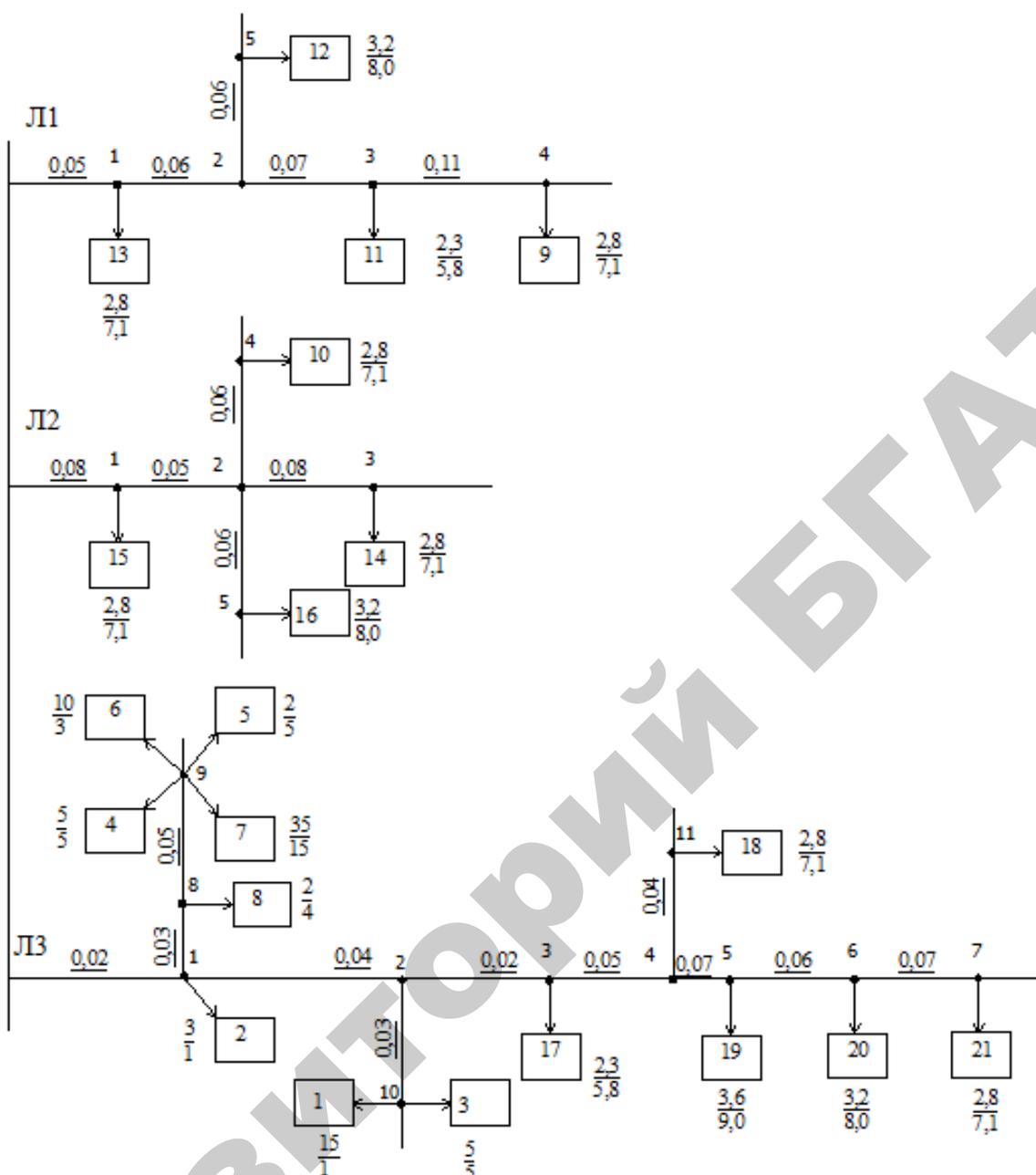


Рисунок 4 – Расчетная схема сети 0,4 кВ

Рассчитаем линию Л1.

$$P_{3-4} = 7,1 \text{ кВт};$$

$$P_{2-3} = 0,75 (7,1 + 5,8) = 9,6 \text{ кВт};$$

$$P_{2-5} = 8 \text{ кВт};$$

$$P_{1-2} = 0,75 (9,6 + 8) = 13,3 \text{ кВт};$$

$$P_{0-1} = 0,75 (13,3 + 7,1) = 15,3 \text{ кВт}.$$

Так как коэффициент мощности всех групп жилых домов $\cos\varphi = 0,93$, то и средневзвешенный коэффициент мощности участков $\cos\varphi_{\text{ср.взв}} = 0,93$.

Линия 1

$$S_{3-4} = 7,10 / 0,93 = 7,63 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{2-3} = 9,60 / 0,93 = 10,32 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{2-5} = 8,00 / 0,93 = 8,60 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{1-2} = 13,3 / 0,93 = 14,30 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{0-1} = 15,3 / 0,93 = 16,45 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Линия 2

$$S_{2-3} = 7,10 / 0,93 = 7,63 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{2-4} = 7,10 / 0,93 = 7,63 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{2-5} = 8,00 / 0,93 = 8,60 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{1-2} = 14,2 / 0,93 = 15,27 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{0-1} = 15,9 / 0,93 = 17,10 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Линия 3

$$S_{6-7} = 7,10 / 0,93 = 7,63 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{5-6} = 11,3 / 0,93 = 12,15 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{4-5} = 15,2 / 0,93 = 16,34 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{4-11} = 7,10 / 0,93 = 7,63 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{3-4} = 16,7 / 0,93 = 17,96 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{2-3} = 16,9 / 0,93 = 18,17 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{2-10} = 1,50 / 0,90 = 1,61 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{1-2} = 17,2 / 0,92 = 18,49 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{8-9} = 12,9 / 0,93 = 13,87 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{1-8} = 15,7 / 0,93 = 16,88 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{0-1} = 21,7 / 0,93 = 23,33 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Изм.	Колич.	Лист	№ док	Подпись	Дата

Токи:

Линия 1

$$I_{p^{3-4}} = 7,1 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 11,61 \text{ A};$$

$$I_{p^{2-3}} = 9,6 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 15,70 \text{ A};$$

$$I_{p^{2-5}} = 8,0 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 13,09 \text{ A};$$

$$I_{p^{1-2}} = 13,3 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 21,75 \text{ A};$$

$$I_{p^{0-1}} = 15,3 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 25,03 \text{ A}.$$

Линия 2

$$I_{p^{2-3}} = 7,1 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 11,61 \text{ A};$$

$$I_{p^{2-4}} = 7,1 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 11,61 \text{ A};$$

$$I_{p^{2-5}} = 8,0 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 13,09 \text{ A};$$

$$I_{p^{1-2}} = 14,2 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 23,23 \text{ A};$$

$$I_{p^{0-1}} = 15,9 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 26,01 \text{ A}.$$

Линия 3

$$I_{p^{6-7}} = 7,1 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 11,61 \text{ A};$$

$$I_{p^{5-6}} = 11,3 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 18,48 \text{ A};$$

$$I_{p^{4-5}} = 15,2 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 24,86 \text{ A};$$

$$I_{p^{4-11}} = 7,1 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 11,61 \text{ A};$$

$$I_{p^{3-4}} = 16,7 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 27,32 \text{ A};$$

$$I_{p^{2-3}} = 16,9 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 27,64 \text{ A};$$

$$I_{p^{2-10}} = 1,5 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 2,45 \text{ A};$$

$$I_{p^{1-2}} = 17,2 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 28,13 \text{ A};$$

$$I_{p^{8-9}} = 12,9 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 21,10 \text{ A};$$

$$I_{p^{1-8}} = 15,7 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 25,68 \text{ A};$$

$$I_{p^{0-1}} = 21,7 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,93) = 35,49 \text{ A}.$$

Изм.	Колич	Лист	№ док	Подпись	Дата

Таблица 11 – Результаты расчета сети 0,4кВ

Номер участка	Длина $l_{уч}$, км	Суммарная расчетная мощность P_p , кВт	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Максимальная полная мощность $S_{уч}$, кВ·А	Расчетный ток I_p , А	Допустимый ток $I_{доп}$, А	Марка и сечение проводов СИП 4и	Сопротивление проводов		Потеря напряжения, В	Потеря напряжения, %	Потеря напряжения от ТП, %
								активное R_0 , Ом/км	реактивное X_0 , Ом/км			
Линия 1												
3-4	0,11	7,1	0,93	7,63	11,6	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,8	0,48	ТП-4
2-3	0,07	9,6	0,93	10,32	15,7	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,6	0,41	1,86
2-5	0,06	8	0,93	8,60	13,1	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,1	0,30	ТП-5
1-2	0,06	13,3	0,93	14,30	21,8	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,9	0,49	1,26
0-1	0,05	15,3	0,93	16,45	25,0	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,8	0,47	
Линия 2												
2-3	0,08	7,1	0,93	7,63	11,6	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,3	0,35	ТП-3
2-4	0,06	7,1	0,93	7,63	11,6	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,0	0,26	1,57
2-5	0,06	8,0	0,93	8,60	13,1	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,1	0,30	ТП-4
1-2	0,05	14,2	0,93	15,27	23,2	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,7	0,44	1,49
0-1	0,08	15,9	0,93	17,10	26,0	160	4x35+2x25	0,87	0,06	3,0	0,79	ТП-5
												1,52
Линия 3												
6-7	0,07	7,1	0,93	7,63	11,6	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,2	0,31	ТП-7
5-6	0,06	11,3	0,93	12,15	18,5	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,6	0,42	2,80
4-5	0,07	15,2	0,93	16,34	24,9	160	4x35+2x25	0,87	0,06	2,5	0,66	ТП-11
4-11	0,04	7,1	0,93	7,63	11,6	160	4x35+2x25	0,87	0,06	0,7	0,18	1,59
3-4	0,05	16,7	0,93	17,96	27,3	160	4x35+2x25	0,87	0,06	2,0	0,52	ТП-10
2-3	0,02	16,9	0,93	18,17	27,6	160	4x35+2x25	0,87	0,06	0,8	0,21	0,72
2-10	0,03	1,5	0,93	1,61	2,5	160	4x35+2x25	0,87	0,06	0,1	0,03	ТП-9
1-2	0,04	17,2	0,93	18,49	28,1	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,6	0,42	0,96
8-9	0,05	12,9	0,93	13,87	21,1	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,5	0,40	
1-8	0,03	15,7	0,93	16,88	25,7	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,1	0,29	
0-1	0,02	21,7	0,93	23,33	35,5	160	4x35+2x25	0,87	0,06	1,0	0,27	

Так как расчетные потери напряжения меньше допустимых, взятых из таблицы 2, то расчет окончен.

$$\Delta W_{8,9} = (13,87 / 0,4)^2 \cdot 0,87 \cdot 0,05 \cdot 757 = 43,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{1,8} = (16,88 / 0,4)^2 \cdot 0,87 \cdot 0,03 \cdot 757 = 39,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{0,1} = (23,33 / 0,4)^2 \cdot 0,87 \cdot 0,02 \cdot 757 = 49,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Результаты расчетов сведем в таблицы 12 и 13.

Таблица 12 – Потери энергии в сети 0,4 кВ

Участок	l, км	r ₀ , Ом/км	S _i , кВ·А	T, ч	τ, ч	ΔW, кВт·ч
Линия 1						
3–4	0,11	0,87	7,6	1300	565	21,8
2–3	0,07	0,87	10,3	1700	757	34,0
2–5	0,06	0,87	8,6	1300	565	15,1
1–2	0,06	0,87	14,3	1700	757	56,0
0–1	0,05	0,87	16,5	1700	757	61,7
Линия 2						
2–3	0,08	0,87	7,6	1300	565	15,9
2–4	0,06	0,87	7,6	1300	565	11,9
2–5	0,06	0,87	8,6	1300	565	15,1
1–2	0,05	0,87	15,3	1700	757	53,2
0–1	0,08	0,87	17,1	1700	757	106,7
Линия 3						
6–7	0,07	0,87	7,6	1300	565	13,9
5–6	0,06	0,87	12,2	1700	757	40,4
4–5	0,07	0,87	16,3	1700	757	85,3
4–11	0,04	0,87	7,6	1300	565	7,9
3–4	0,05	0,87	18,0	1700	757	73,6
2–3	0,02	0,87	18,2	1700	757	30,1
2–10	0,03	0,87	1,6	1300	565	0,3
1–2	0,04	0,87	18,5	1700	757	62,4
8–9	0,05	0,87	13,9	1700	757	43,9
1–8	0,03	0,87	16,9	1700	757	39,0
0–1	0,02	0,87	23,3	1700	757	49,7
						837,9

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
------	--------	------	--------	---------	------

02.53.091.17-ПЗ

Лист

24

Потери энергии в ВЛ 10 кВ:

$$\Delta W_{5-7} = (105,90 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 1,5 \cdot 1430 = 144,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{6-5} = (246,60 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 1,5 \cdot 1727 = 948,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{3-6} = (320,10 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 2,5 \cdot 1727 = 2663,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{2-3} = (390,70 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 3,0 \cdot 1727 = 4760,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{1-2} = (475,00 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 2,5 \cdot 1727 = 5864,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{10-9} = (290,00 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 3,0 \cdot 1727 = 2622,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{4-10} = (334,00 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 4,0 \cdot 1727 = 4638,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{4-8} = (129,40 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 4,0 \cdot 1430 = 576,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{1-4} = (492,70 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 3,5 \cdot 1727 = 8832,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ИП-1}} = (1142,70 / 10)^2 \cdot 0,602 \cdot 4,0 \cdot 1886 = 59300,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Таблица 13 – Потери энергии в сети 10 кВ

участок	l, км	r ₀ , Ом/км	S _i , кВ·А	T, ч	τ, ч	ΔW, кВт·ч
5-7	1,5	0,602	105,90	2800	1430	144,8
6-5	1,5	0,602	246,60	3200	1727	948,3
3-6	2,5	0,602	320,10	3200	1727	2663,0
2-3	3,0	0,602	390,70	3200	1727	4760,7
1-2	2,5	0,602	475,00	3200	1727	5864,0
10-9	3,0	0,602	290,00	3200	1727	2622,9
4-10	4,0	0,602	334,00	3200	1727	4638,9
4-8	4,0	0,602	129,40	2800	1430	576,5
1-4	3,5	0,602	492,70	3200	1727	8832,8
ИП-1	4,0	0,602	1142,70	3400	1886	59300,9
Сумма						90352,9

Потери энергии в трансформаторе рассчитаем по формуле

$$\Delta W_{\text{тр}} = 1,97 \cdot \left(\frac{74,4}{100} \right)^2 \cdot 2800 + 0,33 \cdot 8760 = 8788,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

Найдем суммарные потери в ВЛ 10 кВ, ВЛ 0,4 кВ и в трансформаторе:

$$\Delta W = \Delta W_{10} + \Delta W_{0,4} + \Delta W_{\text{тр}} = 90352,9 + 837,9 + 8788,3 = 99979,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

						02.53.091.17-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		25

7 КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЛИНИЙ И ТП

Электрические сети напряжением 0,4 кВ должны быть трехфазного переменного тока с глухо заземленной нейтралью.

При новом строительстве (реконструкции) ВЛ 0,4 кВ следует применять ВЛИ (воздушные линии изолированные) с СИП (самонесущим изолированным проводом) без отдельного несущего элемента в соответствии с требованиями ТКП 339.

Проектируемые ВЛИ-0,4 кВ приняты на базе железобетонных стоек СВ 95-2-в и СВ 110-1-а с проводами с изоляцией из сшитого полиэтилена и расстоянием между опорами не более 50 м.

Длина пролета воздушного ответвления к вводу должна быть не более 25 м. Если расстояние магистрали или линейного ответвления ВЛИ до здания превышает 25 м, должны устанавливаться дополнительные опоры.

Расчетные пролеты ВЛИ определялись в соответствии с климатическими условиями для населенного пункта Жуки – 2-й район по ветру, 2-й район по гололеду.

Количество, марка и сечения проводов на проектируемых ВЛИ-0,4 кВ выбраны по допустимым токовым нагрузкам, проверены по потере напряжения в конце линий, а также на обеспечение автоматического отключения при коротких замыканиях.

Для обеспечения нормируемой освещенности улицы, проектом предусмотрена установка на проектируемых опорах ВЛИ-0,4 кВ светильников наружного освещения типа ЖКУ-51 с натриевыми лампами мощностью 70 Вт.

Трассы проектируемых ВЛИ-0,4 кВ выполнены на основе топосъемки. Расстановка опор на трассах ВЛИ-0,4 кВ приведена на чертежах графической части проекта.

Трассы ВЛ прокладываются по двум сторонам улиц. Допускается прохождение по одной стороне при условии исключения помех движению транспорта и пешеходов, а также удобства выполнения ответвлений от ВЛ к вводам в здания и сокращения числа пересечений с инженерными сооружениями.

						02.53.091.17-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		26

8 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

1. Составляем расчетную схему

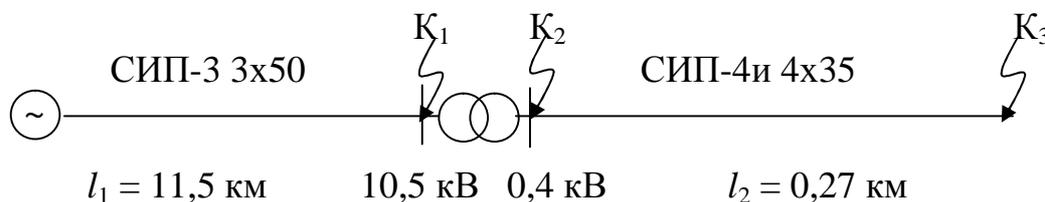


Рисунок 5 – Расчетная схема

$$S_T = 100 \text{ кВ} \cdot \text{А}; \Delta U_{K\%} = 4,5 \%; \Delta P_K = 1,97 \text{ кВт}; S_K = 500 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Расчет ведем в относительных единицах.

2. Задаемся базисными значениями

$$S_B = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{БВ} = 1,05 U_H = 10,5 \text{ кВ}; U_{БН} = 0,4 \text{ кВ}.$$

3. Составляем схему замещения (рисунок 6).

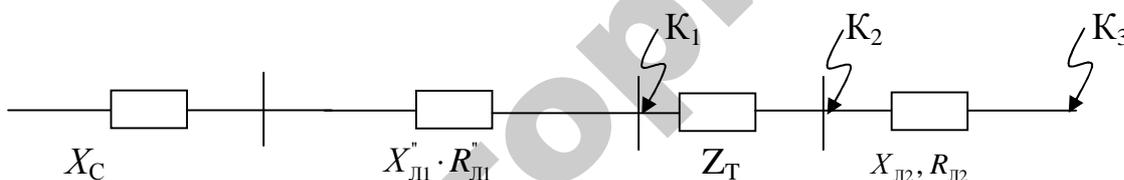


Рисунок 6 – Схема замещения

4. Определяем относительные базисные сопротивления

$$\text{Система: } X_{*C} = \frac{S_B}{S_{к.з.}} = \frac{100}{500} = 0,2 \text{ о.е.}$$

Определяем сопротивление ВЛ-10кВ.

$$X_{*1} = x_0 l \frac{S_B}{U_B^2} = (0,602 \cdot 11,5) \cdot \frac{100}{10,5^2} = 2,83 \text{ о.е.};$$

$$R_{*1} = r_0 l \frac{S_B}{U_B^2} = (0,13 \cdot 11,5) \cdot \frac{100}{10,5^2} = 5,64 \text{ о.е.}$$

Трансформатор:

$$Z_{*T} = X_{*T} = \frac{\Delta U_H S_B}{100 S_H} = \frac{4,5 \cdot 100}{100 \cdot 0,1} = 45 \text{ о.е.}$$

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

$$Z_{*p2} = \sqrt{R_{*p2}^2 + X_{*p2}^2} = \sqrt{5,64^2 + 47,9^2} = 48,3 \text{ о.е.}$$

Определяем базисный ток в точке K_2 .

$$I_{B2} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,51 \text{ кА.}$$

8. Определяем токи и мощность короткого замыкания в точке K_2 .

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{I_{B2}}{Z_{*p2}} = \frac{144,51}{48,3} = 3 \text{ кА,}$$

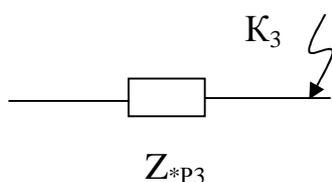
$$I_{K2}^{(2)} = 0,87 I_{K2}^{(3)} = 0,87 \cdot 3 = 2,6 \text{ кА,}$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} K_y I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3 = 4,2 \text{ кА.}$$

$K_y = 1$ для ВЛ – 10 кВ.

$$S_{K2}^{(3)} = \sqrt{3} U_B I_{K2}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 3 = 2,1 \text{ МВ} \cdot \text{А.}$$

9. Определяем результирующее сопротивление до точки K_3 (рисунок 9).



$$X_{*p3} = X_{*p2} + X_{*2} = 47,9 + 53,8 = 101,7 \text{ о.е.}$$

$$R_{*p3} = R_{*p2} + R_{*2} = 5,64 + 192,4 = 198 \text{ о.е.}$$

Рисунок 9 – Схема замещения по отношению к точке K_3

$$Z_{*p3} = \sqrt{R_{*p3}^2 + X_{*p3}^2} = \sqrt{198^2 + 101,7^2} = 222,6 \text{ о.е.}$$

10. Определяем базисный ток в точке K_3

$$I_{B3} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,51 \text{ кА.}$$

11. Определяем токи и мощность к.з. в точке K_3 .

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{B3}}{Z_{*p3}} = \frac{144,51}{222,6} = 0,65 \text{ кА,}$$

$$I_{K3}^{(2)} = 0,87 I_{K3}^{(3)} = 0,87 \cdot 0,65 = 0,56 \text{ кА,}$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} K_y I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,65 = 0,9 \text{ кА.}$$

10 ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ

1. Выбор разъединителя.

Таблица 15 – Выбор разъединителя РЛНДЗ-10/400

Параметр	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условие выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{н.а} = 10$ кВ	$U_{н.уст} = 10$ кВ	$10 = 10$
Номинальный ток	$I_{н.а} = 400$ А	$I_{р.макс} = 8,1$ А	$400 > 8,1$
Динамическая устойчивость	$i_{max} = 41$ кА	$i_{ук1} = 1,2$ кА	$41 > 1,2$
Термическая устойчивость	$I_{н.т}^2 \cdot t_{н.т} =$ $= 16^2 \cdot 4 = 1024$ кА ² · с	$I_{\infty}^2 t_{\phi} =$ $= 0,86^2 \cdot 1,4 = 1,04$ кА ² · с	$1024 > 1,04$

Рабочий максимальный ток:

$$I_{р.макс} = \frac{1,4S_{н.т}}{\sqrt{3}U_{н}} = \frac{1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 8,1 \text{ А},$$

где $U_{н.а}$ – номинальное напряжение аппарата, кВ;

$U_{н.уст}$ – номинальное напряжение установки, кВ;

$I_{н}$ – номинальный ток разъединителя, А;

$I_{р.макс}$ – максимальный рабочий ток, А;

$S_{н.т}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$U_{н}$ – номинальное напряжение трансформатора, кВ;

$I_{max}^{(3)}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока к.з., кА;

$I_{н.т}$ – ток термической стойкости, кА;

t – предельное время протекания тока, с;

$I_{\infty} = I_K^{(3)}$ – действующее значение установившегося тока к.з., кА;

$t_{\phi} = t_{защ} + t_{в}$ – фиктивное время протекания тока к.з., с;

$t_{защ}$ – выдержка времени защиты на питающей стороне линии 10 кВ

(принимаем для МТЗ);

$t_{в}$ – собственное время отключения выключателя (принимаем $t_{в} = 0,2$ с).

						02.53.091.17-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		36

$$t_{\phi} = 1,2 + 0,2 = 1,4 \text{ с.}$$

Принимаем разъединитель марки РЛНДЗ-10/400.

2. Выбор предохранителя.

Таблица 16 – Выбор высоковольтных предохранителей ПК-10

Параметр	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условие выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{н.а} = 10 \text{ кВ}$	$U_{н.уст} = 10 \text{ кВ}$	$10 = 10$
Номинальный ток	$I_{н.а} = 30 \text{ А}$	$I_{р.макс} = 8,1 \text{ А}$	$30 > 8,1$
Номинальная мощность отключения	$S_{н.откл} = 300 \text{ МВ} \cdot \text{А}$	$S_{к1}^{(3)} = 15,6 \text{ МВ} \cdot \text{А}$	$300 > 15,6$
Номинальный ток плавкой вставки	$I_{н.вст} = 15 \text{ А}$	$I_{р.макс} = 8,1$	$15 > 8,1$

Принимаем предохранитель марки ПК-10Н/30.

3. Выбор рубильника.

Выбираем рубильник из следующих условий:

– по напряжению $U_{н.а} \geq U_{уст}$,

$$U_{н.а} = 500 \text{ В} \geq 400 \text{ В.}$$

– по току $I_{н} \geq I_{р.уст}$,

где $I_{р.уст}$ – рабочий ток установки, А.

$$I_{р.уст} = \frac{1,4S_{н.т}}{\sqrt{3}U_{н}} = \frac{1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 212,7 \text{ А.}$$

Принимаем рубильник марки РБ-35.

Таблица 17 – Выбор рубильника

Расчетные значения	РБ-35
$U_{н} = 400 \text{ В,}$ $I_{р} = \frac{1,4S_{н.т}}{\sqrt{3}U_{н}} = \frac{1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 212,7 \text{ А,}$ $i_{ук2} = 4,2 \text{ кА,}$ $(I_{к2}^{(3)})^2 t = 18,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$U_{н} = 500 \text{ В,}$ $I_{н} = 400 \text{ А,}$ $I_{д} = 30 \text{ кА,}$ $I_{\infty}^2 t = 144 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$

$$r_{\text{пз}} = \frac{R_{\text{в}}}{n} = \frac{42,97}{16} = 4,78 \text{ Ом.}$$

Сопротивление искусственного заземлителя:

$$r_{\text{иск}} = r_{\text{з}} r_{\text{пз}} / (r_{\text{пз}} - r) = 4 \cdot 4,78 / (4,78 - 4) = 24,65 \text{ Ом.}$$

Определяем число стержней:

$$n_{\text{т}} = \frac{R_{\text{в}}}{r_{\text{иск}}} = \frac{42,97}{24,65} = 1,7.$$

Принимаем 2 стержня и располагаем их через 5 м друг от друга.

Сопротивление полосы связи:

$$R_{\text{с}} = \frac{0,366 r_{\text{рас}}}{l} \cdot \lg \frac{2l^2}{aH} = \frac{0,366 \cdot 189,75}{10} \cdot \lg \frac{2 \cdot 10^2}{0,04 \cdot 0,82} = 26,28 \text{ Ом.}$$

Определяем действительное число стержней:

$$n_{\text{д}} = \frac{R_{\text{в}} \eta_{\Gamma} \left(\frac{1}{r_{\text{иск}} \eta_{\Gamma}} - \frac{1}{R_{\text{с}}} \right)}{\eta_{\text{в}}} = \frac{42,97 \cdot 0,45 \cdot \left(\frac{1}{24,65 \cdot 0,45} - \frac{1}{26,28} \right)}{0,69} = 1,46.$$

Принимаем 2 стержня.

Действительное сопротивление искусственного заземления:

$$r_{\text{иск}} = \frac{R_{\text{в}} R_{\text{с}}}{R_{\text{с}} \eta_{\text{в}} + R_{\text{в}} \eta_{\Gamma}} = \frac{42,97 \cdot 26,28}{26,28 \cdot 2 \cdot 0,69 + 42,97 \cdot 0,45} = 20,31 \text{ Ом.}$$

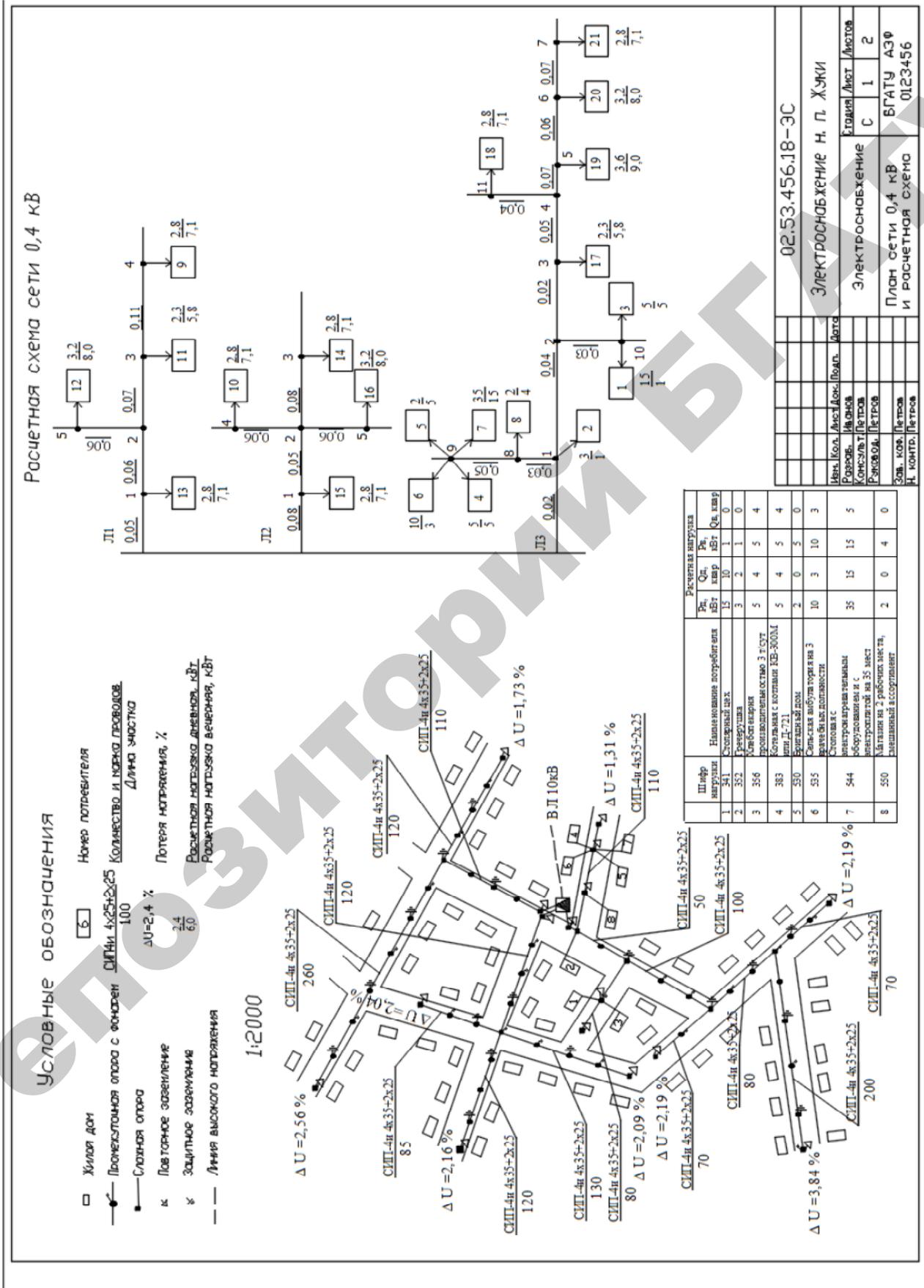
Сопротивление заземляющих устройств с учетом повторных заземлений нулевого провода:

$$r_{\text{рас}} = \frac{r_{\text{иск}} r_{\text{пз}}}{r_{\text{иск}} + r_{\text{пз}}} = \frac{20,31 \cdot 4,78}{20,31 + 4,78} = 3,86 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом.}$$

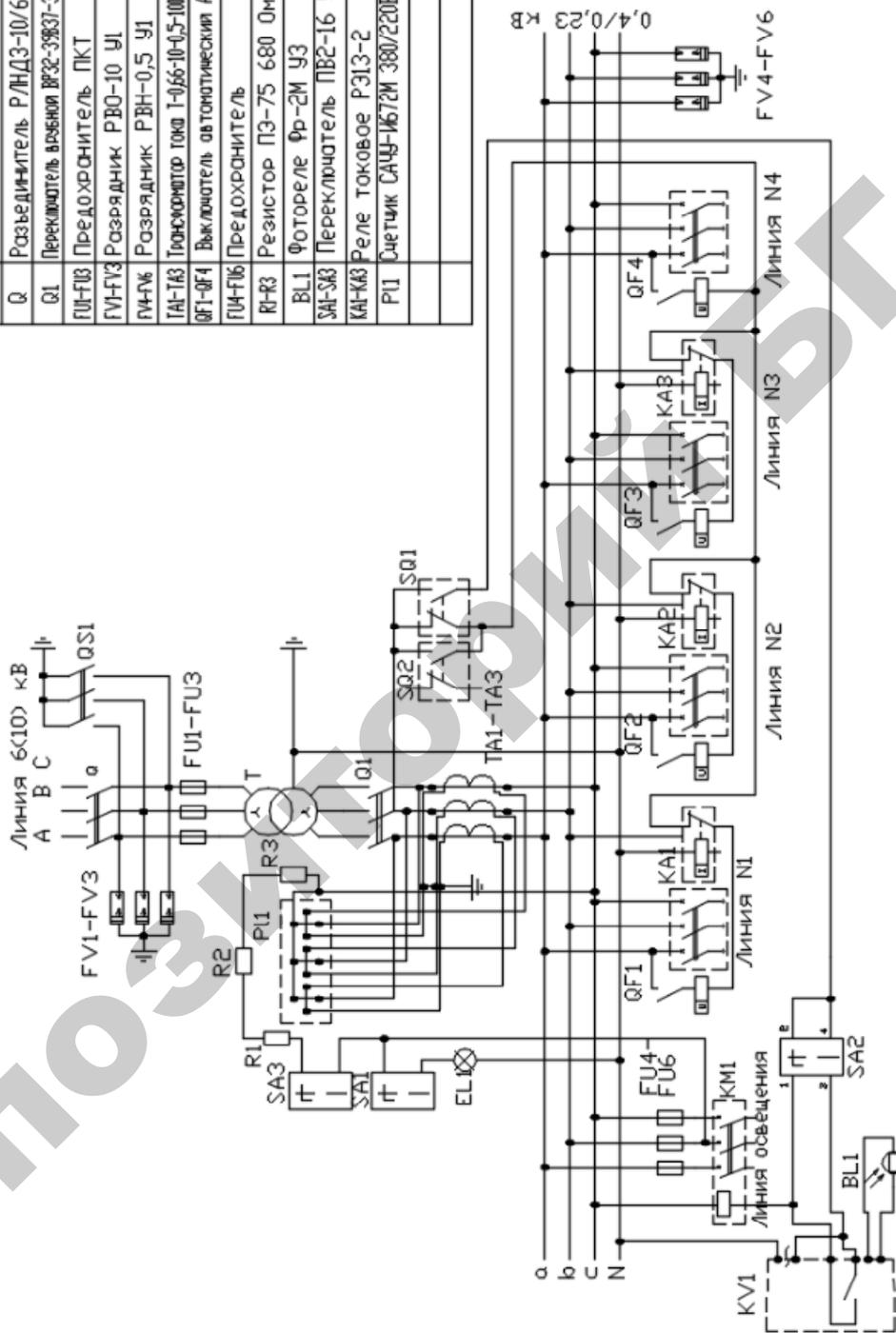
Заземление выполнено правильно.

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Графическая часть



Поз. Обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
T	Трансформатор силовой ТМ-100/10-У1	1	
Q	Разъединитель Р/ЛДЗ-10/630У3	1	
Q1	Переключатель вышки ВЭСЗ-3ФЭ37-35У/Л3	1	
FU1-FU3	Предохранитель ПКТ	3	
FU4-FU6	Разрядник РВО-10 У1	3	
FU7-FU9	Разрядник РВН-0,5 У1	3	
TA1-TA3	Трансформатор тока Т-066-10-0,5-10У3 У3	3	
QF1-QF4	Выключатель автоматический АЕ37	4	
FU1-FU6	Предохранитель	3	
R1-R3	Резистор ПЗ-75 680 Ом	3	
BL1	Фотореле Фр-2М У3	1	
SA1-SA3	Переключатель ПВ2-16 У3Б	3	
KA1-KA3	Реле токовое РЭ13-2	3	
P1	Счетчик САЧУ-И67М 380/220В 5А	1	



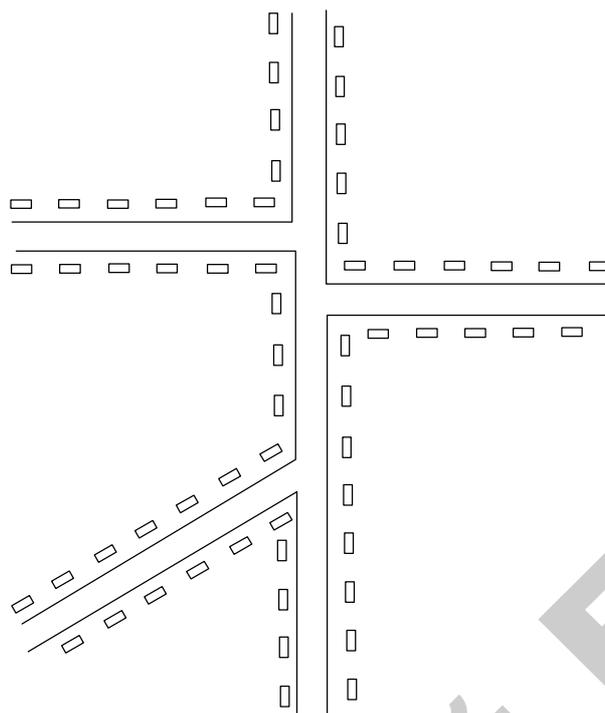
- Примечание: 1. Линия N 3 только для КТП мощностью 63-250 кВА, линия N 4 только для КТП мощностью 250 кВА.
 2. Нулевой провод N 1 только для КТП мощностью 25 и 40 кВА.
 3. Путьевая выключатель SQ2 только для КТП мощностью 250 кВА напряжением 6 кВ.

02.53.456.18-3С

Электроснабжение и. п. ЖУИ

Изм.	Кол.	Исполн.	Подп.	Дата	Страна	Лист	Листов
						С	2
						БГАТУ	А3Ф
						0123456	

Электроснабжение
 Электроснабжение
 Схема трансформаторной
 подстанции



№ _____ — _____
М 1:4000

Примечание.

Коммунально-бытовые нагрузки на плане располагаются по усмотрению студента.

Список использованных источников

1. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельского хозяйства. Учебное пособие для студентов спец. 1–74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович. – Минск : ИВЦ «Минфина», 2014.– 638 с.
2. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие для студентов спец. 1–74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович. – Минск : ИВЦ «Минфина», 2013. – 447 с.
3. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельскохозяйственного производства: учебное пособие для студентов спец. 1-74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович. – Минск : ИВЦ «Минфина», 2012.– 364 с.

Руководитель _____
(Подпись, дата) (инициалы, фамилия, уч. степень, звание)

Студент
Принял задание к исполнению _____
(Подпись, дата) (инициалы, фамилия, уч. степень, звание)

Курсовая работа выполняется по методике, изложенной для курсового проекта, но в меньшем объеме в соответствии с заданием (Приложение Б).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельского хозяйства : учебное пособие для студентов спец. 1–74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович. – Минск : ИВЦ «Минфина», 2014. – 638 с.
2. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие для студентов спец. 1–74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович. – Минск : ИВЦ «Минфина», 2013. – 447 с.
3. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельского хозяйства : практикум для студентов специальности 1–74 06 05 01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика) / Г. И. Янукович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2011. – 547 с .
4. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства : методическое пособие / Г. И. Янукович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2010. – 500 с.
5. Радкевич, В. Н. Проектирование систем электроснабжения : учебное пособие / В. Н. Радкевич. – Минск : НПООО «Пион», 2001 – 292 с.
6. Нормы проектирования электрических сетей внешнего электроснабжения напряжением 0,4–10 кВ сельскохозяйственного назначения : ТКП 385–2012. – Введ. 10.07.2012. – Минск : Минэнерго, 2012. – 88 с.
7. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок : ТКП 427–2012. – Введ. 01.03.2013. – Минск : Минэнерго, 2013. – 148 с.
8. Правила электроснабжения : утв. Советом Министров Республики Беларусь 17.10.2011. – Минск : Экономэнерго, 2015. – 116 с.
9. Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций : ТКП 336–2011. – Введ. 01.11.2011. – Минск : Минэнерго, 2011. – 194 с.
10. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых

и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний : ТКП 339–2011. – Введ. 01.12.2011. – Минск : Минэнерго, 2014. – 604 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей : ТКП 181–2009. – Введ. 01.09.2009. – Минск : Дизайн ПРО, 2011. – 326 с.

12. Правила устройства электроустановок: действие в энергетике Республики Беларусь подтверждено письмом Белэнерго № 31/54 от 02.06.99 г. / Белэнерго. – 6-е изд., перераб. и доп. – Вильнюс: ЗАО «Ксения», 2007. – 640 с.

Репозиторий БГАТУ

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	5
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	13
1 Введение	14
2 Исходные данные.....	14
3 Определение допустимых потерь напряжения в электрических сетях	14
4 Расчет электрических нагрузок.....	16
4.1 Определение расчетной нагрузки на вводе в сельский жилой дом	16
4.2 Определение расчетных нагрузок производственных, коммунальных и прочих потребителей	17
4.3 Определение расчетных нагрузок предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции.....	17
4.4 Определение расчетных нагрузок наружного освещения.....	19
4.5 Нагрузки комплексов по промышленному производству сельскохозяйственной продукции	20
4.6 Расчет электрических нагрузок в сетях напряжением 400/230 В.....	20
4.7 Расчет электрических нагрузок в сетях напряжением 10 кВ.....	27
5 Электрический расчет сетей 0,4 и 10 кВ	30
6 Определение потерь энергии в электрических сетях.....	33
6.1 Потери энергии в линии.....	33
6.2 Потери энергии в трансформаторах	35
7 Конструктивное выполнение линий и ТП.....	35
8 Расчет токов короткого замыкания.....	35
9 Выбор электрических аппаратов подстанции.....	37
10 Защита отходящих линий 0,4 кВ.....	38
11 Защита от перенапряжений.....	42
12 Заземление	42
Заключение	46
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОБРАЗЕЦ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ОБРАЗЕЦ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	92

ДЛЯ ЗАМЕТОК

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

Учебное издание

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Учебно-методическое пособие

Составители:

Янукович Генрих Иосифович,
Зеленькевич Александр Иосифович,
Кожарнович Галина Ивановна

Ответственный за выпуск *В. М. Збродыга*
Корректор *Д. О. Бабакова*
Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 29.11.2018. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 4,36. Тираж 80 экз. Заказ 34.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.