

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Институт механики и энергетики

Кафедра электрооборудования и энергообеспечения АПК

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**по выполнению и защите курсовой работы по дисциплине**

**«САПР СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»**

**для студентов очной и заочной форм обучения направления**

**подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

**(программа «Электроснабжение»)**

Ставрополь 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи работы .....	3
2. Рекомендуемые темы курсовых работ .....	5
3. Требования к структуре работы .....	5
4. Требования к оформлению работы.....	6
5. Список рекомендованных основных и дополнительных источников литературы.....	9
6. Требования к защите работы .....	12
7. Критерии оценки работы.....	13
Приложения.....	16
Основная часть курсовой работы.....	19

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы является систематизация, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по дисциплине «САПР систем электроснабжения», а также применение этих знаний для автоматизации расчетов по программе «Электроснабжение». В процессе выполнения курсовой работы студент должен продемонстрировать умение самостоятельно анализировать научную литературу, проводить исследования, делать выводы и оформлять результаты своей работы в соответствии с установленными требованиями.

Курсовая работа позволяет оценить уровень усвоения студентом учебного материала, его способность к самостоятельной работе, умение логически мыслить и аргументировать свою точку зрения. Она является важным этапом в подготовке будущего специалиста, поскольку формирует навыки, необходимые для успешной профессиональной деятельности.

Цели выполнения курсовой работы.

Основная цель создания САПР - повышение эффективности труда технических специалистов, включая:

- сокращение трудоемкости проектирования и планирования;
- сокращение сроков проектирования;
- сокращение себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращение затрат на натурное моделирование и испытания.

Конкретные задачи, решаемые обучающимися при написании курсовой работы, состоят в следующем:

- выбор конфигурации электрической сети и ее конструктивного исполнения (воздушная, кабельная и т.д.);
- выбор количества линий и числа трансформаторов подстанций;
- выбор номинального напряжения линий;

- выбор материала и площади сечений проводов линий;
- выбор схем подстанций;
- обоснование технических средств обеспечения требуемой надежности электроснабжения потребителей;
- выбор технических средств обеспечения требуемого качества напряжения;
- обоснование средств повышения экономичности функционирования электрической сети;
- выбор средств повышения пропускной способности сети.

В процессе написания курсовой работы студент учится самостоятельно планировать свою деятельность, определять цели и задачи исследования, выбирать методы и инструменты для их достижения. Он приобретает навыки работы с научной литературой, умение отбирать, анализировать и систематизировать информацию, а также оформлять результаты своей работы в соответствии с установленными требованиями.

Курсовая работа позволяет студенту продемонстрировать свои знания и навыки, полученные в ходе изучения учебной дисциплины, а также применить их для решения конкретных практических задач. Успешное выполнение курсовой работы свидетельствует о готовности студента к проведению самостоятельных исследований и решению профессиональных задач в будущем.

В конечном итоге, курсовая работа является не только формой контроля знаний студента, но и важным инструментом его профессионального развития. Она позволяет ему приобрести необходимые навыки и опыт для успешной работы в выбранной сфере деятельности, а также способствует формированию его как компетентного и ответственного специалиста.

## **2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ**

1. Электроснабжение свинарника с электрообогревом молодняка на 3000 голов.
2. Электроснабжение МТФ по производству молока на 5000 голов.
3. Электроснабжение птицефабрики на 200 000 кур несушек.
4. Электроснабжение птицефабрики на 500 000 гусят.
5. Электроснабжение овцеводческой фермы на 2400 голов.
6. Электроснабжение фермы по разведению кроликов на 1200 голов.
7. Электроснабжение телятника с родильным отделением на 120 телят.
8. Электроснабжение кормоцеха фермы КРС на 1000 голов.
9. Электроснабжение свинарника маточника на 1000 голов.
10. Электроснабжение овчарни на 800 голов.

Полный набор тем представлен в таблице приложения Б (стр. 120).

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ РАБОТЫ**

Структура курсовой работы (проекта) должна включать следующие элементы:

- титульный лист (Приложение 1);
- содержание (оглавление);
- введение;
- основную часть;
- заключение с указанием основных результатов работы;
- список использованных источников литературы;
- приложения (при необходимости).

Важным этапом подготовки курсовой работы (проекта) является разработка плана курсовой работы (проекта). Основной задачей плана является структурирование работы, формулировка заголовков глав и разделов курсовой работы. Названия глав формулируются на основании вопросов, подлежащих разработке. Подобный подход обеспечивает выполнение требования к курсовой

работе о соответствии ее содержания теме. Аналогичный подход применим к формулировке разделов глав, которые должны раскрывать содержание каждой главы по тому заголовку, в котором они сформулированы. Практика показывает, что наиболее характерными ошибками при разработке плана являются:

1. Совпадение названия глав (разделов) с темой курсовой работы (главы).

2. Названия глав (разделов) не раскрывают реального содержания темы курсовой работы (главы) и относятся к другой области знаний (дисциплине).

Обе ошибки недопустимы, особенно вторая, поскольку она приводит к несоответствию содержания курсовой работы ее теме.

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ**

Курсовая работа (проект) оформляется в соответствии с общими правилами оформления научно-исследовательских работ.

Титульный лист курсовой работы (проекта) содержит следующие элементы: полное наименование вышестоящего органа (Министерство сельского хозяйства Российской Федерации), университета (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет» института / факультета и кафедры, название дисциплины; тему курсовой работы (проекта); сведения об исполнителе (Ф.И.О. обучающегося, группа, подпись); сведения о преподавателе (Ф.И.О., ученая степень, ученое звание); наименование места и год выполнения; сведения о регистрации на кафедре, количество баллов (по БРС) и оценка (переведенная в пятибалльную систему), даты и подписью ведущего преподавателя.

Содержание включает порядковые номера и наименование структурных элементов курсовой работы (проекта) с указанием номера страницы, на которой они помещены.

Введение характеризует:

- актуальность темы исследования - обоснование теоретической и практической важности выбранной для исследования проблемы;
- цель и задачи курсовой работы (проекта) - краткая и четкая формулировка цели проведения исследования и нескольких задач, решение которых необходимо для достижения поставленной цели;
- предмет исследования - формулировка конкретного вопроса или анализируемой проблемы;
- объект исследования;
- методы исследования (желательно);
- структуру работы - краткое содержание глав и параграфов основной части работы.

Последовательность рубрик должна соответствовать приведенному перечню, наименование каждой рубрики выделяется в тексте жирным шрифтом.

Основная часть курсовой работы (проекта) может содержать следующие части.

В первой части учебного пособия представлен справочный материал по электрооборудованию систем электроснабжения промышленных предприятий.

Второй раздел посвящен расчету распределительных электрических сетей 0,38-35 кв. Даны технические характеристики типа подстанции, проводов, кабелей, указания по их выбору и применению.

В третьем разделе представлена программа для автоматизированного расчета распределительных сетей 0,38-35 кВ.

В четвертый раздел вошли материалы по проектированию электроснабжения сельскохозяйственных объектов.

Сведения о проектировании электроснабжения промышленных объектов раскрыты в пятом разделе пособия.

Каждый раздел заканчивается выводами, где выделяется существенное, главное, как результат аналитической работы.

Заключение - краткое изложение основных, наиболее существенных результатов проведенного анализа, сформулированных в виде выводов, соответствующих цели и поставленным во введении задачам исследования.

В списке использованных источников литературы должны быть представлены основные источники по теме:

- нормативно-правовые документы (ГОСТы, кодексы, стандарты, законы);
- учебники и учебные пособия;
- отраслевые периодические издания;
- научные статьи, монографии и материалы научных конференций;
- интернет-ресурсы (официальные сайты организаций, базы данных и т.д.)
- материалы лабораторных и полевых исследований;
- данные, собранные во время практик.

Список должен содержать не менее 10 современных источников, изученных обучающимися (преимущественно даты издания не более 5 лет относительно года написания курсовой работы, кроме исторических вопросов).

На основные приведенные в списке источники должны быть ссылки в тексте курсовой работы. Они проставляются в квадратных скобках с указанием номера источника, под которым он значится в списке литературы.

Приложения - вспомогательные иллюстративно-графические, табличные, расчетные и текстовые материалы, которые нецелесообразно (объем более 1 страницы) приводить в основном тексте курсовой работы (проекта).

Курсовая работа должна быть напечатана на стандартном листе писчей бумаги в формате А4 с соблюдением следующих требований:

- поля: левое - 30 мм, правое - 15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм;
- шрифт размером 14 пт, гарнитурой Times New Roman;
- межстрочный интервал - полуторный;
- отступ красной строки - 1,25;
- выравнивание текста - по ширине.

Рекомендуемый общий объем курсовой работы не менее 25 страниц. Рекомендуемый объем введения: 2-3 страницы, заключения: 1-2 страницы, остальной объем страниц составляет основная часть работы.

Курсовые работы (проекты), включающие техническую составляющую, должны содержать сопроводительную документацию. Требования к документации устанавливаются кафедрами в соответствии со спецификой дисциплины и отражаются в методических указаниях по выполнению курсовой работы (проекта).

Использование обучающимся технологий искусственного интеллекта для генерации текста и / или повышения его оригинальности признается некорректным заимствованием за исключением случаев, когда в рамках выбранной темы по согласованию с ведущим преподавателем предусматривается возможность использования технологий искусственного интеллекта при выполнении курсовой работы (проекта). При этом, обучающийся обязан: указать во введении, в каких разделах курсовой работы (проекта) и в связи с чем были использованы технологии искусственного интеллекта; в тексте курсовой работы (проекта) сделаны сноски с указанием, что материал был подготовлен с использованием технологий искусственного интеллекта.

## **5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ОСНОВНЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Антонов С.Н. Необходимость использования автоматизированного рабочего места проектировщика для выпускного курса ФЭСХ / в сб. научн. трудов Информационные и коммуникационные технологии и их роль в активизации учебного процесса в вузе. СтГАУ – Ставрополь : АГРУС, 2009. – С.3-5.
2. Антонов С.Н. Нормоконтроль как средство повышения качества выполняемых дипломных проектов или работ / в сборнике научных трудов Совершенствование учебного процесса в вузе на основе информа-

ционных и коммуникационных технологий. СтГАУ. – Ставрополь : АГРУС, 2010. – С.7-10.

3. Антонов С.Н. Проектирование систем электрификации / методические указания и задание для курсового проекта [С.Н. Антонов, И.В. Атанов, М.Я. Ашмарин, В.П. Горшколепов, Л.Л. Иунихин] / ФГОУ ВПО СтГАУ – Ставрополь : АГРУС, 2004. – 40с.
4. Антонов С.Н. Проектирование электропривода сельскохозяйственного назначения : учебное пособие / С.Н. Антонов, Д.В. Данилов ; ФГОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь : АГРУС, 2010. – 272 с.
5. Антонов С.Н. Разработка методических указаний к выполнению курсовой работы по дисциплине «Электропривод сельскохозяйственных машин» // в сб. научн. трудов Активизация учебного процесса с помощью информационных и коммуникационных технологий. Ст.ГАУ – Ставрополь, 2005. – С.24-25.
6. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 256 с.
7. Будзко И.А., Зуль Н.М. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496с.
8. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.
9. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие для вузов. – Ростов – на – Дону: «Феникс», 2008.
10. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электро-снабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005. – 168 с.
11. Коноплев Е.В. Автономная энергетика / Никитенко Г.В., Коноплев Е.В. // Сельский механизатор № 1 2007 - С. 25.

12. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В. Выбор и обоснование варианта электроснабжения удаленных потребителей В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве – Ставрополь: АГРУС СтГАУ, 2009. С. 260-265.
13. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610257 Метод симметричных составляющих // Воротников И.Н., Данченко И.В., Коноплев Е.В. от 27.09.04.
14. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Коноплев П.В. Использование программных продуктов при изучении объемных дисциплин бакалавриата // Инновационные технологии современного образования – Ставрополь: АГРУС СтГАУ, 2013. С. 115-128.
15. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612738 Электроснабжение сельского хозяйства // Коноплев Е.В., Нагорный А.В., Лысаков А.А., Ивашина А.В. от 06.07.06.
16. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015615783 Система автоматизированного проектирования электроснабжения сельскохозяйственных и промышленных объектов // Коноплев Е.В., Никитенко Г.В., Коноплев П.В., Бобрышев А.В., Антонов С.Н. от 25.05.15.
17. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения : учебное пособие / В.Я. Хорольский, М.Я. Таранов. – Ставрополь: АГРУС СтГАУ, 2013. – 256с.
18. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Анализ и синтез систем автономного электроснабжения сельскохозяйственных объектов. Ростов-на-Дону: Терра, 2001. – 222с.
19. Шеховцов В.П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения. – М.: ФОРУМ – ИНФА-М, 2005.—214с

20. Электроснабжение сельского хозяйства: Методическое пособие.- Изд. 2-е перераб и доп./Сост. В.В. Коваленко, А.В. Ивашина, А.В. Нагорный, А.В. Кравцов. – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2004–100с.
21. Янукович Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие для студентов вузов по специальности «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства». / Янукович Г.И. – Минск: Минфана, 2010. – 440с.
22. ГОСТ 23501.101-87 - «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения».
23. ГОСТ Р 70291—2022 — «Системы автоматизированного проектирования электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования электронной аппаратуры».

## **6. ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТЕ РАБОТЫ**

В целях выполнения требований по хранению курсовых работ (проектов) законченная и оформленная в соответствии с установленными требованиями курсовая работа (проект) и сопроводительный материал предоставляется преподавателю для защиты в распечатанном виде.

Курсовая работа (проект) допускается к защите при выполнении следующих условиях:

- степень оригинальности текста курсовой работы (проекта) не ниже 25% для работ, выполненных обучающимися по образовательным программам бакалавриата и специалитета, не ниже 35% - по образовательным программам магистратуры;

- наличия рецензии преподавателя, принимающего курсовую работу (проект) (Приложение 2).

Защита курсовых работ (проектов) относится к промежуточной аттестации и проводится в конце семестра. Защита курсовых работ (проектов)

назначается кафедрой, дирекцией/деканатом вносится в расписание промежуточной аттестации и отражается в расписании учебных занятий.

Защиту курсовых работ (проектов) проводит ведущий преподаватель, а в случае возникновения спорных ситуаций создается комиссия, в состав которой входит заведующий кафедрой и преподаватели кафедры.

Защита работы проходит в форме публичного выступления (5-7 мин.) с представлением результатов работы в виде презентации (5-7 слайдов) и ответов на вопросы преподавателя/комиссии (5 мин).

Для защиты курсовой работы обучающийся готовит текст доклада. В тексте выступления отражается:

- актуальности выбранной темы;
- цели и основные задачи курсовой работы;
- основное содержание курсовой работы;
- основные выводы и практические рекомендации.

## **7. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАБОТЫ**

Выполненная и защищенная курсовая работа (проект) оценивается в соответствии с учетом балльно-рейтинговой системы оценивания и критериями оценки, которые указаны в рабочей программе дисциплины.

В соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки знаний студентов, обучающихся по образовательным программам высшего образования курсовую работу (проект) необходимо оценить по следующим критериям с учетом установленных максимальных баллов:

Таблица – Критерии оценки курсовой работы

<b>Критерий</b>	<b>Максимальное значение в баллах</b>	<b>Набранных баллов</b>
Оформление курсовой работы/проекта	10	
Содержание курсовой работы/проекта	60	
Защита курсовой работы/проекта	30	
<b>ИТОГО</b>	<b>100</b>	

Содержание критериев оценки курсовой работы (проекта):

1. Оформление курсовой работы (проекта):

-10 баллов - курсовая работа соответствует всем требованиям к ее оформлению. При оформлении курсовой работы использовались современные средства визуализации информации.

- 5 баллов - курсовая работа частично соответствует требованиям к ее оформлению, представленный материал проиллюстрирован не качественно. При оформлении курсовой работы (проекта) современные средства визуализации информации не использовались.

2. Содержание курсовой работы (проекта):

- 60 баллов - в курсовой работе подобраны необходимые информационные источники, информация использована корректно, все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов приведены достаточные обоснования;

- 40 баллов - в курсовой работе подобраны не все необходимые информационные источники, информация использована не везде корректно, не все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов не приведены достаточные обоснования;

- 20 баллов - в курсовой работе отсутствуют некоторые разделы, или их название не отвечает содержанию.

3. Защита курсовой работы (проекта):

- 30 баллов - студент продемонстрировал полное понимание всех положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на все вопросы, заданные преподавателем;

- 20 баллов - студент продемонстрировал понимание основных положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на большую часть вопросов, заданных преподавателем;

- 10 баллов - студент дал недостаточно полные ответы на вопросы, на некоторые из них дал ошибочные ответы или не ответил.

Перевод оценки из 100-балльной в пятибалльную систему оценки знаний осуществляется следующим образом:

- 89-100 - оценка «отлично»,

- 77 - 88 баллов - оценка «хорошо»,

- 65 - 76 баллов - оценка «удовлетворительно»,

- менее 64 баллов - оценка «неудовлетворительно».

При неудовлетворительной оценке курсовой работы обучающийся имеет право на повторную защиту после доработки и внесения исправлений.

У обучающегося, не сдавшего в установленный срок курсовую работу (проект) и/или не защитившего её по неуважительной причине, образуется академическая задолженность.

Оценка за курсовую работу (проект) фиксируется в зачетной книжке обучающегося и в электронной ведомости. Распечатанный и подписанный оригинал ведомости храниться в деканате факультета/института в соответствии со номенклатурой дел и сроками хранения документов 5 лет.

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Институт механики и энергетики  
Кафедра Электрооборудования и энергообеспечения АПК**

# Курсовая работа

**по дисциплине «САПР систем электроснабжения»  
Тема: «Электроснабжение сельскохозяйственных объектов»**

Выполнил:

Студент \_\_ курса \_\_\_\_ группы

ФИО \_\_\_\_\_

Направление подготовки: \_\_\_\_\_

Форма обучения: \_\_\_\_\_

Проверил:

\_\_\_\_\_  
уч. степень, должность

ФИО \_\_\_\_\_

Зарегистрирована

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Критерий	Максимальное значение в баллах	Набранных баллов
Оформление курсовой работы (проекта)	10	
Содержание курсовой работы (проекта)	60	
Защита курсовой работы (проекта)	30	
<b>ИТОГО</b>	<b>100</b>	

Оценка « \_\_\_\_\_ » Дата \_\_\_\_\_ Подпись \_\_\_\_\_

Ставрополь, 20 \_\_\_\_

## Кафедра Электрооборудования и энергообеспечения АПК

### РЕЦЕНЗИЯ на курсовую работу

Тема \_\_\_\_\_

Обучающийся (Ф.И.О.) \_\_\_\_\_

Курс \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_

Преподаватель (Ф.И.О.) \_\_\_\_\_

#### Выполнение общих требований к курсовой работе (проекту)

1	Объем работы соответствует установленным требованиям	Да/нет
2	Степень оригинальности курсовой работы (проекта) соответствует установленным требованиям	Да/нет (указать %)

#### Критерии оценивания курсовой работы (проекта)

Критерии	Количество баллов	Содержание критерия оценки	Итоговый балл
<b>Оформление курсовой работы (проекта)</b>	<b>10</b>	Курсовая работа соответствует всем требованиям к ее оформлению. При оформлении курсовой работы использовались современные средства визуализации информации.	
	<b>5</b>	Курсовая работа частично соответствует требованиям к ее оформлению, представленный материал проиллюстрирован не качественно. При оформлении курсовой работы (проекта) современные средства визуализации информации не использовались.	
<b>Содержание курсовой работы (проекта)</b>	<b>60</b>	В курсовой работе подобраны необходимые информационные источники, информация использована корректно, все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов приведены достаточные обоснования.	

	<b>40</b>	В курсовой работе подобраны не все необходимые информационные источники, информация использована не везде корректно, не все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов не приведены достаточные обоснования.	
	<b>20</b>	В курсовой работе отсутствуют некоторые разделы, или их название не отвечает содержанию.	
<b>Защита курсовой работы (проекта)</b>	<b>30</b>	Студент продемонстрировал полное понимание всех положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на все вопросы, заданные преподавателем.	
	<b>20</b>	Студент продемонстрировал понимание основных положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на большую часть вопросов, заданных преподавателем.	
	<b>10</b>	Студент дал недостаточно полные ответы на вопросы, на некоторые из них дал ошибочные ответы или не ответил.	
<b>ИТОГО:</b>			<i>Указывается итоговый балл по всем критериям</i>

**Рекомендации:**

---



---



---

Ведущий преподаватель \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
 (ФИО) (подпись)

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое учебное пособие предназначено для студентов электроэнергетических и электромеханических специальностей. В нем подобран обширный справочный материал по проектированию электроснабжения объектов, необходимый для выполнения индивидуальных заданий, курсовых и выпускных квалификационных работ. Пособие содержит пять разделов и охватывает вопросы проектирования внутризаводских и цеховых систем электроснабжения, компенсацию реактивной мощности в электрических сетях общего назначения. Кроме справочного материала в нем даны рекомендации по расчету цеховых электрических сетей напряжением до 1000 В и распределительных воздушных и кабельных линий высокого напряжения, указания по выбору трансформаторов, коммутационной и защитной аппаратуры, методика расчета токов короткого замыкания и проверка выбранного оборудования на устойчивость к их действию.

Многообразие условий, которые необходимо учитывать при проектировании электроснабжения объектов сельского хозяйства и различных отраслей промышленности, не позволяет в ряде случаев дать однозначные рекомендации по некоторым вопросам. Они должны решаться путем тщательного анализа специфических требований, предъявляемых к электроснабжению производством или отраслью промышленности. Поэтому приведенные в пособии рекомендации не следует рассматривать как единственно возможные. В отдельных случаях возможны и неизбежны отступления от них, вытекающие из опыта проектирования электроснабжения объектов в сельском хозяйстве или конкретной отрасли промышленности и специфики работы объектов.

Материалы справочника могут быть использованы как на стадии проектирования электроснабжения объектов и установок, так и при проработке вопросов оптимизации развивающихся сетей и систем электроснабжения, повышения надежности, безопасности и экономичности их работы.

Вместе с этим общая задача, возникающая при проектировании систем передачи и распределения электроэнергии, заключается в выборе наиболее рациональных технических решений с наилучшими параметрами. При этом приходится решать следующие наиболее характерные задачи:

- выбор конфигурации электрической сети и ее конструктивного исполнения (воздушная, кабельная и т.д.);

- выбор количества линий и числа трансформаторов подстанций;
- выбор номинального напряжения линий;
- выбор материала и площади сечений проводов линий;
- выбор схем подстанций;
- обоснование технических средств обеспечения требуемой надежности электроснабжения потребителей;
- выбор технических средств обеспечения требуемого качества напряжения;
- обоснование средств повышения экономичности функционирования электрической сети;
- выбор средств повышения пропускной способности сети.

При комплексном решении этих вопросов в процессе проектирования необходимо решить ряд задач. Для решения сложных комплексных задач требуется использование вычислительной техники. Использование систем автоматизированного проектирования позволяет более качественно подойти к решению задач проектирования распределительных сетей 0,38; 6; 10; 35 кВ.

По вопросам получения программного обеспечения и работы с ним обращайтесь к разработчикам [konoplev82@mail.ru](mailto:konoplev82@mail.ru)

# 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

## 1.1. Методы расчета

Электрические нагрузки промышленных предприятий определяют выбор всех элементов системы электроснабжения: линий электропередачи, районных трансформаторных подстанций, питательных и распределительных сетей. Поэтому правильное определение электрических нагрузок является решающим фактором при проектировании и эксплуатации электрических сетей [10].

Расчет нагрузок на разных уровнях электроснабжения производится различными методами в зависимости от исходных данных и требований точности. Обычно расчет ведут от низших уровней к высшим. Однако при проектировании крупных предприятий иногда приходится вести расчеты от верхних уровней к нижним. В этом случае пользуются комплексным методом расчета. За основу берут информационную базу аналогичного предприятия (технология, объем производства, номенклатура изделий). При этом сначала решают вопросы электроснабжения предприятия в целом, затем комплекса цехов, отдельного производства, района завода; цеха или части завода, питающихся от одной РП. Комплексный метод предусматривает одновременное применение нескольких способов расчета максимальной нагрузки  $P_p$  (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Методы расчета электрических нагрузок

Метод расчета	Формула	Пояснения
По электроемкости продукции	$P_p = \sum \varepsilon_i M_i / T_M$	$M_i, \varepsilon_i$ - объем и электроемкость (табл. 1.2) продукции $i$ -го вида; $T_M$ - годовое число часов использования максимума нагрузки
По общегодовому электропотреблению	$P_p = K_M A / T_T$	$K_M$ - среднегодовой коэффициент максимума; $A$ - общегодовое электропотребление; $T_T = 8760$ - число часов в году
По удельным мощностям нагрузок	$P_p = \gamma F$	$\gamma$ - удельная плотность нагрузки (табл. 1.3); $F$ - площадь предприятия, района, цеха
По среднегодовому коэффициенту спроса $K_c$	$P_p = K_c P_{уст}$	$P_{уст}$ - сумма установленных мощностей; $K_c$ - коэффициент спроса (табл. 1.6)
Метод упорядоченных диаграмм (табл. 1.4)	$P_p = K_M K_{и} P_{уст}$	$P_{уст}$ - сумма установленных мощностей; $K_M$ - коэффициент максимума (табл. 1.8); $K_{и}$ - коэффициент использования (табл. 1.7)

Таблица 1.2

**Средние удельные нормы расхода электроэнергии  
на некоторые виды промышленных изделий**

Продукция	Единица измерения	Средняя удельная норма расхода	
1	2	3	
Кислород	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс.м}^3}$	469,7	
Переработка газа		16,1	
Сжатый воздух		80	
Этилен	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	2214,4	
Ацетилен		3234,8	
Чугун		9,7	
Электротехническая сталь		677,2	
Сталь мартеновская		11,9	
Сталь кислородно-конверторная		25	
Прокат черных металлов		102,5	
Трубы стальные		133,3	
Бумага		667,3	
Картон		525,6	
Целлюлоза		367,1	
Производство масел		309,9	
Добыча железной руды		$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	56,5
Добыча марганцевой руды			90,2
Ферросилилит 45 %			4726
Цемент	106		
Асбест	600,5		
Гипс	24,3		
Добыча угля	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	30,0	
В том числе:		38,0	
добыча подземным способом		11,9	
добыча открытым способом		6,9	
переработка угля (обогащение) угольные брикеты		27,6	
Пиломатериалы	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$	19	
Древесностружечные плиты		169	
Фанера клееная		104,6	
Железобетонные конструкции		28,1	
Кирпич красный	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс. шт}}$	77,2	
Кирпич силикатный		34,9	
Шифер		55,7	
Строительно-монтажные работы	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс. руб}}$	22,63	
Производство мебели		429	
Хлопчатобумажные ткани	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс.м}^2}$	1100	
Шерстяные ткани		2390	
Шелковые ткани		1210	
Льняные ткани		1061,4	
Чулочно-насочные изделия	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс. пар}}$	200,6	
Обувь кожаная		791,5	

окончание табл. 1.2

1	2	3
Бурение разведочное	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}}$	74,5
Бурение эксплуатационное		101,5
Добыча нефти	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	30,7
Переработка нефти:		30,4
первичная переработка		14,2
крекинг термический		14,7
крекинг каталитический гидроформинг и каталитический риферинг		60,6 81,1
Транспортировка нефтепродуктов по магистральным продуктопроводам	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс.т} \cdot \text{км}}$	15,4
Транспортировка нефти по магистральным нефтепроводам		13,4
Транспортировка газа по магистральным газопроводам		20,2
Химические волокна	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	4861,8
В том числе:		
шелк вискозный		8937,6
шелк капроновый		11651,3
шелк ацетатный		6263,4
шелк триацетатный		7643,3
шелк хлориновый		2396,1
штапель вискозный		2349,0
штапель медно-аммиачный		1981,5
Искусственный шелк для корда и технических изделий		4180,0
шелк капроновый для корда и технических изделий		6409,7
шелк лавсановый для корда и технических изделий		5383,2
штапель капроновый		3355,3
штапель лавсановый	3507,4	
Синтетические смолы и пластмассы	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	1414,4
В том числе:		
карбамидные смолы		160,7
капролактамы		4053,1
диметилфталат		1663,2
ацетат		6098,6
полиэтилен высокого давления		2285,5
полиэтилен низкого давления		3797,2
ацетаты целлюлозы		2053,9
ионообменные смолы		2378,8
поливинилацетатная эмульсия	428,9	
прочие виды смол и пластмасс	780,9	

Таблица 1.3

**Ориентировочные удельные плотности силовой нагрузки на 1 м<sup>2</sup>  
площади производственных зданий  
некоторых отраслей промышленности**

Производственные здания	$\gamma$ , Вт/м <sup>2</sup>
Литейные и плавильные цехи	230—370
Механические и сборочные цехи	200—300
Механосборочные цехи	280—390
Электросварочные и термические цехи	300—600
Штамповочные и фрезерные цехи	150—300
Цехи металлоконструкций	350—390
Инструментальные цехи	50—100
Прессовочные цехи для заводов пластмасс	100—200
Деревообрабатывающие и модельные цехи	75—140
Блоки вспомогательных цехов	260—300
Заводы горно-шахтного оборудования	400—420
Заводы бурового оборудования	260—330
Заводы краностроения	330—350
Заводы нефтеаппаратуры	220—270
Прессовые цехи	277—300

Таблица 1.4

**Сводка основных положений по определению расчетных электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм**

Фактическое число электроприемников в группе, $n$	$m = \frac{P_{\text{ном. max}}}{P_{\text{ном. min}}}$	$n_{\text{эф}}$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВар
1	2	3	4	5
Три и менее	не определяется		$P_p = \sum_1^n P_{\text{ном}}$	$Q_p = \sum_1^n P_{\text{ном}} \cdot \text{tg}\varphi$
Более трех	$m \leq 3$ При определении исключаются ЭП, суммарная мощность которых не превышает 5 % $\sum P_{\text{ном}}$ группы	$n_{\text{эф}} = n$	$P_p = K_M \cdot P_{\text{см}} =$ $= K_M \cdot \sum K_{\text{И}} \cdot P_{\text{ном}}$ ( $K_M$ определяется по табл. 1.8)	При $n \leq 10$ $Q_p = 1,1 \cdot Q_{\text{см}}$ при $n > 10$ $Q_p = Q_{\text{см}} =$ $= \sum_1^n P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi$
	$m > 3$ (точное определение не требуется)	$n_{\text{эф}} < 4$	$P_p = \sum K_3 \cdot P_{\text{ном}}$ (допускается принимать $K_3=0,9$ для ЭП длительного режима и $K_3=0,75$ для ЭП ПКР)	$Q_p = 0,75 \cdot P_p$ (для ЭП длительного режима $\cos\varphi=0,8$ , $\text{tg}\varphi=0,75$ ) $Q_p = P_p$ (для ЭП ПКР $\cos\varphi=0,7$ , $\text{tg}\varphi=1$ )

1	2	3	4	5
	$m > 3$	$n_{эф} \geq 4$	$P_p = K_M \cdot P_{см}$ ( $K_M$ определяется по табл. 1.8)	При $n \leq 10$ $Q_p = 1,1 \cdot Q_{см}$ при $n > 10$ $Q_p = Q_{см} =$ $= \sum_1^n P_{см} \cdot \text{tg}\varphi$
	$m > 3$	$n_{эф} > 200$	$P_p = P_{см} =$ $= \sum K_{и} \cdot P_{НОМ}$	$Q_p = Q_{см}$
Если более 75 % установленной мощности расчетного узла составляют ЭП с практически постоянным графиком нагрузки ( $K_{и} \geq 0,6$ , $K_{вкл} \approx 1$ , $K_{загр} \geq 0,9$ – насосы, компрессоры, вентиляторы)		не определяется	$P_p = P_{см} =$ $= \sum K_{и} \cdot P_{НОМ}$	$Q_p = Q_{см} =$ $= \sum_1^n P_{см} \cdot \text{tg}\varphi$
При наличии в расчетном узле ЭП с переменным и постоянным графиком нагрузки	Определяется только для ЭП с переменным графиком нагрузки		$P_p = P_{p1} + P_{p2} =$ $K_M \cdot P_{см1} + P_{см2}$	$Q_p = Q_{p1} + Q_{см2}$

Примечание. Эффективное число электроприемников определяется по соотношению

$$n_{эф} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_{НОМ.i}}{\sum_{i=1}^n P_{НОМ.i}^2} \right)^2$$

или одним из упрощенных способов; при  $m > 3$  и  $K_{и} < 0,2$ ,  $n_{эф}$  определяется по таблице 1.5.

Таблица 1.5

**Относительные значения эффективного числа электроприемников**

$$n_{эф*} = \frac{n_{эф}}{n} \text{ в зависимости от } n_* = \frac{n_1}{n} \text{ и } P_* = \frac{P_{НОМ.1}}{P_{НОМ}}$$

$n_* = \frac{n_1}{n}$	P*													
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
0,005	0,005	0,006	0,007	0,01	0,013	0,019	0,024	0,03	0,039	0,051	0,073	0,11	0,18	0,34
0,01	0,009	0,012	0,015	0,019	0,026	0,037	0,047	0,059	0,07	0,1	0,14	0,2	0,32	0,52
0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,14	0,19	0,26	0,36	0,51	0,71
0,03	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,21	0,27	0,36	0,48	0,64	0,81
0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1	0,15	0,18	0,22	0,27	0,34	0,44	0,57	0,72	0,86
0,05	0,05	0,06	0,07	0,1	0,13	0,18	0,22	0,26	0,33	0,41	0,51	0,64	0,79	0,9
0,06	0,06	0,08	0,09	0,12	0,15	0,21	0,26	0,31	0,38	0,47	0,58	0,70	0,83	0,92
0,08	0,08	0,09	0,12	0,15	0,20	0,28	0,33	0,40	0,48	0,57	0,68	0,79	0,89	0,94
0,10	0,09	0,12	0,15	0,19	0,25	0,34	0,40	0,47	0,56	0,66	0,76	0,85	0,92	0,95
0,15	0,14	0,17	0,23	0,28	0,37	0,48	0,56	0,67	0,72	0,80	0,88	0,93	0,95	-
0,20	0,19	0,23	0,29	0,37	0,47	0,64	0,69	0,76	0,83	0,89	0,93	0,95	-	-
0,25	0,24	0,29	0,35	0,45	0,57	0,71	0,78	0,85	0,90	0,93	0,95	-	-	-
0,30	0,29	0,35	0,42	0,53	0,66	0,80	0,86	0,90	0,94	0,95	-	-	-	-
0,35	0,32	0,41	0,50	0,52	0,74	0,86	0,91	0,94	0,95	-	-	-	-	-

0,40	0,35	0,47	0,57	0,69	0,81	0,91	0,93	0,95	-	-	-	-	-	-
0,45	0,43	0,52	0,64	0,76	0,87	0,93	0,95	-	-	-	-	-	-	-
0,50	0,48	0,58	0,70	0,82	0,91	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-
0,55	0,52	0,63	0,75	0,87	0,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,60	0,57	0,69	0,81	0,91	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,65	0,62	0,74	0,86	0,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,70	0,66	0,80	0,90	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,75	0,71	0,85	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,80	0,76	0,89	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,85	0,80	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,90	0,85	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Примечания.* 1. Для промежуточных значений  $P_*$  и  $n_*$  рекомендуется брать ближайшие меньшие значения

2. Таблица составлена по уравнению 
$$n_{эф*} = \frac{0,95}{\frac{P_*^2}{n_*} + \frac{(1+P_*)^2}{1-n_*}}$$

## 1.2. Коэффициенты спроса, использования и максимума

Значения коэффициентов использования, спроса и максимума для различных электроприемников определены из опыта эксплуатации и при проектировании принимаются по справочным материалам – табл. 1.6-1.8. Величина коэффициента спроса  $K_c$  может быть принята по таблице 1.9 в зависимости от величины коэффициента использования  $K_{и}$  для данной группы приемников (таблица 1.9 составлена для среднего коэффициента включения, равного 0,8).

Таблица 1.6

### Коэффициенты спроса и мощности

Наименование цеха, производства	$K_c$	$\cos\varphi$
<b>Корпуса, цеха, насосные и другие установки общепромышленного назначения</b>		
Блок основных цехов	0,40-0,50	0,75
Блок вспомогательных цехов	0,30-0,35	0,7
Кузнечно-прессовые	0,40-0,5	0,75
Термические, закалочные	0,6	0,75
Металлоконструкций, сварочно-заготовительные	0,25-0,35	0,65-0,75
Механосборочные, столярные, модельные	0,20-0,30	0,60-0,80
Малярные, красильные	0,40-0,50	0,60-0,70
Собственные нужды ТЭЦ	0,60-0,70	0,8
Лаборатории, заводоуправления, конструкторские бюро, конторы	0,40-0,50	0,70-0,80

Депо электрокар	0,50-0,70	0,70-0,80
Депо (паровозное, пожарное, железнодорожное)	0,30-0,40	0,60-0,80
Гаражи автомашин	0,20-0,30	0,7
Котельные	0,50-0,60	0,8
Склады готовой продукции, металла, магазины	0,30-0,40	0,8
Столовая	0,40-0,50	0,9
Лесозаводы	0,35-0,45	0,75
Лесосушки	0,60-0,70	0,75-0,90
Термическая нагрузка (нагревательные печи)	0,70-0,80	0,85-0,90
Крановая нагрузка, подъемники	0,20-0,30	0,50-0,70
Электросварка	0,6	0,35
Малярные, модельные	0,40-0,50	0,50-0,60
Склады открытые	0,20-0,30	0,60-0,70
<b>Медеплавильные заводы</b>		
Ватержакеты и отражательные печи	0,5	0,8
Цех рафинации меди	0,6	0,75
<b>Заводы цветной металлургии</b>		
Цех электролиза	0,7	0,85
Отдел регенерации	0,5	0,8
Разливочная	0,4	0,7
Лаборатория	0,25	0,7
Аглоцех	0,5	0,8
<b>Заводы черной металлургии</b>		
Цех холодного проката	0,40-0,50	0,8
Цех горячего проката	0,50-0,60	0,8
Мартеновский цех	0,40-0,50	0,75
Доменный цех	0,45	0,75
Слябинг	0,5	0,8
Цех сталеплавильных печей	0,4	0,7
Цех проката жести	0,45	0,70-0,80
<b>Обогатительные фабрики</b>		
Цех обогащения	0,60-0,65	0,8
Цех дробления	0,40-0,45	0,75
Флотационный цех	0,60-0,70	0,75
Сгустители	0,50-0,55	0,7
Шаровые мельницы	0,50-0,60	0,8
Реагентный, баритовый цех	0,6	0,8
Золоизвлекательный цех	0,4	0,7
Цех мокрой магнитной сепарации	0,5	0,8
Дробильно-промывочный цех	0,40-0,50	0,8
<b>Агломерационные фабрики</b>		
Спекальный цех	0,5	0,7
Цех фильтрации	0,50-0,60	0,7
Цех рудничной мелочи	0,4	0,65
Цех шихты	0,4	0,65
Цех перегрузки	0,30-0,40	0,65
Сероулавливающее устройство	0,50-0,55	0,75

<b>Алюминиевые заводы</b>		
Блок мокрого размола и обработки	0,5	0,3
Выпарка, декомпозиция	0,55-0,60	0,85
Цех спекания, прокалывания	0,50-0,60	0,85
Цех выщелачивания, сгущения	0,40-0,50	0,8
Склады сырья	0,20-0,30	0,65
<b>Заводы тяжелого машиностроения</b>		
Главный корпус	0,30-0,40	0,65-0,70
Мартеновский цех	0,40-0,50	0,70-0,80
Кузнечный цех	0,40-0,45	0,75
Термический цех	0,50-0,60	0,65
Моторный цех	0,35	0,75
Арматурный цех	0,30-0,35	0,6
Рессорный цех	0,3	0,65
Сварочный цех	0,40-0,45	0,6
Аппаратный цех	0,3	0,7
Изоляционный цех	0,50-0,60	0,9
Лаковарочный цех	0,6	0,9
Эстакада	0,25	0,65
Цех пресс-порошка	0,40-0,50	0,85
Цех электролиза	0,5	0,8
Цех металлопокрытий	0,4	0,8
Экспериментальный цех	0,2	0,7
<b>Трансформаторные заводы</b>		
Главный корпус	0,4	0,80-0,85
Сварочный корпус	0,35	0,7
Аппаратный корпус	0,3	0,7
Изоляционный корпус	0,6	0,9
Лаковарочный корпус	0,4	0,8
<b>Авторемонтные заводы</b>		
Цех обмотки проводов	0,4	0,7
Кузовной цех	0,35	0,8
Цех обкатки автодвигателей	0,60-0,70	0,6
Станочное оборудование	0,25	0,6
Разборно-моечный цех	0,3	0,65
<b>Судоремонтные заводы</b>		
Главный корпус	0,4	0,8
Котельный цех	0,5	0,65
Сухой док	0,4	0,6
Плавающий док	0,5	0,7
Механические цеха	0,25-0,35	0,60-0,70
<b>Автомобильные заводы</b>		
Цех шасси и главный конвейер	0,35	0,75
Моторный цех	0,25	0,7
Прессово-кузовной цех	0,2	0,7
Кузнечный цех	0,2	0,75
Арматурно-агрегатный цех	0,2	0,7

<b>Авиационные заводы</b>		
Цех обработки блоков, поршней, шатунов и прочих деталей двигателей	0,35	0,7
Цех сборки, испытаний двигателей	0,4	0,8
Цех производства мелких деталей	0,3	0,7
Гальванический цех	0,5	0,85
Станция химводоочистки, канализации	0,6	0,8
Градирия	0,7	0,8
Склад кислот	0,3	0,7
Цех пластмасс	0,4	0,9
Штамповочный цех деталей корпуса самолета	0,4	0,6
Штамповочный цех деталей покрытия самолета	0,3	0,8
Цех сборки остова самолета	0,4	0,6
Цех полной сборки самолетов	0,4	0,7
<b>Химические заводы и комбинаты</b>		
Цех красителей	0,4	0,75
Цех натриевой соли	0,45	0,75
Цех хлорофоса, синильной кислоты	0,50-0,55	0,75
Цех метиленхлорида, сульфата аммония	0,5	0,70-0,75
Цех холодильных установок	0,6	0,8
Склады готовой продукции	0,2	0,5
Надшахтные здания	0,7	0,80-0,85
Здания подъемных машин	0,60-0,70	0,80-0,85
Галереи транспортеров	0,35-0,40	0,60-0,80
Здание шахтного комбината	0,5	0,9
Эстакады и разгрузочные пункты	0,60-0,70	0,65-0,80
Цех обезвоживания	0,5	0,8
Башня Эстнера	0,5	0,7
Эстакада наклонного транспорта	0,4	0,8
Сушильное отделение	0,7	0,8
Корпус запасных резервуаров	0,3	0,8
Химлаборатория	0,3	0,8
Цех защитных покрытий	0,5	0,8
<b>Нефтеперерабатывающие заводы</b>		
Установка каталитического крекинга	0,50-0,60	0,8
Установка термического крекинга	0,65	0,85
Установка прямой гонки	0,50-0,60	0,75
Установка алкиляции, инертного газа	0,55	0,75
Электрообессоливающая, этилсмесительная установка	0,50-0,60	0,8
ЭЛОУ	0,50-0,60	0,8
Резервуарные парки	0,3	0,65
<b>Коксохимические заводы</b>		
Дезинтеграторное отделение	0,6	0,8
Перегрузочная станция дробления	0,5	0,7
Дозировочное отделение	0,4	0,8
Угольные ямы	0,7	0,75
Вагоноопрокидыватель	0,4	0,8

продолжение табл. 1.6

Коксовые батареи	0,60-0,70	0,85-0,90
Пекококсовая установка	0,7	0,8
Смолоразгонный цех	0,7	0,8
Дымососная установка	0,7	0,8
Бензольный цех	0,7	0,8
Насосная конденсата	0,6	0,7
Ректификация	0,6	0,75
Сероочистка	0,7	0,8
Углемойка	0,4	0,75
Холодильники аммиачной воды	0,5	0,8
<b>Цементные заводы</b>		
Шиферное производство	0,35	0,7
Сырьевые мельницы	0,50-0,60	0,8
Сушильный цех	0,40-0,50	0,85
Цементные мельницы	0,50-0,60	0,8
Шламбассейны	0,7	0,85
Клинкерное отделение	0,35-0,45	0,75
Цех обжига	0,40-0,50	0,80-0,90
Электрофильтры	0,4	0,75
Цех дробления	0,5	0,8
Химводоочистка	0,50-0,60	0,8
Склады сырья	0,20-0,30	0,6
<b>Заводы абразивные и огнеупоров</b>		
Цех шлифпорошков	0,5	0,8
Подготовительный цех	0,4	0,75
Цех шлифзерна, шлифизделий	0,40-0,50	0,75
Цех дробления	0,50-0,60	0,8
Цех переплавки пирита	0,6	0,85
Печной цех	0,6	0,9
Углеподготовка	0,40-0,50	0,75
Шамотный цех	0,40-0,45	0,7
Стекольный цех	0,5	0,75
<b>Промышленные базы стройиндустрии</b>		
Корпус дробления камня	0,40-0,60	0,75
Корпус промывки и сортировки	0,40-0,50	0,7
Корпус керамзитовых, бетонных и гончарных труб	0,4	0,7
Корпус железобетонных конструкций	0,30-0,40	0,7
Бетонно-смесительный цех	0,5	0,75
Цех силикатно-бетонных изделий	0,40-0,45	0,75
Цех производства шифера	0,40-0,45	0,75
Цех помола извести	0,5	0,7
Цех ячеистых бетонов	0,4	0,65
Цех гипсошлаковых изделий	0,4	0,65
Арматурный цех	0,35	0,6
Склады	0,25	0,6

<b>Текстильные, трикотажные, ситценабивные меланжевые фабрики</b>		
Прядильный цех	0,50-0,70	0,75
Ткацкий цех	0,60-0,70	0,8
Красильный, отбельный цех	0,50-0,55	0,70-0,80
Крутильный цех	0,50-0,60	0,8
Корпуса "медико", "утка" и др.	0,5	0,7
Сушильный, ворсовальный цех	0,40-0,50	0,75-0,80
Печатный цех	0,5	0,75
Вязальный, трикотажный цех и др.	0,40-0,50	0,7
Цех носочно-чулочных изделий	0,40-0,50	0,7
Цех капроно-нейлоновых изделий	0,50-0,60	0,75
Швейные мастерские	0,30-0,40	0,65
Основальный корпус	0,6	0,7
Кузнечно-сварочный цех	0,3	0,5
Опытный флотационный цех	0,7	0,8
Разгрузочное устройство	0,3	0,8
Главный корпус сильвинитовой фабрики	0,7	0,8
<b>Научно-исследовательские и экспериментальные институты</b>		
Главный корпус опытного завода	0,30-0,40	0,7
Машинный зал	0,5	0,8
Электрофизический корпус	0,4	0,75
Лаборатория низких температур	0,50-0,60	0,85
Корпус высоких напряжений	0,35	0,8
Лаборатория специальных работ	0,35	0,7
<b>Деревообрабатывающие комбинаты и заводы</b>		
Лесопильный завод	0,4	0,75
Сушильный цех	0,35	0,8
Биржа сырья	0,3	0,65
Цех прессованных плит	0,4	0,75
Столярный, модельный, деревообрабатывающий	0,25-0,35	0,7
<b>Станкостроительный завод</b>		
Главный корпус	0,5	0,6
Эстакада к главному корпусу	0,5	0,7
Станция осветления вод	0,7	0,85
<b>Бумажные фабрики</b>		
Бумажные машины	0,60-0,65	0,75
Дереворубка	0,40-0,45	0,65
Кислотный цех	0,5	0,8
Варосный цех	0,35	0,70-0,80
Отбельный цех	0,50-0,60	0,7
Тряпковарка	0,60-0,65	0,8
Лесотаски	0,35	0,6

Таблица 1.7

### Коэффициенты использования и мощности некоторых механизмов и аппаратов промышленных предприятий

Механизмы и аппараты	$K_n$	$\cos\varphi$
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, расточные).	0,12—0,14	0,5
То же при крупносерийном производстве.	0,16	0,6
То же при тяжелом режиме работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки).	0,17—0,25	0,65
Поточные линии, станки с ЧПУ	0,6	0,7
Переносный электроинструмент	0,06	0,65
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-техническая вентиляция	0,6—0,8	0,8—0,85
Насосы, компрессоры, дизель-генераторы и двигатель-генераторы	0,7—0,8	0,8—0,85
Краны, тельферы, кран-балки при ПВ = 25 %	0,06	0,5
То же при ПВ = 40 %	0,1	0,5
Транспортеры	0,5—0,6	0,7—0,8
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	0,25—0,3	0,35—0,4
Приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,2—0,24	0,65
Элеваторы, шнеки, несбалансированные конвейеры мощностью до 10 кВт	0,4—0,5	0,6-0,7
То же, сблокированные и мощностью выше 10 кВт	0,55—0,75	0,7—0,8
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
Многопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,2—0,5	0,7
Сварочные машины стыковые и точечные	0,2—0,25	0,6
Сварочные дуговые автоматы	0,35	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75—0,8	0,95
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75—0,8	0,95
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой изделий	0,5	0,95
Вакуум-насосы	0,95	0,85
Вентиляторы высокого давления	0,75	0,85

окончание табл. 1.7

Вентиляторы к дробилкам	0,4—0,5	0,7—0,75
Газодувки (аглоэкструдеры) при синхронных двигателях	0,6	0,8—0,9
То же при асинхронных двигателях	0,8	0,8
Молотковые дробилки	0,8	0,85
Шаровые мельницы	0,8	0,8
Грохоты	0,5—0,6	0,6-0,7
Смесительные барабаны	0,6—0,7	0,8
Чашевые охладители	0,7	0,85
Сушильные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Электрофильтры	0,4	0,87
Вакуум-фильтры	0,3	0,4
Вагоноопрокидыватели	0,6	0,5
Грейферные краны	0,2	0,6
Лампы накаливания	0,85	1,0
Люминесцентные лампы	0,85—0,9	0,95

Таблица 1.8

**Определение коэффициента максимума  
по известным значениям  $K_{и}$  и  $n_{эф}$**

$n_{эф}$	Коэффициент максимума $K_m$ при $K_{и}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,25	2,87	2,42	2,0	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05	1,03
35	1,55	1,41	1,30	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,03
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,03
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,05	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02	1,02

окончание табл. 1.8

100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
120	1,19	1,15	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02	1,01
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,01
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,01
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,00

Таблица 1.9

**Взаимосвязь между коэффициентом спроса  
и коэффициентом использования**

$K_{и}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$K_{с}$	0,5	0,6	0,65-0,70	0,75-0,80	0,85-0,90	0,92-0,95

**1.3. Осветительная нагрузка**

Таблица 1.10

**Коэффициенты спроса осветительных нагрузок**

Характеристика помещения	$K_{со}$
Мелкие производственные здания и торговые помещения	1
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Производственные здания, состоящие из ряда отдельных помещений	0,85
Библиотеки, административные здания, предприятия общественного питания	0,9
Лечебные заведения и учебные учреждения, конторско-бытовые здания	0,8
Складские здания, электрические подстанции	0,6
Аварийное освещение	1,0

Таблица 1.11

**Удельная мощность (плотность) осветительной нагрузки, Вт/м<sup>2</sup>**

Наименование объекта	$P_{уд}$
Литейные и плавильные цеха	12-19
Механические и сборочные цеха	11-16
Электросварочные и термические цеха	13-15
Инструментальные цеха	15-16
Деревообрабатывающие и модельные цеха	15-18
Блоки вспомогательных цехов	17-18
Инженерные корпуса	16-20
Центральные заводские лаборатории	20-27
Заводы горно-шахтного оборудования	10-13
Освещение территории	0.16

## 1.4. Графики электрических нагрузок

Режимы работы потребителей электрической энергии не остаются постоянными, а непрерывно изменяются в течение суток, недель и месяцев года. Соответственно изменяется и нагрузка всех звеньев передачи и распределения электроэнергии и генераторов электрических станций. Изменение нагрузок электроустановок в течение времени принято изображать графически в виде графиков нагрузки.

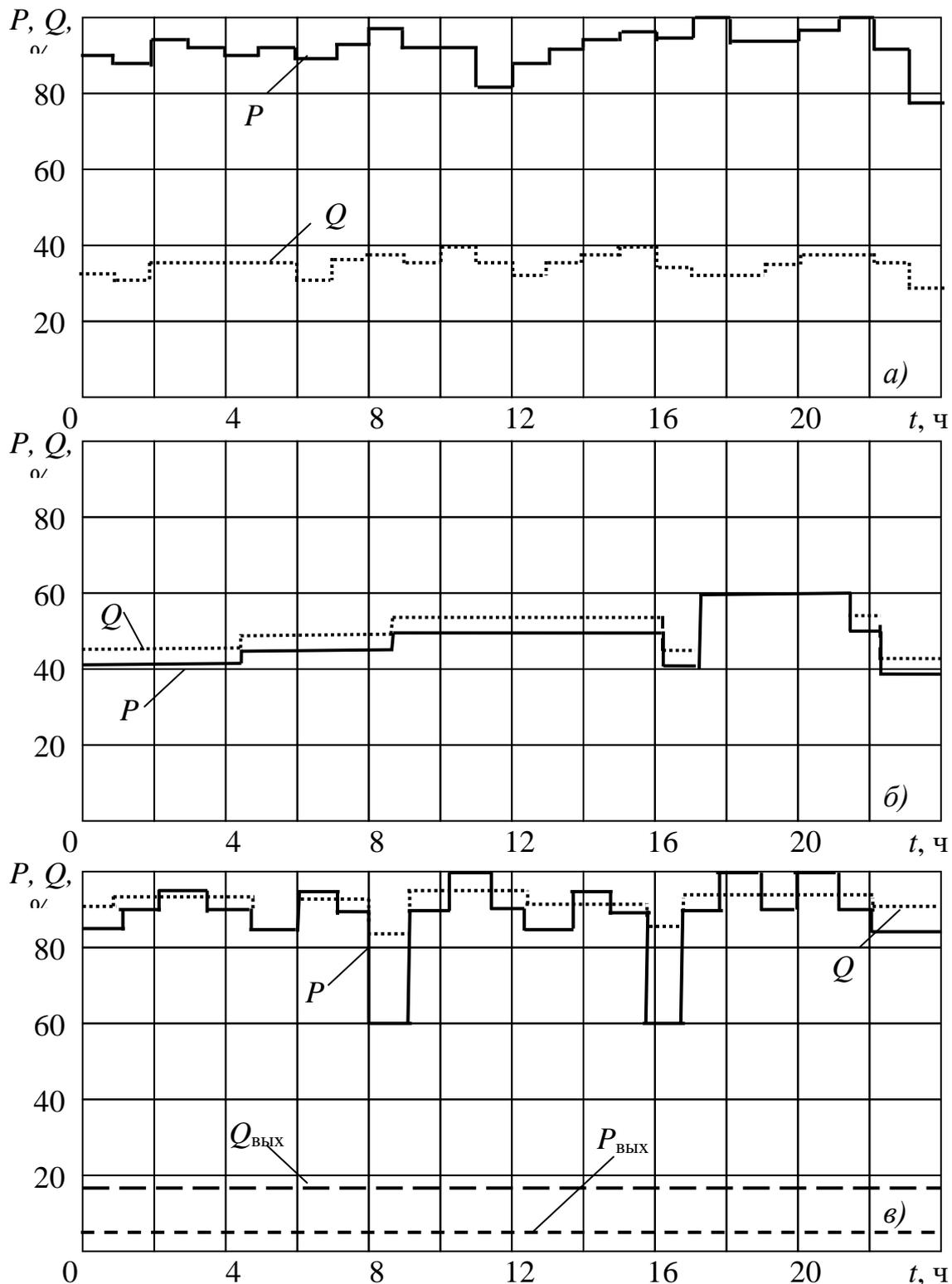
Различают графики активных и реактивных нагрузок. По продолжительности графики нагрузки делятся на сменные, суточные и годовые.

В условиях эксплуатации изменения нагрузки по активной и реактивной мощности во времени представляют в виде ступенчатой кривой по показаниям счетчиков активной и реактивной электроэнергии, снятым через одинаковые определенные интервалы времени (30 или 60 мин.).

Знание графиков нагрузки позволяет определять величину сечений проводов и жил кабелей, оценивать потери напряжения, выбирать мощности генераторов электростанций, рассчитывать системы электроснабжения проектируемых предприятий, решать вопросы технико-экономического характера и многое другое.

Характерные суточные графики электрических нагрузок предприятий различных отраслей промышленности приведены на рис. 1.1.

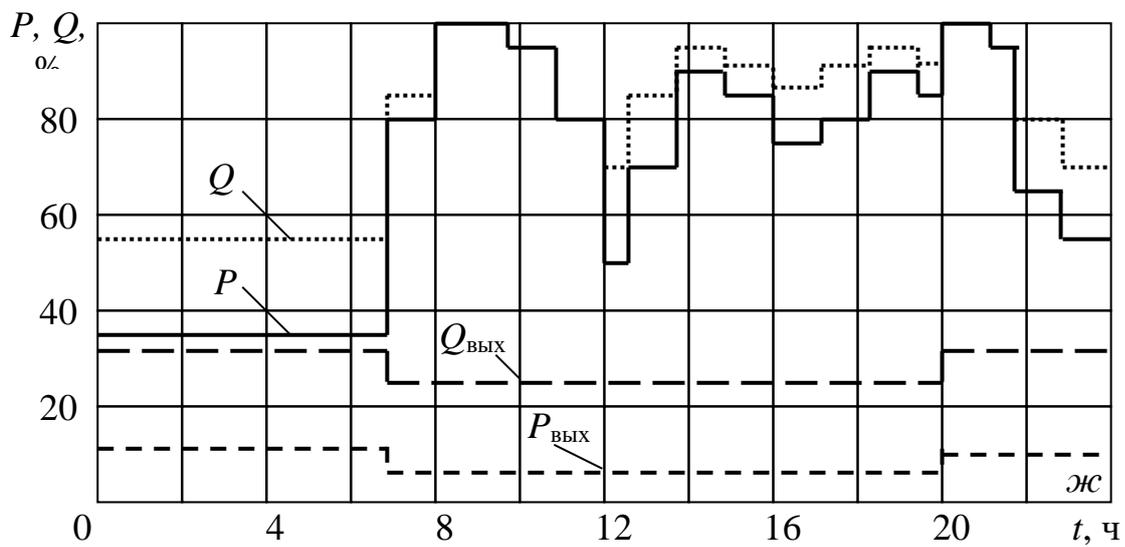
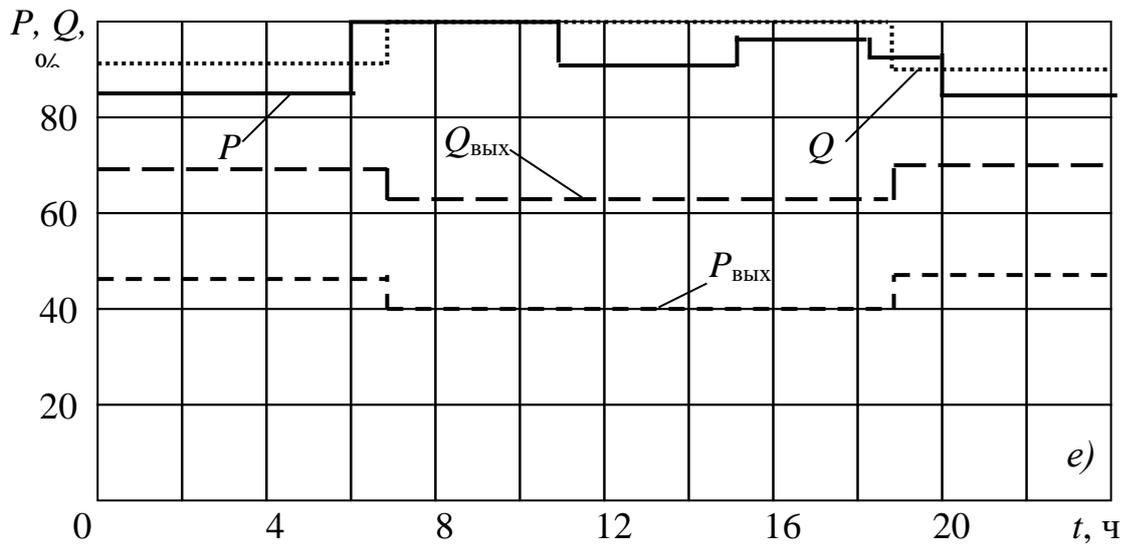
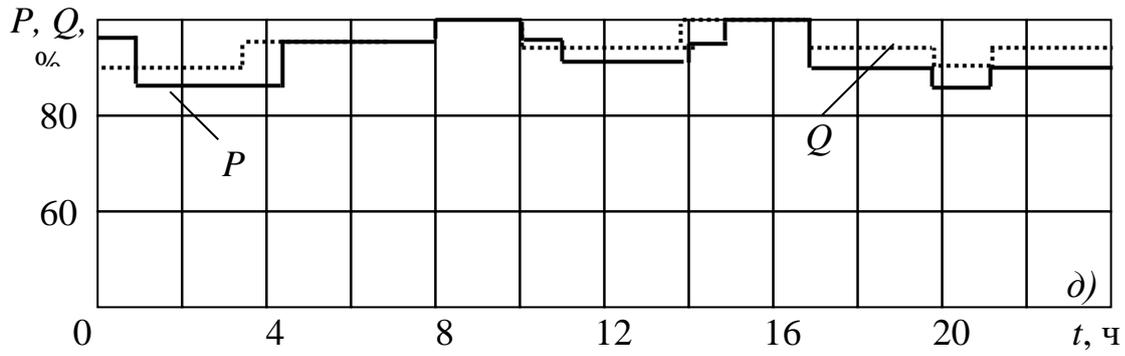
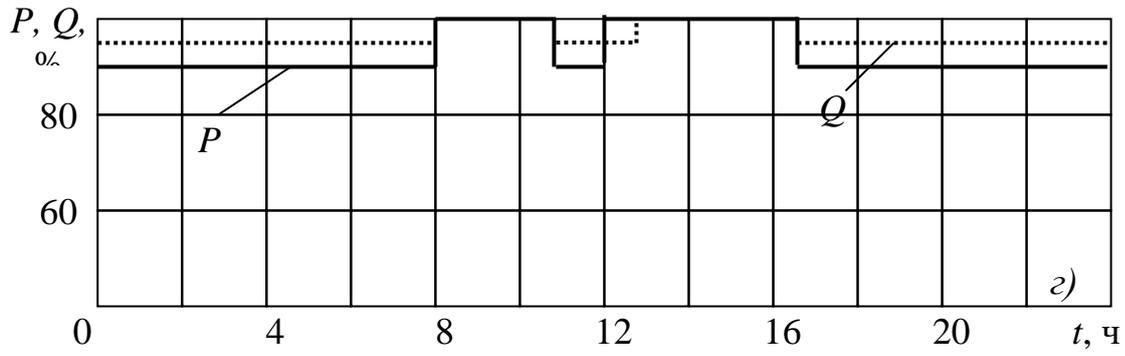
Рис. 1.2 иллюстрирует взаимосвязь между временем максимальных потерь и временем использования максимума нагрузки.

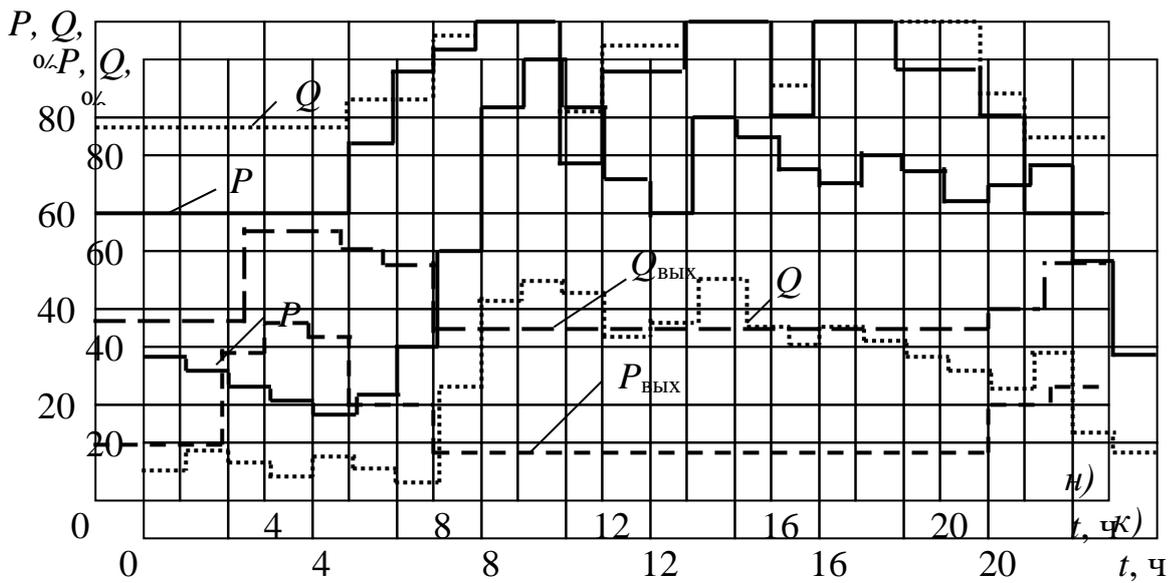
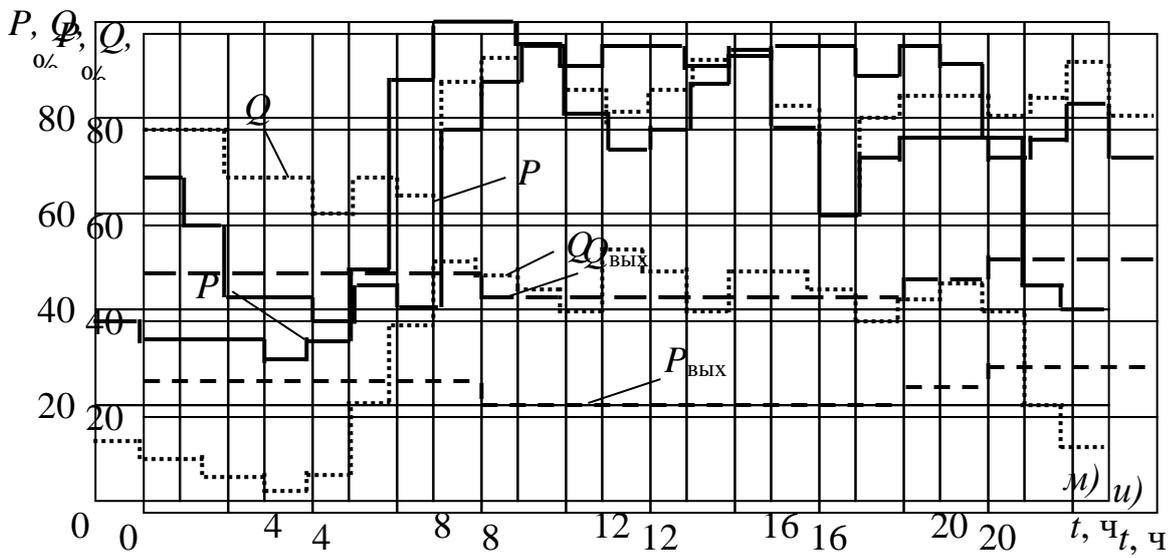
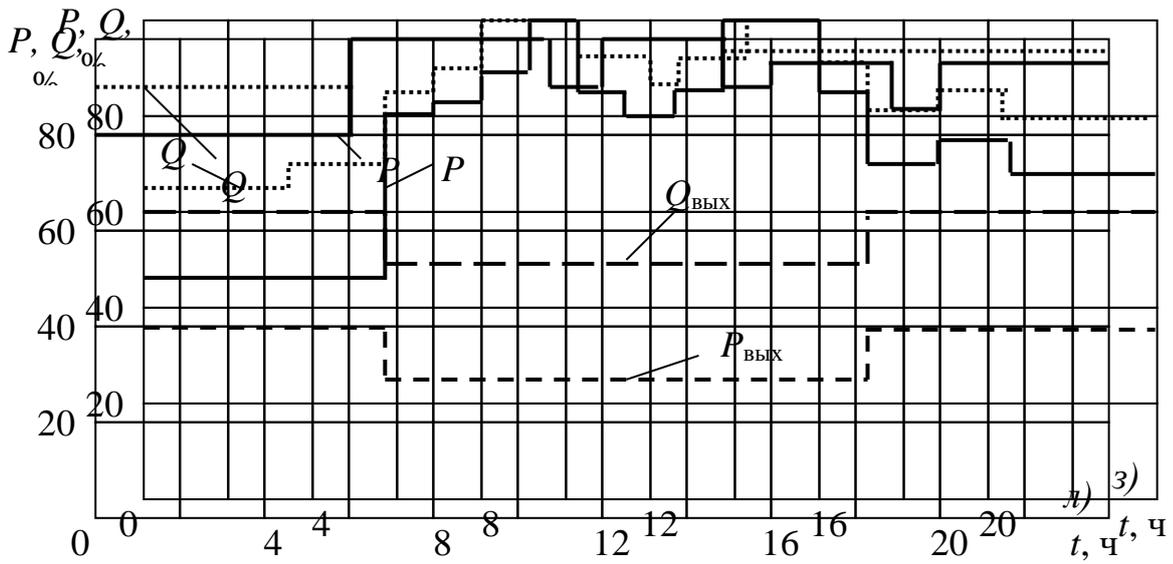


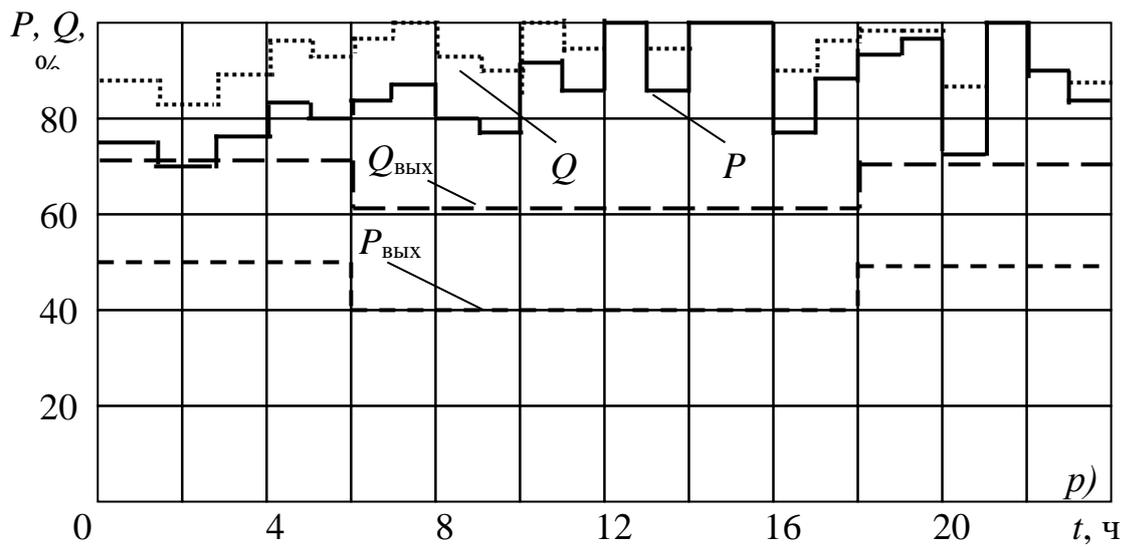
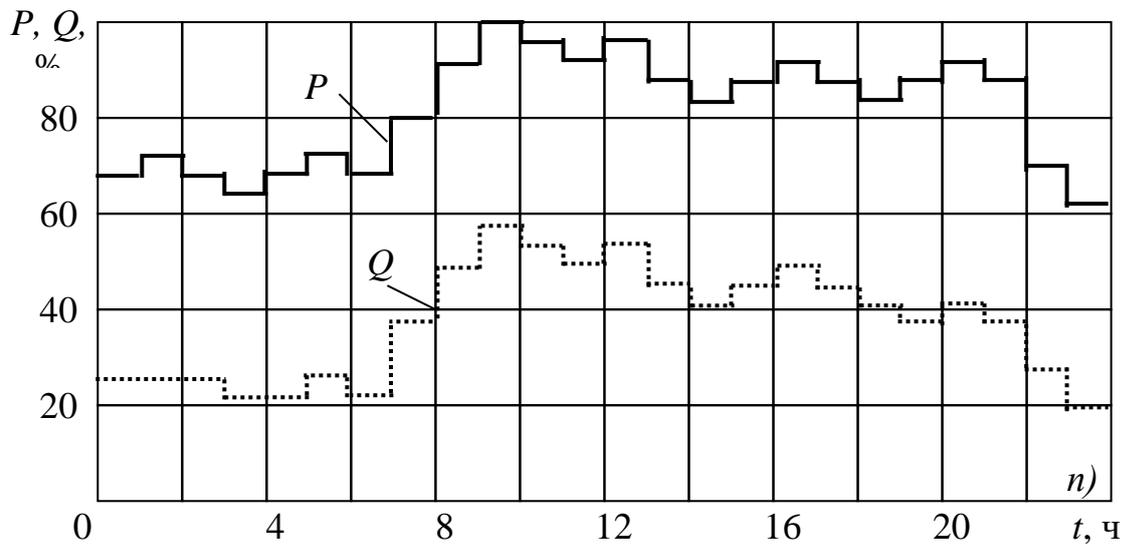
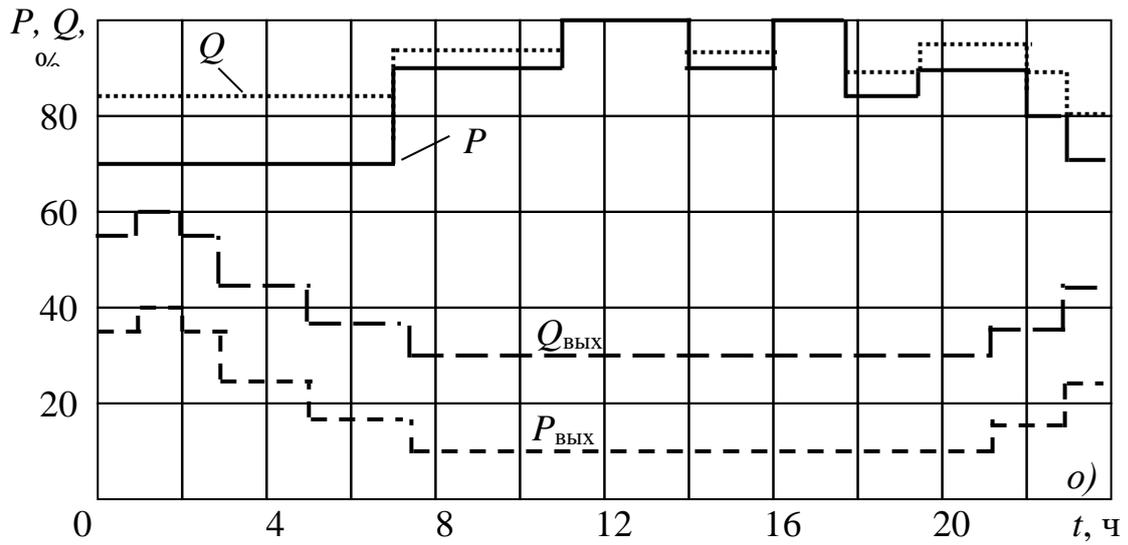
**Рис.1.1. Характерные суточные графики электрических нагрузок предприятий различных отраслей промышленности**

а – нефтепереработка; б – угледобыча; в – торфопереработка; г – цветной металлургии; д – химии; е – черной металлургии; ж – ремонтно-механических заводов; з – станкостроительных; и – автомобильных; к – деревообрабатывающей промышленности; л – целлюлозно-бумажной промышленности; м – легкой промышленности; н – прядильно-ткацких фабрик; о – печатных и отделочных фабрик; п – пищевой промышленности; р – тяжелого машиностроения

$P, Q$  – активная и реактивная нагрузка рабочего дня;  $P_{\text{вых}}, Q_{\text{вых}}$  – активная и реактивная нагрузка выходного дня







## 1.5. Показатели, характеризующие графики нагрузок

При расчетах нагрузок применяются некоторые безразмерные показатели графиков нагрузок, характеризующие режим работы приемников электроэнергии по мощности и во времени.

Таблица 1.12

**Показатели графиков электрических нагрузок по активной мощности**

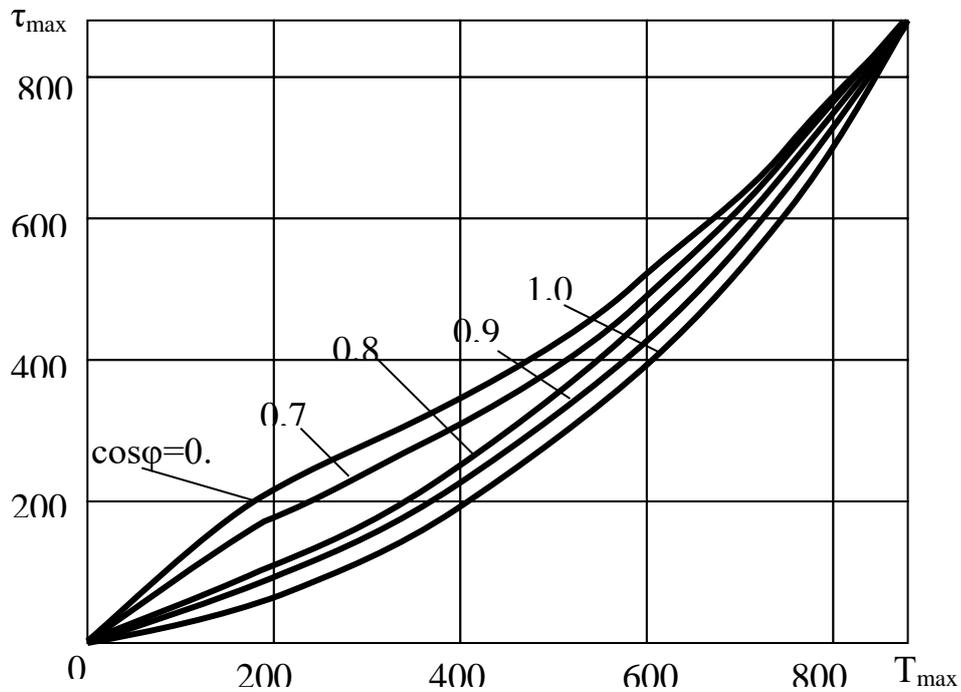
Коэффициент	Расчетные формулы показателей	
	Индивидуальные графики	Групповые графики
Использование $K_{и}$	$K_{и} = p_{см}/p_{ном}$ $K_{и} = K_{вкл} \cdot K_{загр}$	$K_{и} = \frac{P_{см}}{P_{ном}} = \frac{\sum_1^n K_{и} \cdot p_{ном}}{\sum_1^n p_{ном}}$ $K_{и} = K_{вкл} \cdot K_{загр}$
Включения, $K_{вкл}$	$K_{вкл} = \frac{t_{вкл}}{t_{ц}} = \frac{t_p + t_{хх}}{t_{ц}}$	$K_{вкл} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{вкл} \cdot p_{ном.i}}{\sum_{i=1}^n p_{ном.i}}$
Загрузки, $K_{загр}$	$K_{загр} = \frac{P_{с.вкл}}{P_{ном}} = \frac{K_{и}}{K_{вкл}}$	$K_{загр} = \frac{K_{и}}{K_{вкл}}$
Формы графика нагрузки, $K_{ф}$	$K_{ф} = \frac{P_{ск}}{P_{см}}$	$K_{ф} = \frac{P_{ск}}{P_{см}}$ $P_{ск} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}}$ <p>, где <math>P_1, P_2, \dots, P_n</math> – средняя нагрузка на интервалах времени между замерами показаний приборов; <math>t_1, t_2, \dots, t_n</math> – временные интервалы между замерами.</p>
Максимум, $K_{м}$	-	$K_{м} = \frac{P_p}{P_{см}}$ $K_{м} = f(n_{эф}, K_{и}) - \text{определяют по табл.1.8}$
Спроса, $K_{с}$	-	$K_{с} = \frac{P_p}{P_{ном}}$ $K_{с} = K_{и} K_{м}$
Заполнения графика нагрузки, $K_{з.г}$	-	$K_{з.г} = \frac{P_{см}}{P_p} = \frac{1}{K_{м}}$

Разновременности максимумов нагрузки (для трансформаторов ГПП см. табл. 1.13)	-	$K_{p.m} = \frac{P_p}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}$ $K_{p.m} = 0,85 \div 1,0$
---	---	---

Таблица 1.13

**Значения коэффициентов разновременности на шинах (6-10 кВ) трансформаторов ГПП**

Коэффициент разновременности $K_{p.m}$ .		
при $K_n \leq 0,3$	$0,3 < K_n < 0,5$	при $K_n \geq 0,5$
0.75	0.8	0.85



**Рис. 1.2. Зависимость времени максимальных потерь  $\tau_{max}$  от продолжительности использования максимума нагрузки  $T_{max}$  и  $\cos \varphi$**

## 2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

### 2.1 Исходные данные для выполнения расчетов

Обстоятельное изучение электрических нагрузок в сельском хозяйстве, промышленности - сложная самостоятельная задача. Для наиболее часто распространенных производственных электроприемников показатели нагрузки определены на основе многолетних экспериментальных исследований.

В данном разделе приводится таблица нагрузок трансформаторных подстанций.

### 2.2. Определение места расположения трансформаторной подстанции. Выбор конфигурации сети 0,38 кВ. Определение координат центра электрических нагрузок

Потребительские трансформаторные подстанции следует располагать в центре электрических нагрузок. Если нет возможности установить трансформаторную подстанцию в расчетном месте, то ее необходимо установить в том месте, которое максимально приближено к центру электрических нагрузок [9, 10, 20, 21, 22].

Координаты центра электрических нагрузок определяются по формулам:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n S_i x_i}{\sum_{i=1}^n S_i}; \quad (2.1)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n S_i y_i}{\sum_{i=1}^n S_i}. \quad (2.2)$$

где  $S_i$  – расчетная мощность на вводе  $i$ -го потребителя, кВА;  
 $x_i, y_i$  - координаты  $i$ -го потребителя.

## 2.3 Определение электрических нагрузок сети 0,38 кВ

Определение нагрузок производится для каждого участка сети. Если расчетные нагрузки отличаются по величине не более чем в четыре раза, то их суммирование ведется методом коэффициента одновременности, в противном случае суммирование нагрузок ведется методом надбавок по формулам:

$$P_p = P_{\max} + \Delta P_i, \quad (2.3)$$

$$Q_p = Q_{\max} + \Delta Q_i \quad (2.4)$$

где  $P_{\max}$ ,  $Q_{\max}$  – наибольшие из суммируемых нагрузок, кВт, квар;  
 $\Delta P_i$ ,  $\Delta Q_i$  – надбавки от  $i$ -х нагрузок, кВт, квар.

Результат оформляется в таблицу 2.1.

**Таблица 2.1 – Данные по потреблению электроэнергии  
в дневные и вечерние максимумы**

Участок сети	$P_d$ , кВт	$Q_d$ , квар	$S_d$ , кВА	$P_b$ , кВт	$Q_b$ , квар	$S_b$ , кВА

Суммирование нагрузок на ТП ведется методом надбавок или коэффициента одновременности аналогично, и результаты расчетов заносятся в таблицу 2.2.

**Таблица 2.2 – Суммирование нагрузок для трансформаторных подстанций**

Номер ТП	$P_d$ , кВт	$Q_d$ , квар	$S_d$ , кВА	$P_b$ , кВт	$Q_b$ , квар	$S_b$ , кВА

## 2.4 Определение числа и мощности трансформаторов на подстанции

Для потребителей II и III категории в зависимости от величины расчетной нагрузки могут применяться трансформаторные подстанции с одним или двумя трансформаторами. Для питания электрической энергией потребителей I категории необходимо применять трансформаторные подстанции с двумя трансформаторами или однострансформаторные подстанции с резервированием дизельными электростанциями. С учетом перспективы развития выбирается коэффициент роста нагрузок трансформаторной подстанции.

Расчетная нагрузка с учетом перспективы развития определяется по формуле

$$S_p = k_p \cdot S_\Sigma, \quad (2.5)$$

где  $k_p$  – коэффициент роста нагрузок.

Мощность трансформатора выбирается исходя из условия

$$S_{\text{э.н}} \leq S_p \leq S_{\text{э.в}}, \quad (2.6)$$

где  $S_{\text{э.н}}$  – нижний экономический интервал;

$S_{\text{э.в}}$  – верхний экономический интервал.

Выбранный трансформатор проверяется по коэффициенту систематических перегрузок согласно.

$$k_{\text{сн}} = \frac{S_p}{S_{\text{мп}}}. \quad (2.7)$$

Технические данные выбранного трансформатора заносятся в таблицу 2.3.

**Таблица 2.3 – Технические данные трансформатора**

Тип	Номинальная мощность	Сочетание напряжений, кВ		Потери, кВт		Напряжение к.з. %	Ток х.х., %	Схема соединений
		В.Н.	Н.Н.	х.х.	к.з.			

## 2.5 Выбор типа подстанции

Необходимо обосновать выбор типа трансформаторной подстанции (КТП, мачтовая ТП и т.д.) и привести ее схему электрическую принципиальную. В случае использования однитрансформаторной подстанции, при наличии потребителей I категории, необходимо произвести выбор автономного источника питания.

## 2.6 Определение места расположения распределительной подстанции. Конфигурация сети высокого напряжения и определение величины высокого напряжения

Распределительные, как и потребительские трансформаторные подстанции следует располагать в месте, которое максимально приближено центру электрических нагрузок.

Оптимальное напряжение определяется по формуле

$$U_{\text{опт}} = 4,34 \sqrt{L_{\text{эк}} + 16P_l \cdot 10^{-3}}, \quad (2.8)$$

где  $L_{\text{эк}}$  – эквивалентная длина линии, км;

$P_l$  – расчетная мощность на головном участке, кВт.

Эквивалентная длина участка определяется по формуле

$$L_{\text{эк}} = L_l + \sum_{i=1}^n L_i \cdot \frac{P_i}{P_l}, \quad (2.9)$$

где  $L_i$  – длина  $i$ -го участка линии, км;

$P_i$  – мощность  $i$ -го участка линии, кВт.

## 2.7 Определение нагрузок в сети высокого напряжения

Нагрузки определяются для каждого участка сети. Если расчетные нагрузки отличаются по величине не более чем в четыре раза, то их суммирование ведется методом коэффициента одновременности по формулам:

$$P_p = k_0 \sum_{i=1}^n P_i, \quad (2.10)$$

$$Q_p = k_0 \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (2.11)$$

где  $k_0$  – коэффициент одновременности.

В противном случае суммирование нагрузок ведется методом надбавок по формулам:

$$P_p = P_{\text{max}} + \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (2.12)$$

$$Q_p = Q_{\text{max}} + \sum_{i=1}^n \Delta Q_i, \quad (2.13)$$

где  $P_{\text{max}}$ ,  $Q_{\text{max}}$  – наибольшие из суммируемых нагрузок, кВт, квар,  $\Delta P_i$ ;  $\Delta Q_i$  – надбавки от  $i$ -х нагрузок, кВт, квар.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 2.4.

**Таблица 2.4 – Суммирование нагрузок для трансформаторных подстанций**

Номер участка	$P_d$ , кВт	$Q_d$ , квар	$S_d$ , кВА	$P_v$ , кВт	$Q_v$ , квар	$S_v$ , кВА

## 2.8 Расчет сечения проводов сети высокого напряжения

Расчет сечения проводов сети высокого напряжения производится по экономической плотности тока

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (2.14)$$

где  $I_p$  – расчетный ток участка сети, А;

$j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup> [14]

Максимальный ток участка линии высокого напряжения определяется по формуле

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}, \quad (2.15)$$

где  $S_p$  – полная расчетная мощность, кВА;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, кВ.

Расчет сечения проводов сводится в таблицу 2.5.

**Таблица 2.5 – Результаты расчета сечения проводов участков сети**

Участок сети	$S_p$ , кВА	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А	$T_m$ , час	$j_{\text{эк}}$ , А/мм <sup>2</sup>	$F_{\text{эк}}$ , мм <sup>2</sup>	Марка провода

## 2.9 Определение потерь напряжения в высоковольтной сети и трансформаторе

Потери напряжения на участках линии высокого напряжения в вольтах определяются по формуле

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 + Q \cdot x_0}{U_{\text{ном}}} \cdot L, \quad (2.16)$$

где  $P$  – активная мощность участка, кВт;

$Q$  – реактивная мощность участка, квар;

$r_0$  – удельное активное сопротивление провода, Ом/км;

$x_0$  – удельное реактивное сопротивление провода, Ом/км;

$L$  – длина участка, км.

Потеря напряжения на участке сети на участке сети высокого напряжения в процентах от номинального, определяется по формуле

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (2.17)$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 4.6.

**Таблица 2.6 – Результаты расчета потерь напряжения участков высоковольтной сети**

Участок сети	Марка провода	$P$ , кВт	$r_0$ , Ом/км	$Q$ , квар	$x_0$ , Ом/км	$L$ , км	$\Delta U$ , В	$\Delta U$ , %

Потери напряжения в трансформаторе определяются по формуле,

$$\Delta U = \frac{S_{\max}}{S_{\text{тр}}} \cdot (U_a \% \cdot \cos \varphi + U_p \% \cdot \sin \varphi) \quad (2.18)$$

где  $S_{\max}$  – расчетная мощность, кВА;

$S_{mp}$  – мощность трансформатора, кВА;

$U_a$  – активная составляющая напряжения короткого замыкания, %;

$U_p$  – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания, %.

активная составляющая напряжения короткого замыкания определяется по формуле

$$U_a = \frac{\Delta P_{к.з}}{S_{mp}} \cdot 100\% \quad (2.19)$$

где  $\Delta P_{к.з}$  – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт.

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания определяется по формуле

$$U_p^2 \% = \sqrt{U_{к.з}^2 \% - U_a^2 \%}$$

где  $U_{к.з}$  – напряжение короткого замыкания, %.

Коэффициент мощности определяется по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} \quad (2.20)$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность, кВт;

$S_p$  – расчетная полная мощность, кВА.

## 2.10 Определение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения и трансформаторе

Правильный выбор электрооборудования, определение рациональных режимов его работы, выбор самого экономичного способа повышения коэффициента мощности дают возможность снизить потери мощности и энергии в сети и тем самым определить наиболее экономичный режим в процессе эксплуатации.

Потери мощности в линии определяются по формуле

$$\Delta P = 3I^2 \cdot r_0 \cdot L \cdot 10^{-3} \quad (2.21)$$

где  $I$  – расчетный ток участка, А;

$r_0$  – удельное активное сопротивление участка, Ом/км;

$L$  – длина участка, км.

Энергия, теряемая на участке линии, определяется по формуле,

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau \quad (2.22)$$

где  $\tau$  – время потерь, час.

Время потерь определяется по формуле

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \quad (2.23)$$

где  $T_m$  – число часов использования максимума нагрузки, час.

Результаты расчетов заносятся в таблицу 2.7.

**Таблица 2.7 – Результаты расчета потерь мощности и энергии сети высокого напряжения**

Участок сети	I, А	$r_0$ , Ом/км	L, км	$\Delta P$ , кВт	$T_m$ , час	$\tau$ , час	$\Delta W$ , кВтч

Потери мощности и энергии, теряемые в высоковольтных линиях, в процентах от потребляемой, определяются по формулам:

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P}{P_{\text{онт}}} \cdot 100\% \quad (2.24)$$

$$\Delta W\% = \frac{\Delta W}{P_{\text{онт}} \cdot T_m} \cdot 100\% \quad (2.25)$$

Потери мощности и энергии в высоковольтной сети не должны превышать 10%.

Потери мощности в трансформаторе определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{x.x}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з}} \quad (2.26)$$

где  $\Delta P_{\text{x.x}}$  – потери холостого хода трансформатора, кВт;

$\Delta P_{\text{к.з}}$  – потери в меди трансформатора, кВт;

$\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора.

Потери энергии в трансформаторе определяются по формуле

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{x.x}} \cdot 8760 + \beta^2 \Delta P_{\text{к.з}} \cdot \tau \quad (2.27)$$

## 2.11 Определение допустимой потери напряжения в сети 0,38 кВ

Допустимая потеря напряжения в сети 0,38 кВ определяется для правильного выбора сечения проводов линии.

В режиме минимальной нагрузки проверяется отклонение напряжения у ближайшего потребителя, которое не должно превышать +5%. В максимальном режиме отклонение напряжения у наиболее удаленного потребителя должно быть не более минус 5%. На районной подстанции осуществляется режим встречного регулирования  $\delta U^{100} = 6\%$ ;  $\delta U^{25} = 2\%$ .

В минимальном режиме определяется регулируемая надбавка трансформатора.

$$V_{\text{рез}} \leq 5 - \delta U_{\text{ш}}^{25} + \Delta U_{\text{Л35}}^{25} + \Delta U_{\text{тр}}^{25} - V_{\text{к}} \quad (2.28)$$

где  $\delta U_{\text{ш}}^{25}$  – надбавка на шинах РТП в минимальном режиме, %;

$\Delta U_{\text{Л35}}^{25}$  – потеря напряжения в линии 35 кВ в минимальном режиме, %;

$\Delta U_{mp}^{25}$  – потеря напряжения в трансформаторе в минимальном режиме, %;

$V_n$  – конструктивная надбавка трансформатора, %.

Допустимая потеря напряжения в линии 0,38 кВ в максимальном режиме определяется по формуле

$$\Delta U_{дон} = \delta U_{ш}^{100} - \Delta U_{Л35}^{100} - \Delta U_{mp}^{100} + V_k + V_{рег} - (-5). \quad (2.29)$$

## 2.12 Определение сечения проводов и фактических потерь напряжения, мощности и энергии в сетях 0,38 кВ

Сечения проводов ВЛ-0,38 кВ [11] определяются по экономическим интервалам, или по допустимой потере напряжения по формулам, соответствующим конфигурации сети.

Сечения проводов магистрали по допустимой потере напряжения определяются по формуле

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n P_i L_i}{\gamma \cdot \Delta U_{дон.а} \cdot U_{ном}}, \quad (2.30)$$

где  $\gamma$  – удельная проводимость провода, (для алюминия  $\gamma = 32 \text{ Ом} \cdot \text{м} / \text{мм}^2$ );

$\Delta U_{дон.а}$  – активная составляющая допустимой потери напряжения, В;

$P_i$  – активная мощность  $i$ -го участка сети, Вт;

$L_i$  – длина  $i$ -го участка сети, м;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение сети, В.

Активная составляющая допустимой потери напряжения определяется по формуле

$$\Delta U_{дон.а} = \Delta U_{дон} - \Delta U_p, \quad (2.31)$$

где  $\Delta U_p$  – реактивная составляющая допустимой потери напряжения, В.

Реактивная составляющая допустимой потери напряжения определяется по формуле

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_{ном}} \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot L_i, \quad (2.32)$$

где  $Q_i$  – реактивная мощность  $i$ -го участка сети, квар;

$L_i$  – длина  $i$ -го участка сети, км;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление провода, Ом/км;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение, кВ.

Участки принимаются для последовательной цепи от источника до расчетной точки.

Для повышения пропускной способности линии и уменьшения сечения проводов у потребителей, имеющих большую реактивную мощность (25 квар и более), устанавливается поперечная емкостная компенсация. Мощность конденсаторной батареи определяется по формуле

$$Q_{к.у} = P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_{opt}), \quad (2.33)$$

где  $P_p$  – расчетная мощность кВт;

$tg \varphi$  – коэффициент реактивной мощности до компенсации;

$tg \varphi_{opt}$  – оптимальный коэффициент реактивной мощности.

Расчетная реактивная мощность после установки поперечной компенсации определяется по формуле

$$Q_p = Q_{p.док} - Q_{к.у}, \quad (2.34)$$

$Q_{p.док}$  – расчетная реактивная мощность до компенсации.

При этом фактические потери напряжения определяются, по формуле

$$\Delta U_{фак} = \frac{P_p \cdot r_0 + Q_p \cdot x_0}{U_{ном}} \cdot L. \quad (2.35)$$

Для компенсации потери напряжения в линии устанавливаются последовательно включенные конденсаторы. По формуле (2.41) определяется фактическая потеря напряжения в линии с принятым сечением провода.

Необходимая мощность конденсаторов определяется по формуле

$$Q_c = K \cdot S, \quad (2.36)$$

где  $S$  – максимальная мощность электроприемников, подключенных к линии в месте установки конденсаторов;

$K$  – коэффициент, определяемый по формуле,

$$K = \sin \sqrt{\frac{1}{(1 - U_c^*)^2} - \cos^2 \varphi}, \quad (2.37)$$

где  $U_c^*$  – требуемая надбавка напряжения выражается в относительных единицах к напряжению сети;

$\varphi$  – угол сдвига фаз нагрузки в максимальном режиме;

$$U_c^* = \frac{U_{фак} - U_{доп}}{U_{ном}}, \quad (2.38)$$

где  $U_{фак}$  – фактическое напряжение на участке компенсации.

Для подбора конденсаторов необходимо определить их реактивное сопротивление,

$$x_c = \frac{Q_c}{3 \cdot I^2}, \quad (2.39)$$

где  $I$  – ток, проходящий через конденсаторы, А, определяется по формуле

$$I = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{ном}}. \quad (2.40)$$

Фактические потери напряжения после установки продольной компенсации определяются по формуле

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot r_0 \cdot L + Q_p \cdot (x_0 \cdot L - x_c)}{U_{ном}} \quad (2.41)$$

Допустимую потерю напряжения можно определять по таблице 2.8.

**Таблица 2.8 – Допустимое отклонение напряжения**

Элемент сети	Отклонение напряжения, %	
	при 100% нагрузке	при 25% нагрузке
Шины 35 кВ		
Линия 35 кВ		
Трансформатор 35/0,4 кВ: - потери напряжения - надбавка конструктивная - надбавка регулируемая		
Линия 0,38 кВ		
Потребитель		
Допустимое отклонение напряжения	-5	+5

Потери мощности и энергии в линиях 0,38 кВ определяются аналогично потерям мощности и энергии в высоковольтной линии, результаты расчетов заносятся в таблицу 2.9.

**Таблица 2.9 – Потери мощности и энергии в сетях 0,38 кВ**

Участок сети	S, кВт	P, кВт	I, А	r <sub>0</sub> , Ом/км	L, км	ΔP, кВт	T <sub>м</sub> , час	τ, час	ΔW, кВтч
Итого									

### 2.13 Расчет сети по потере напряжения при пуске электродвигателя

Когда в сети работают короткозамкнутые асинхронные электродвигатели большой мощности, то после того, как сеть рассчитана по допустимым отклонениям напряжения, ее проверяют на кратковременные колебания напряжения при пуске электродвигателей. Известно, что пусковой ток асинхронного короткозамкнутого электродвигателя в 4...7 раз больше его номинального значения. Вследствие этого, потеря напряжения в сети при пуске может в несколько раз превышать допустимую потерю

напряжения на двигателе, что будет значительно ниже, чем в обычном режиме.

Однако в большинстве случаев электродвигатели запускают не слишком часто (несколько раз в час), продолжительность разбега двигателя невелика – до 10 с.

При пуске электродвигателей допускаются значительно большие понижения напряжения, чем при нормальной работе. Требуется только, чтобы пусковой момент двигателя был достаточен для преодоления момента сопротивления и, следовательно, двигатель мог нормально развернуться.

Допустимое отклонение напряжения на зажимах двигателя определяется по формуле,

$$\delta U_{\text{дон.д}} = - \left( 1 - \sqrt{\frac{\lambda_{\text{тр}} + 0,25}{\lambda_{\text{пуск}}}} \right) \cdot 100\% \quad (2.42)$$

Параметры сети от подстанции до места установки электродвигателя определяются по формулам:

$$r_{\text{л}} = r_0 \cdot L, \quad (2.43)$$

$$x_{\text{л}} = x_0 \cdot L \quad (2.44)$$

Фактическое отклонение напряжения на зажимах электродвигателя определяется по формуле

$$\delta U_{\text{д.пус.ф}} = \delta U_{\text{д.д.пуск}} - \Delta U_{\text{тр.пуск}} + \Delta U_{\text{Л0,38пуск}}, \quad (2.45)$$

где  $\delta U_{\text{д.д.пуск}}$  – отклонение напряжения на зажимах электродвигателя до пуска, %;

$\Delta U_{\text{тр.пуск}}$  – потери напряжения в трансформаторе при пуске электродвигателя, %;

$\Delta U_{\text{Л0,38пуск}}$  – потери напряжения в линии 0,38 кВ при пуске электродвигателя, %.

Потеря напряжения в трансформаторе при пуске электродвигателя определяется по формуле

$$\Delta U_{\text{тр.пуск}} = \frac{P_{\text{д.пуск}} \cdot (U_{\text{а}} \% + U_{\text{р}} \% \cdot \text{tg} \varphi_{\text{пуск}})}{S_{\text{ном}}} \quad (2.46)$$

Мощность двигателя при пуске определяется по формуле

$$P_{\text{д.пуск}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot K_1 \cdot \cos \varphi_{\text{пуск}} \cdot \left( \frac{\lambda_{\text{тр}} + 0,25}{\lambda_{\text{пуск}}} \right)}{\eta_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}}, \quad (2.47)$$

где  $K$  – кратность пускового тока.

Коэффициент реактивной мощности при пуске определяется по формуле

$$\text{tg} \varphi_{\text{пуск}} = \frac{X_{\text{к.л}}}{R_{\text{к.л}}} \quad (2.48)$$

Потеря напряжения в линии 0,38 кВ при пуске определяется

$$\Delta U_{л0,38пуск} = \frac{P_{д.пуск} \cdot 10^3 \cdot (r_l + x_l \cdot \operatorname{tg} \varphi_{пуск})}{U_{ном}^2} \cdot 100\% \quad (2.49)$$

Заключением об успешности пуска электродвигателя является условие

$$\delta U_{доп.д} > \delta U_{д.пуск.факт} \quad (2.50)$$

## 2.14 Определение конструктивных параметров высоковольтной и низковольтной линий

В данном разделе необходимо выбрать тип опор для высоковольтной и низковольтной линий, пролет между опорами, марки изоляторов и расстояние между фазами.

## 2.15 Расчет токов короткого замыкания

По электрической сети и электрооборудованию в нормальном режиме работы протекают токи, допустимые для данной установки. При нарушении электрической плотности изоляции проводов или оборудования в электрической сети внезапно возникает аварийный режим короткого замыкания, вызывающий резкое увеличение токов, которые достигают огромных значений.

Значительные по величине токи короткого замыкания представляют большую опасность для элементов электрической сети и оборудования, так как они вызывают чрезмерный нагрев токоведущих частей и создают большие механические усилия. При выборе оборудования необходимо учесть эти два фактора для конкретной точки сети. Для расчета и согласования релейной защиты также требуются токи короткого замыкания.

Для расчетов токов короткого замыкания составляется расчетная схема и схема замещения.

### Расчет токов короткого замыкания в высоковольтной сети

Токи короткого замыкания в высоковольтной сети определяются в следующих точках: на шинах распределительной подстанции, на шинах высокого напряжения наиболее удаленной ТП и на шинах высокого напряжения расчетной ТП-№.

Токи короткого замыкания определяются методом относительных базисных или именованных величин. За основное напряжение принимается напряжение, равное  $U_{осн} = 1,05U_{ном}$ .

Ток трехфазного короткого замыкания определяется по формуле

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{осн}}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (2.51)$$

где  $Z$  – полное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом.

$$Z = \sqrt{(\sum x_{л} + x_{сист})^2 + (\sum r_{л})^2}, \quad (2.52)$$

где  $\sum r_{л}$  – активное сопротивление провода до точки короткого замыкания, Ом;

$\sum x_{л}$  – реактивное сопротивление провода до точки короткого замыкания, Ом;

$\sum x_{сист}$  – реактивное сопротивление системы, Ом.

$$x_{сист} = \frac{U_{осн}^2}{S_{\kappa}}, \quad (2.53)$$

где  $S_{\kappa}$  – мощность короткого замыкания на шинах высоковольтного напряжения, мВА.

Ток двухфазного короткого замыкания определяется по формуле

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (2.54)$$

Ударный ток определяется по формуле,

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (2.55)$$

где  $\kappa_{y\partial}$  – ударный коэффициент, который определяется по формуле

$$\kappa_{y\partial} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} \quad (2.56)$$

где  $T_a$  – постоянная времени затухания определяется по формуле

$$T_a = \frac{\sum x}{\omega \cdot \sum r}. \quad (2.57)$$

## Расчет токов короткого замыкания в сети 0,38кВ

Токи короткого замыкания в сети 0,38 кВ определяются в следующих точках: на шинах 0,4 кВ ТП-№ и в конце каждой отходящей линии.

За основное напряжение принимается напряжение, равное  $U_{осн} = 1,05U_{ном}$ . Ток трехфазного короткого замыкания определяется по формуле, приведенной выше. Полное сопротивление участка сети определяется по формуле

$$z = \sqrt{(x_{mp} + x_l)^2 + (r_{mp} + r_l)^2}, \quad (2.58)$$

где  $x_{mp}$  – реактивное сопротивление трансформатора, Ом;

$r_{mp}$  – активное сопротивление трансформатора, Ом.

Реактивное сопротивление трансформатора определяется по формуле

$$x_{mp} = \frac{U_{к.р. \%} \cdot U_{осн}^2}{100 \cdot S_{ном}} \cdot 10^3, \quad (2.59)$$

где  $U_{к.р. \%}$  – реактивная составляющая тока короткого замыкания, %;  
 $S_{ном}$  – мощность трансформатора 35/0,4 кВА.

Активное сопротивление трансформатора определяется по формуле

$$r_{mp} = \frac{U_{к.а. \%} \cdot U_{осн}^2}{100 \cdot S_{ном}} \cdot 10^3, \quad (2.60)$$

где  $U_{к.а. \%}$  – активная составляющая тока короткого замыкания, %.

Ток однофазного короткого замыкания определяется по формуле

$$I_k^{(1)} = \frac{1,05 \cdot U_\phi}{z_n + \frac{z_{mp}}{3}}, \quad (2.61)$$

где  $\frac{z_{mp}}{3}$  – полное сопротивление трансформатора току короткого замыкания на корпус, Ом;

$z_n$  – полное сопротивление петли фазного и нулевого провода, Ом.

$$z_n = \sqrt{(r_\phi + r_N)^2 + (x_\phi + x_N)^2} \quad (2.62)$$

где  $r_\phi$  – активное сопротивление фазного провода, Ом;

$r_N$  – активное сопротивление нулевого провода, Ом;

$x_\phi$  – реактивное сопротивление фазного провода, Ом;

$x_N$  – реактивное сопротивление нулевого провода, Ом.

Результаты расчетов токов короткого замыкания заносятся в таблицу 2.10.

**Таблица 2.10 – Результаты расчета токов короткого замыкания**

Точка к.з.	$r_{л}, \text{Ом}$	$x_{л}, \text{Ом}$	$z, \text{Ом}$	$z_{п}, \text{Ом}$	$T_a$	$K_{уд}$	$I(3), \text{кА}$	$I(2), \text{кА}$	$I(1), \text{кА}$	$I_{уд}, \text{кА}$

## 2.16 Выбор и проверка аппаратуры высокого напряжения ячейки питающей линии

Выбирается место установки и тип коммутационных и защитных аппаратов.

Согласно ПУЭ электрические аппараты выбирают по роду установки, номинальному току и напряжению и проверяют на динамическую и термическую устойчивости.

Для выбора и проверки электрических аппаратов высокого напряжением целесообразно составить таблицу, куда вносятся исходные данные места установки аппарата и его каталожные данные.

**Таблица 2.11 – Сравнение исходных данных места установки, с параметрами выключателя (QF), разъединителя (QS), трансформатора тока (ТА)**

Исходные данные места установки	Параметры QF	Параметры QS	Параметры ТА
	Тип: ВМПШ-35	Тип: РЛДЗ-35/1000	Тип: ТПОЛ-35
$U_{ном}$			
$I_{ном}$			
$I_{к1}^{(3)}$			
$i_{уд}$			
$[I_{к1}^{(3)}]^2 \cdot t_k$			

## 2.17 Расчет уставок релейной защиты

Согласно ПУЭ на отходящих линиях высокого напряжения устанавливают максимальную токовую защиту и токовую отсечку, т.е. защиту I и III ступеней.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты определяется по условию отстройки от максимального рабочего тока линии

$$I_{с.з.}^{III} = \frac{K_{отс} \cdot K_{с.з.} \cdot I_p}{K_g}, \quad (2.63)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки;

$K_{с.з.}$  – коэффициент самозапуска,  $K_{с.з.} = 1,1$ ;

$K_g$  – коэффициент возврата.

Ток срабатывания реле определяется по формуле

$$I_{c.p.}^{III} = \frac{K_{cx} \cdot I_{c.з.}^{III}}{K_{m.m.}}, \quad (2.64)$$

где  $K_{cx}$  – коэффициент схемы (для неполной звезды  $K_{cx} = 20$ );  
 $K_{m.m.}$  – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания в конце защищаемой линии.

Значение коэффициента чувствительности в основной зоне должно быть не менее 1,5

$$K_q = \frac{I_{K2}^{(2)}}{I_{c.з.}^{III}}. \quad (2.65)$$

Токовая отсечка рассчитывается по максимальному значению тока короткого замыкания в конце защищаемой линии

$$I_{cp}^{(1)} = \frac{K_{omc} \cdot K_{cx} \cdot I_{K2}^{(3)}}{K_{m.m.}}. \quad (2.66)$$

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания в месте установки защиты. Коэффициент чувствительности для токовой отсечки должен быть не менее двух

$$K_q = \frac{I_{K1}^{(2)} \cdot K_{cx}}{I_{уст} \cdot K_{m.m.}}. \quad (2.67)$$

## 2.18 Выбор и проверка высоковольтной и низковольтной аппаратуры на подстанции

Разъединитель QS выбирается по тем же условиям, что и разъединитель питающей линии:

Тип \_\_\_\_\_;  
 номинальный ток \_\_\_\_\_ А;  
 номинальное напряжение \_\_\_\_\_ кВ;  
 амплитуда сквозного тока \_\_\_\_\_ кА;  
 ток термической стойкости \_\_\_\_\_ кА.

Для защиты трансформатора с высокой стороны устанавливаются предохранители FU1 - FU3. Ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию,

$$I_{ном.пл.вс} = \frac{2 \cdot S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (2.68)$$

Номинальный ток плавкой вставки округляется до ближайшего большего стандартного значения.

Шины 0,4 кВ подключаются к трансформатору через выключатель Q типа P2315 с номинальным током  $I_{ном} = \text{_____} \text{ А}$ .

Трансформаторы тока ТА1 – ТА3 типа ТК-20 для питания счетчика активной энергии.

Линия уличного освещения защищается предохранителем FU4, типа НПП-2 с номинальным током плавкой вставки  $I_{ном.пл.вст} = \text{---} A$ , управление уличным освещением осуществляется при помощи магнитного пускателя типа ПМЛ.

Выбор автоматических выключателей на отходящих линиях производится: исходя из следующих условий

$$1 \quad I_{ном.т.р.} \geq K_{с.з.} \cdot I_{расч}, \quad (2.69)$$

где  $K_{с.з.} = 1$ ,

$$2 \quad I_{пред} \geq I_{к.маx}^{(3)}, \quad (2.70)$$

$$3 \quad \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{эм.р}} \geq 1,25, \quad (2.71)$$

$$4 \quad \frac{I_{к.мин}^{(1)}}{I_{эм.р}} \geq 1,25 \quad (2.72)$$

При защите отходящих линий предохранителями должны соблюдаться следующие условия

$$1 \quad \frac{I_{к}^{(1)}}{I_{н.вс}} \geq 3, \quad (2.73)$$

$$2 \quad I_{н.вс.} \geq K_n \cdot I_{ном} \quad (2.74)$$

$K_n = 1$  – при постоянной нагрузке;

$K_n = 1,6 - 2,5$  – при наличии двигателей.

## 2.19 Согласование защит, карта селективности

Для согласования действия защит необходимо построить карту селективности, которая представляет собой построенные в координатах время-ток, графики зависимости времени срабатывания защитных аппаратов от тока, приведенного к одной ступени напряжения. Построение выполняется в логарифмическом масштабе.

Порядок построения

1 Наносится характеристика автоматического выключателя с максимальным током теплового расцепителя, приведенного к выбранной ступени напряжения, на карту селективности по точкам.

**Таблица 2.12 – К построению карты селективности**

t, с											
K											
I <sub>ср</sub> , А											
$I = I_{ср} \cdot K_{мп}$											

- 2 Далее наносится характеристика предохранителя ПК с номинальным током плавкой вставки по точкам.

**Таблица 2.13 – К построению карты селективности**

t, с						
I <sub>ср</sub> , А						

- 3 Откладывается ток трехфазного короткого замыкания на шинах 0,4 кВ расчетной ТП-№, приведенный к выбранной ступени напряжения, получается точка А, из которой видно, через какое время сработает предохранитель ПК после короткого замыкания на шинах 0,38 кВ в случае отказа автомата.

## 2.20 Выбор устройства защиты от перенапряжения

Выбираются и обосновываются устройства от перенапряжений на высокой и низкой стороне расчетной ТП-№.

## 2.21 Расчет контура заземления подстанции

Сопrotивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль трансформатора, должно быть не более 4 Ом при номинальном напряжении 380 В. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом заземлителей нулевого провода ВЛ-0,38 кВ при количестве отходящих линий не менее двух. При этом сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали трансформатора, т.е. на ТП, и сопротивление повторного заземлителя не должны быть более 30 Ом. Сопротивление заземлителей нулевого рабочего провода каждой ВЛ-0,38 кВ должно быть не более 10 Ом.

В сельских сетях в качестве заземлений рекомендуется применять угловую сталь. Сопротивление одного электрода из угловой стали, погруженного вертикально с вершиной на поверхности земли, определяется по формуле

$$R_c = \frac{0,366}{l_c} \cdot \rho \cdot \lg \frac{4 \cdot l_c}{0,95 \cdot b_{yz}}, \quad (2.75)$$

где  $b_{yz}$  – ширина полки уголка, м;

$\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$l_c$  – длина стержня, м.

Предварительное число стержней одиночного повторного заземления нулевого рабочего провода, которое нужно выполнить на концах ВЛ длиной более 200 м и на вводах от ВЛ к электроустановкам, подлежащим занулению, определяется по формуле

$$n = \frac{R_c}{30} \quad (2.76)$$

Число стержней на ТП без учета взаимного экранирования

$$n_{m.n.} = \frac{R_c}{R_{m.n.}} \quad (2.77)$$

Зная  $n_{од}$ ,  $l_{од}$  и  $a$  – расстояние между стержнями, по [12, 18, 19, 20] определяется коэффициент взаимного экранирования  $\eta_c$ .

Тогда результирующее сопротивление стержневых заземлителей на ТП определяется по формуле,

$$R_c' = \frac{R_c}{n_{m.n.} \cdot \eta_c} \quad (2.78)$$

Сопротивление соединительной полосы  $b_n =$  \_\_\_\_\_ мм, длиной  $l =$  \_\_\_\_\_ м, проложенной на глубине  $h =$  \_\_\_\_\_ м с учетом коэффициента экранирования  $\eta_c$ , определяется по формуле

$$R_n' = \frac{0,366}{l \cdot \eta_c} \cdot \rho \cdot \lg \frac{2 \cdot l^2}{l \cdot \eta_n} \quad (2.79)$$

расчетное сопротивление заземляющего устройства одиночного повторного заземлителя на ВЛ-0,38 кВ не должно превышать 30 Ом

$$R_{од} = \frac{R_c' \cdot R_n'}{R_c' + R_n'} \quad (2.80)$$

Если на одной линии ВЛ-0,38 кВ имеется  $n$  одиночных повторных заземлителей, то сопротивление заземлителей нулевого рабочего провода не должно превышать 10 Ом

$$R_{з.в.л.} = \frac{R_{од}}{n} \quad (2.81)$$

Тогда при количестве отходящих линий ВЛ-0,38 кВ, сопротивление нейтрали трансформатора ТП не должно превышать 4 Ом

$$R_з = \frac{\frac{R_{з.в.л.} \cdot R_{од}}{K}}{\frac{R_{з.в.л.}}{K} + R_{од}} \quad (2.82)$$

### **3 ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 0,38-35 кВ**

Система автоматизированного проектирования «Электроснабжение 2.2» [13, 14, 16, 17], предназначена для проектирования электрических распределительных сетей 0.38, 6, 10, 35 кВ.

Целью данной программы является автоматизация проектирования объектов электроснабжения промышленных и сельскохозяйственных предприятий, районов и т.д.

Используя представленный программный продукт возможно произвести расчет электроснабжения района, промышленного или сельскохозяйственного предприятия, населенного пункта, произвести реконструкцию электрических сетей.

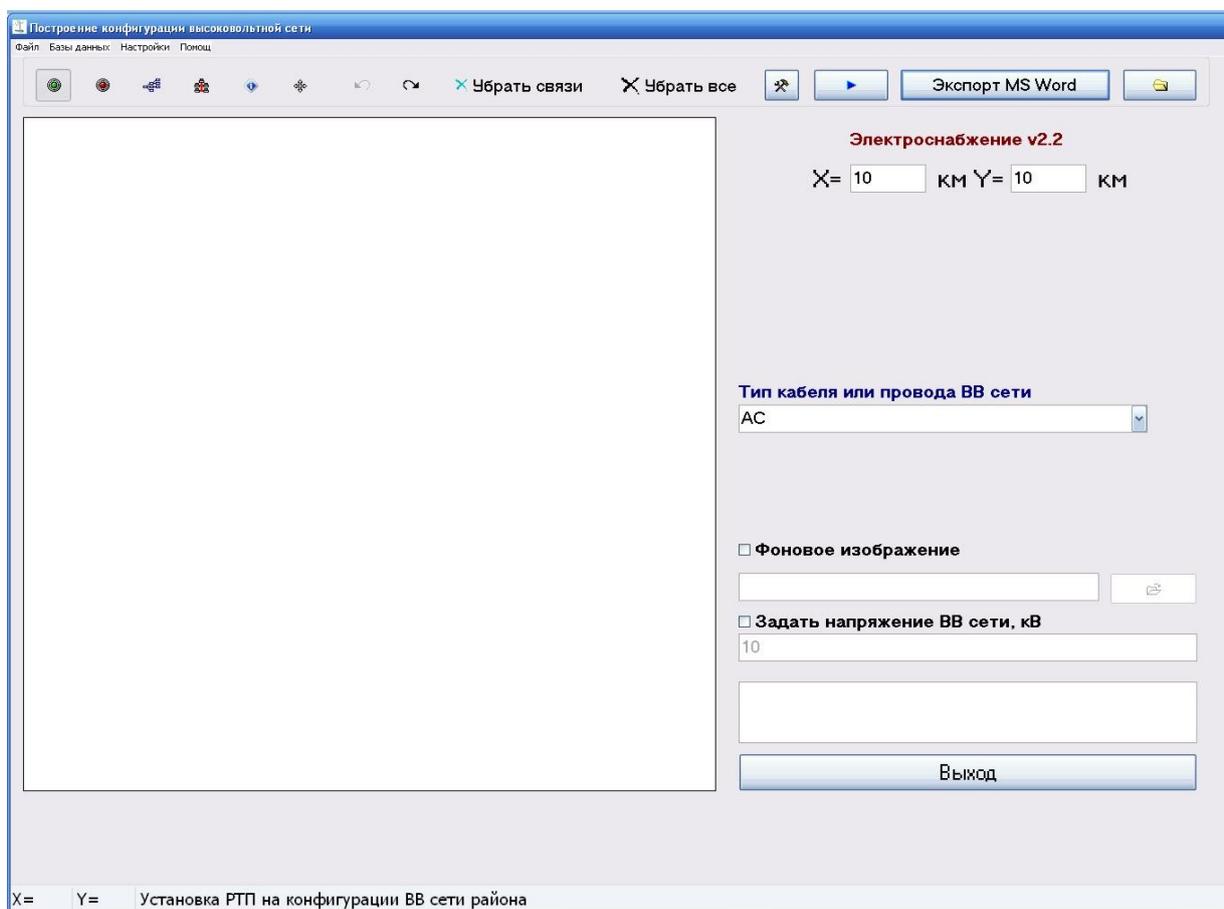
На плане района (объекта) можно разместить до 200 трансформаторных подстанций, запитанных от РТП. Каждая трансформаторная подстанция (обеспечивающая электроснабжение, например, какого либо предприятия, населенного пункта, и т.д.) может содержать до 200 потребителей (для промышленности до 200 групп потребителей). Таким образом, максимальное число потребителей составляет  $200 \times 200 = 40000$ .

Результаты проектирования сохраняются в файл с расширением *.doc* и возможны для дальнейшего редактирования и структурирования расчетно-пояснительной части разрабатываемого проекта.

Процесс расчета состоит из следующих основных этапов:

1. Исходные данные;
2. Определение места расположения ТП, выбор конфигурации сети 0,38 кВ;
3. Определение электрических нагрузок сети 0,38 кВ;
4. Определение числа мощности трансформаторов на подстанции;
5. Выбор типа подстанции;
6. Определение места расположения подстанции, конфигурация сети высокого напряжения и определение величины высокого напряжения;
7. Определение нагрузки в сети высокого напряжения;
8. Расчет сечения проводов в сети высокого напряжения;
9. Определение потерь высокого напряжения в высоковольтной сети и трансформаторе;
10. Определение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения и трансформаторе;
11. Определение допустимых потерь напряжения в сети 0,38 кВ;
12. Определение сечения проводов и фактических потерь напряжения, мощности и энергии в сетях напряжением 0,38 кВ. Компенсация реактивной мощности в сетях 0,38 кВ;
13. Определение конструктивных параметров высоковольтной и низковольтной линии;
14. Расчет токов короткого замыкания;

15. Выбор и проверка аппаратуры высокого напряжения ячейки питающей линии.
  16. Расчет электрических нагрузок расчетного населенного пункта;
  17. Компенсация реактивной мощности в сетях 0,38 кВ;
  18. Расчет сети на потерю напряжения при пуске электродвигателя;
  19. Расчёт уставок релейной защиты;
  20. Выбор и проверка высоковольтной и низковольтной аппаратуры на подстанции;
  21. Выбор устройства защиты от перенапряжений;
  22. Расчет контура заземления подстанции.
- Рабочее окно программы состоит из меню, ряда функциональных клавиш рисунок 3.1.



**Рисунок 3.1 – Рабочее окно программы «Электроснабжение 2.2»**

Меню «Файл» позволяет выполнить следующие операции:

- «Открыть»;
- «Сохранить»;
- «Закреть».

Меню «Базы данных» содержит:

«Базы данных потребителей» рисунок 3.2;

Наименование объекта	Шифр	Pд, кВт	Qд, кВар	Pв, кВт	Qв, кВар
Откорм свиней на 4000	1	75	65	45	40
Откорм свиней на 6000	2	120	105	65	60
Откорм свиней на 8000	3	185	170	105	90
Откорм свиней на 10000	4	240	210	120	105
Выращивание и откорм свиней на 3000	5	105	90	65	60
Выращивание и откорм свиней на 4000	6	120	105	90	80
Выращивание и откорм свиней на 6000	7	150	150	105	90
Выращивание и откорм свиней на 10000	9	300	260	150	120
Выращивание и откорм свиней на 12000	10	420	430	310	320
Выращивание и откорм свиней на 24000	11	560	570	420	430
Выращивание и откорм свиней на 54000	12	700	715	520	530
Выращивание и откорм свиней на 108000	13	1250	1280	900	920
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 3000	14	185	80	145	65
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 4000	15	220	95	185	80
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 6000	16	280	120	230	100
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 8000	17	370	160	270	115
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 10000	18	550	235	370	160
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 12000	19	735	310	460	195
Репродуктивная свиноферма на 200 маток	20	65	55	35	25

**Рисунок 3.2 – Базы данных потребителей**

В данных для потребителей приводится мощность дневного и вечернего потребления активной и реактивной мощности.

*«Базы данных промышленных потребителей»* рисунок 3.3;

Наименование цеха, производства	Kс (коэф. спроса)	cos(φ)	Примечание
Арматурный цех	0,35	0,6	Заводы тяжелого машиностроения
Рессорный цех	0,3	0,65	Заводы тяжелого машиностроения
Сварочный цех	0,45	0,6	Заводы тяжелого машиностроения
Аппаратный цех	0,3	0,7	Заводы тяжелого машиностроения
Изоляционный цех	0,6	0,9	Заводы тяжелого машиностроения
Лаковарочный цех	0,6	0,9	Заводы тяжелого машиностроения
Эстакада	0,25	0,65	Заводы тяжелого машиностроения
Цех пресс-порошка	0,5	0,85	Заводы тяжелого машиностроения
Цех электролиза	0,5	0,8	Заводы тяжелого машиностроения
Цех металлопокрытий	0,4	0,8	Заводы тяжелого машиностроения
Экспериментальный цех	0,2	0,7	Заводы тяжелого машиностроения
Главный корпус	0,4	0,85	Трансформаторные заводы
Сварочный корпус	0,35	0,7	Трансформаторные заводы
Аппаратный корпус	0,3	0,7	Трансформаторные заводы
Изоляционный корпус	0,6	0,9	Трансформаторные заводы

**Рисунок 3.3 – Базы данных промышленных потребителей**

В данных для промышленных потребителей приводится коэффициент спроса и коэффициент мощности.

*«Базы данных промышленных механизмов и аппаратов»* рисунок 3.4;

Промышленные механизмы и аппараты	Ки (коэф. использ.)	cos(φ)
расточной станок	0,14	0,5
мелкие токарный станок	0,14	0,5
фрезерный станок	0,14	0,5
точильный станок	0,14	0,5
сверлильный станок	0,14	0,5
карусельный станок	0,14	0,5
строгальный станок	0,14	0,5
долбежный станок	0,14	0,5
расточной станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
мелкие токарный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
фрезерный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
точильный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
сверлильный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
карусельный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
строгальный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
долбежный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6

**Рисунок 3.4 – Базы данных промышленных механизмов и аппаратов**

В данных для механизмов приводится коэффициент использования и коэффициент мощности.

«Базы данных трансформаторов» рисунок 3.5;

Нач. мощн.	Конечная мощн.	Мощность	В.В. напр.	Н.В. напр.	Потери х.х.	Потери к.з.	Напряжение к.з., %	Ток х.х., %	Тип трансформатора
0	37,5	25	10	0,4	0,125	0,6	4,5	3,2	ТМ-25
37,5	60	40	10	0,4	0,18	0,88	4,5	3	ТМ-40
60	94,5	63	10	0,4	0,265	1,28	4,5	2,8	ТМ-63
94,5	150	100	10	0,4	0,365	1,97	4,5	2,6	ТМ-100
150	240	160	10	0,4	0,54	2,65	4,5	2,4	ТМ-160
240	375	250	10	0,4	1,05	3,7	4,5	2,3	ТМ-250
375	600	400	10	0,4	1,45	5,5	4,5	2,1	ТМ-400
600	945	630	10	0,4	2,27	7,6	5,5	2	ТМ-630
945	1500	1000	10	0,4	3,8	12,7	5,5	3	ТМ-1000
1500	2500	2000	10	0,4	7,2	25,4	5,5	4	2 x ТМ-1000
2500	3500	3000	10	0,4	11	38,1	5,5	5	3 x ТМ-1000
3500	100000	4000	10	0,4	14,8	50,8	6	5,5	4 x ТМ-1000
0	150	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16	ТМ-100
150	240	160	35	0,4	0,66	2,65	6,5	2,4	ТМ-160
240	375	250	35	0,4	0,96	3,7	6,5	2,5	ТМ-250
375	600	400	35	0,4	1,35	5,5	6,5	2,1	ТМ-400
600	900	630	35	0,4	2	7,6	6,5	2	ТМ-630

**Рисунок 3.5 – Базы данных трансформаторов**

В данных для трансформаторов приводятся начальная, конечная и номинальная мощность, величина высокого и низкого напряжения, потери холостого хода, потери при коротком замыкании, напряжение к.з. в % ток холостого хода в % и тип трансформатора.

«Базы данных проводов и кабелей» рисунок 3.6;

Марка провода	Ном. сечение	Сечение	Сопротивление, Ом/км	Масса, кг/км	X	Тип	U
AC-16	16	15,9	1,8	43	0,43	AC	35
AC-25	25	24,9	1,14	68	0,43	AC	35
AC-35	35	34,3	0,83	94	0,42	AC	35
AC-50	50	49,5	0,576	135	0,42	AC	35
AC-70	70	69,2	0,412	189	0,42	AC	35
AC-95	95	92,4	0,308	252	0,4	AC	35
AC-120	120	117	0,246	321	0,4	AC	35
AC-150	150	148	0,194	406	0,38	AC	35
AC-185	185	183	0,157	502	0,38	AC	35
AC-240	240	239	0,12	655	0,38	AC	35
AC-300	300	288	0,1	794	0,38	AC	35
AC-350	350	246	0,083	952	0,35	AC	35
AC-500	500	500	0,045	1800	0,35	AC	35
AC-1000	1000	1000	0,02	3600	0,35	AC	35
AC-2 x 1000	2000	2000	0,01	7200	0,35	AC	35
AC-3 x 1000	3000	3000	0,01	10800	0,35	AC	35
АВВГ 3-2,5	2,5	2,5	12,1	107	0,09	АВВГ 3	1
АВВГ 3-4,0	4	4	7,41	148	0,09	АВВГ 3	1
АВВГ 3-6,0	6	6	5,11	178	0,09	АВВГ 3	1
АВВГ 3-10,0	10	10	3,08	233	0,07	АВВГ 3	1
АВВГ 3-16,0	16	16	1,91	298	0,07	АВВГ 3	1

Рисунок 3.6 – Базы данных проводов и кабелей

В данных для проводов и кабелей указываются: марка провода или кабеля, номинальное сечение, сечение, сопротивление одного километра, масса одного километра, индуктивное сопротивление, тип кабеля или провода, рабочее напряжение.

«Базы данных масляных выключателей» рисунок 3.7;

Тип прибора	Напряжение	Ток	Ik1(3)	IydK1	Ik1(3)^2tk
BC-10-0,8	10	0,032	0,8	2,1	0,8
BC-10-2,5	10	0,063	2,5	6,5	2,5
ВМГП-10	10	0,63	20	52	20
ВМГП-10	10	1	20	52	20
ВМП-10	10	1,25	20	64	20
ВМП-10	10	1,5	20	64	20
ВМПП-10	10	1,6	31,5	80	31,5
ВМПЭ-10	10	3,2	31,5	80	31,5
МГГ-10	10	4	45	120	45
МГГ-10	10	5	63	170	63
МГ-10	10	9	105	300	70
ВП-35	35	0,4	5	16	6,3
ВТ-35	35	0,63	10	26	10
ВТ-35	35	0,8	12,5	31	12,5
МКП-35	35	1	25	63	25
У-35	35	2	40	102	40
С-35-50	35	3,2	50	127	50

**Рисунок 3.7 – База данных масляных выключателей**

В данных для масляных выключателей указываются: номинальное напряжение и токи.

«Базы данных разъединителей» рисунок 3.8;

Тип прибора	Напряжение	Ток	Ik1(3)	IydK1	Ik1(3)^2tk
РЛНДА-10/200	10	200	0	20	8
РЛНДА-10/400	10	400	0	25	10
РЛДНА-10/630	10	630	0	35,5	12,5
РСК-10К/4000	10	4000	0	250	90
РСК-10К/5000	10	5000	0	180	71
РНД(3)-35/1000	35	1000	0	64	25
РНД(3)-35/2000	35	2000	0	84	31,5
РНД(3)-35/3200	35	3200	0	128	50

**Рисунок 3.8 – База данных разъединителей**

В данных для разъединителей указываются: номинальное напряжение и токи .

«Базы данных трансформаторов тока» рисунок 3.9;

Тип прибора	Напряжение	Ток	IK1(3)	IудK1	IK1(3)^2*tk
ТЛП-10КУЗ	10	2,47	0	2,47	0,04
ТЛП-10КУЗ	10	3,7	0	3,7	0,06
ТЛП-10КУЗ	10	7,4	0	7,4	0,12
ТЛП-10КУЗ	10	14,8	0	14,8	0,2
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	0,4
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	0,6
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	0,8
ТПЛМУ-10	10	70	0	70	1,2
ТПЛМУ-10	10	70	0	70	1,6
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	2,4
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	3,2
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	4
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	6
ТШЛ-10К	10	125	0	125	8
ТШЛ-10К	10	125	0	125	12
ТШЛ-10К	10	125	0	125	16
ТШЛ-10К	10	125	0	125	20
ТПОЛ-35	35	100	0	100	1,6
ТПОЛ-35	35	100	0	100	2,4
ТПОЛ-35	35	100	0	100	3,2
ТПОЛ-35	35	100	0	100	4

Рисунок 3.9 – База данных трансформаторов тока

В данных для трансформаторов тока указываются: номинальное напряжение и токи.

«Базы данных конденсаторных установок» рисунок 3.10;

Нач мощн	Кон мощн	Наименование	Серия, тип	Ном. мощн	Ном. U	Ном. f	Кол-во ступ	Масса, кг	ГОСТ
20	25	Установка конденсаторная	ККУ-0,4-20УЗ	20	0,4	50	2	20	ТУ 647РК
50	75	Установка конденсаторная	ККУ-0,4-50УЗ	50	0,4	50	2	25	ТУ 647РК
75	100	Установка конденсаторная дл	УКН6-0,4-75Уз	75	0,4	50	-	75	ТУ16-91 ИББЕ 67381
100	200	Установка конденсаторная дл	УКМ58-0,4-100-33 1/3 УЗ	100	0,4	50	3x33	175	ТУ16.673083-86 ИБД
200	268	Установка конденсаторная дл	УКМ58-0,4-200-33 1/3 УЗ	200	0,4	50	6x33	285	ТУ16.673083-86 ИБД
268	402	Устан. конд для авт. компенс.	УКМ58-0,4-268-67 УЗ	268	0,4	50	4x67	335	ТУ16.673083-86 ИБД
402	536	Устан. конд для авт. компенс.	УКМ-58-0,4-402-67 Уз	402	0,4	50	6x67	340	ТУ647РК-00213457.0
536	950	Устан. конд для авт. компенс.	УКМ-58-0,4-536-48 УЗ	536	0,4	50	8x67	340	ТУ647РК-00213457.0
950	1300	Уст. конд. для повышения коэ	УКЛ(П)57-10,5(6,3)-950УЗ	950	10,5	50	-	680	ТУ 16-91 ИББЕ 67381
1300	100000	Уст. конд. для повышения коэ	УКЛ(П)57-10,5(6,3)-1300УЗ	1300	10,5	50	-	940	ТУ 16-91 ИББЕ 67381
25	50	Установка конденсаторная	УКН-0,4-25	25	0,4	50	-	140	ТУ 647 РК

Рисунок 3.10 – База данных конденсаторных установок

В данных для трансформаторов тока указываются: начальная и конечная мощности, наименование конденсаторной установки, ее серия и тип, номинальные мощность, напряжение и ток, количество ступеней, масса, нормативный документ на его использование.

«Базы данных электродвигателей» рисунок 3.11;

Тип	Рном, кВт	cos(φ)	К.П.Д.	Iпуск	Imin	Imax	lk	Rкр	Xкр	K1	Sk
4A112M2Y3	7,5	0,88	0,875	2	1,8	2,8	2	0,077	0,15	7,5	17
4A132M2Y3	11	0,9	0,88	1,7	1,5	2,8	1,7	0,068	0,12	7,5	19
4A160S2Y3	15	0,91	0,88	1,4	1	2,2	1,4	0,081	0,16	7	12
4A160M2Y2	18,5	0,92	0,885	1,4	1	2,2	1,4	0,079	0,16	7	12,5
4A180S2Y3	22	0,91	0,885	1,4	1,1	2,5	1,4	0,065	0,15	7,5	12,5
4A180M2Y3	30	0,9	0,905	1,4	1,1	2,5	1,4	0,054	0,13	7,5	12,5
4A200M2Y3	37	0,89	0,9	1,4	1	2,5	1,4	0,06	0,16	7,5	11,5
4A200L2Y3	45	0,9	0,91	1,4	1	2,5	1,4	0,058	0,15	7,5	11,5
4A225M2Y3	55	0,92	0,91	1,4	1,2	2,5	1,4	0,055	0,16	7,5	11,0
4A112M4Y3	7,5	0,86	0,875	2,2	1,7	3	2,2	0,088	0,15	7,5	19,5
4A132M4Y3	11	0,87	0,875	2,2	1,7	3	2,2	0,082	0,15	7,5	19,5
4A160S4Y3	15	0,88	0,885	1,4	1	2,3	1,4	0,085	0,15	7	16
4A160M4Y3	18,5	0,88	0,895	1,4	1	2,3	1,4	0,079	0,14	7	16
4A180S4Y3	22	0,9	0,9	1,4	1	2,3	1,4	0,076	0,15	6,5	14
4A180M4Y3	30	0,89	0,91	1,4	1	2,3	1,4	0,064	0,13	6,5	14
4A200M4Y3	37	0,9	0,91	1,4	1	2,5	1,4	0,074	0,16	7	10
4A200L2Y3	45	0,9	0,92	1,4	1	2,5	1,4	0,059	0,16	7	10
4A225M4Y3	55	0,9	0,925	1,3	1	2,5	1,3	0,058	0,15	7	10
4A132S6Y3	7,5	0,81	0,855	2	1,8	2,5	2	0,11	0,14	6	36
4A160M6Y3	11	0,86	0,86	2	1,8	2,5	2	0,12	0,18	6	26
4A160S6Y3	15	0,87	0,875	1,2	1	2	1,2	0,11	0,19	6	15

Рисунок 3.11 – База данных электродвигателей

В данных для двигателей указываются: номинальная мощность, коэффициент мощности, КПД, пусковой ток, минимальный и максимальный ток, скольжение критическое.

Меню «Настройки программы».

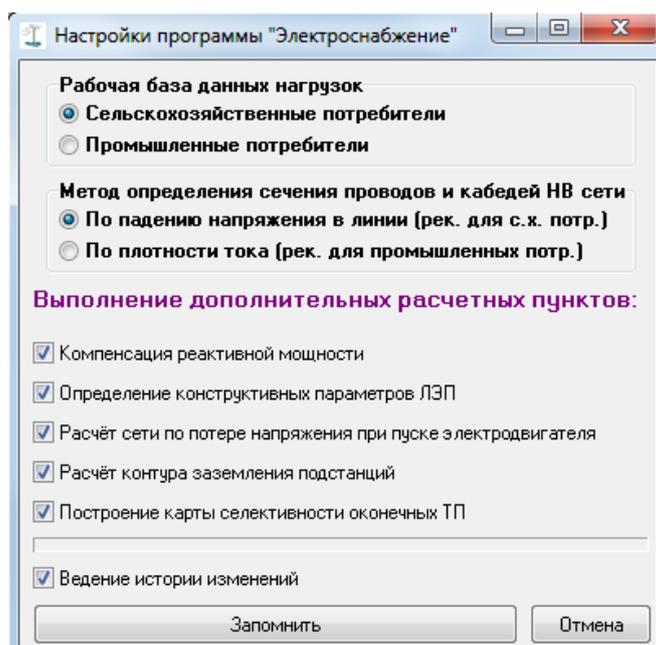


Рисунок 3.12 – Меню настройки программы

В меню настройки программы возможно выбрать:

1 Рабочую базу данных нагрузок:

- сельскохозяйственные потребители,
- промышленные потребители.

2 Метод определения сечения проводов и кабелей НВ сети:

- по падению напряжения,
- по плотности тока.

3 Выполнить дополнительные расчеты пунктов:

- компенсация реактивной мощности,
- определение конструктивных параметров ЛЭП,
- расчет сети по потере напряжения при пуске электродвигателя,
- расчет контура заземления подстанций,
- построение карты селективности оконечных ТП.

Функциональные кнопки управления, необходимы для построения конфигурации сети



– установка РТП, от которой необходимо прокладывать линии электропередач к ТП, возможно установить только одну РТП,



– установка ТП (до 200 штук),



– установка разветвительной опоры,



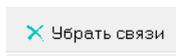
– соединение РТП и ТП в сеть,



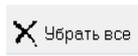
– конфигурация низковольтной сети,



– изменение местоположения ТП,



– убрать все линии соединяющие ТП,



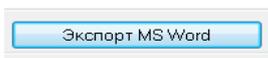
– убрать все ТП и линии соединяющие ТП.



– настройки программы,



– выполнить предварительный расчет высоковольтной сети,



– сформировать расчетно–пояснительную часть,

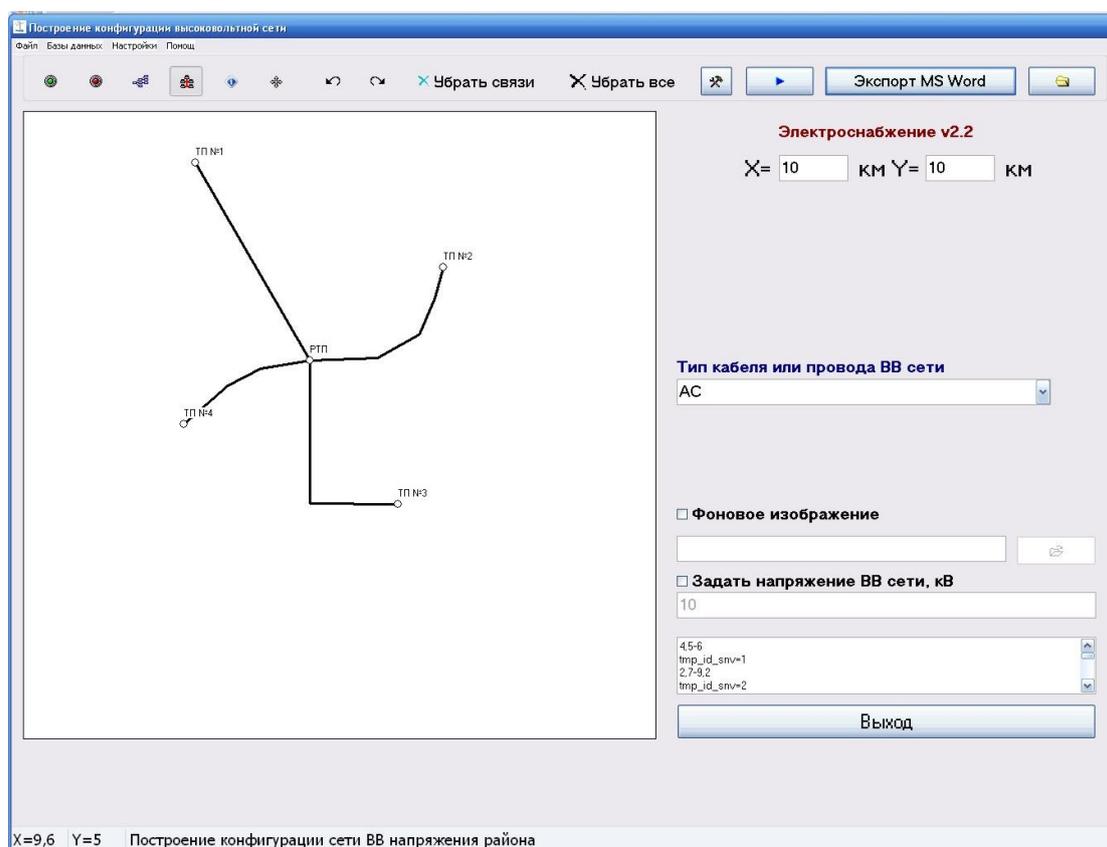


– открытие рабочей папки.

Параметрами  $X$  и  $Y$  главной формы задаются длина и ширина объекта (км) или района электроснабжения.

Возможно выбрать «Тип кабеля или провода высоковольтной сети», «Фоновое изображение», «Задать напряжение высоковольтной сети».

Работа с программой начинается с установки РТП, ТП и линий их электроснабжения рисунок 3.13



**Рисунок 3.13 – Установка РТП, ТП и линий электроснабжения**

Далее необходимо осуществить построение конфигурации низковольтной сети рисунок 3.14.

Данное построение сводится к определению масштаба объекта НВ сети, то есть к заданию параметра  $X$  и  $Y$  (м), установки ТП с координатами  $X_1, Y_1$ , установки потребителей  $\Pi_1-\Pi_n$ , определению топологии НВ сети, заданию типа провода или кабеля линий электроснабжения НВ сети рисунок 3.14.

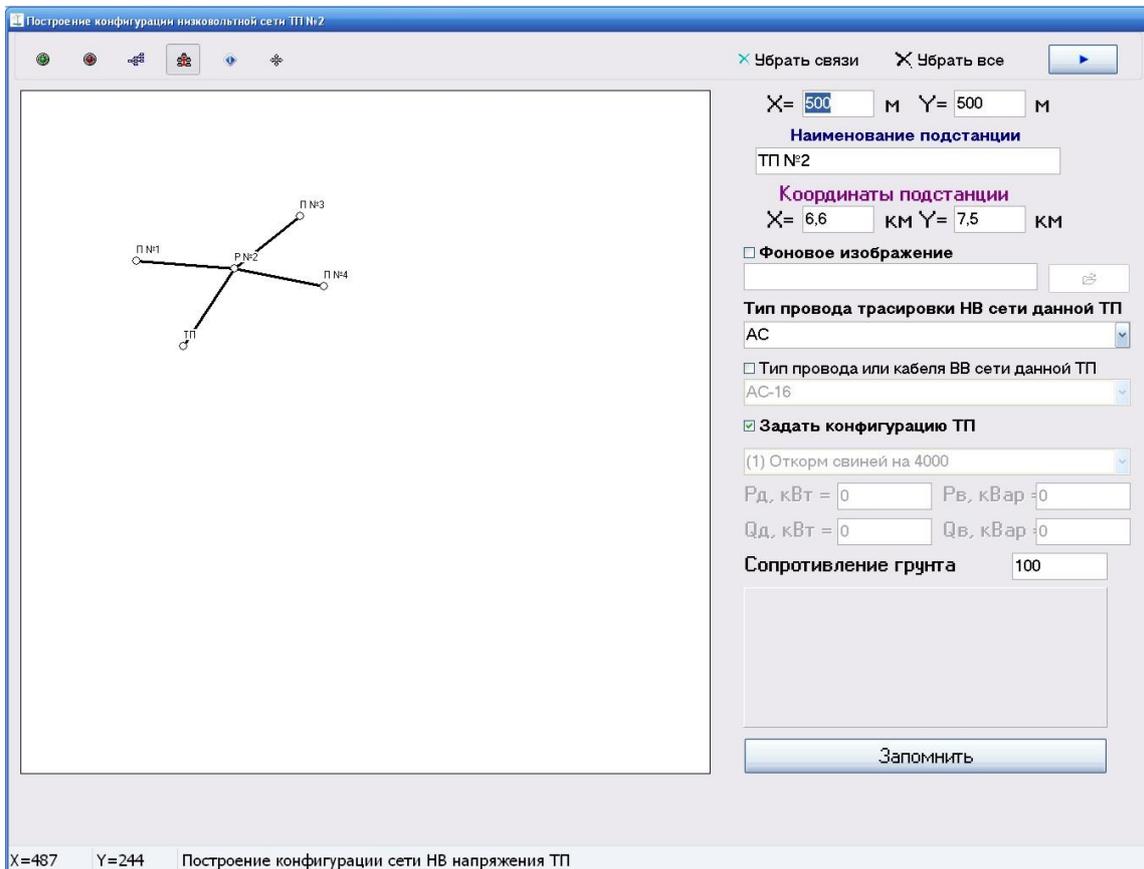


Рисунок 3.14 – Введение параметров низковольтной сети

Следующим этапом является задание свойств потребителя низковольтной сети рисунок 3.15 (для сельскохозяйственных потребителей)

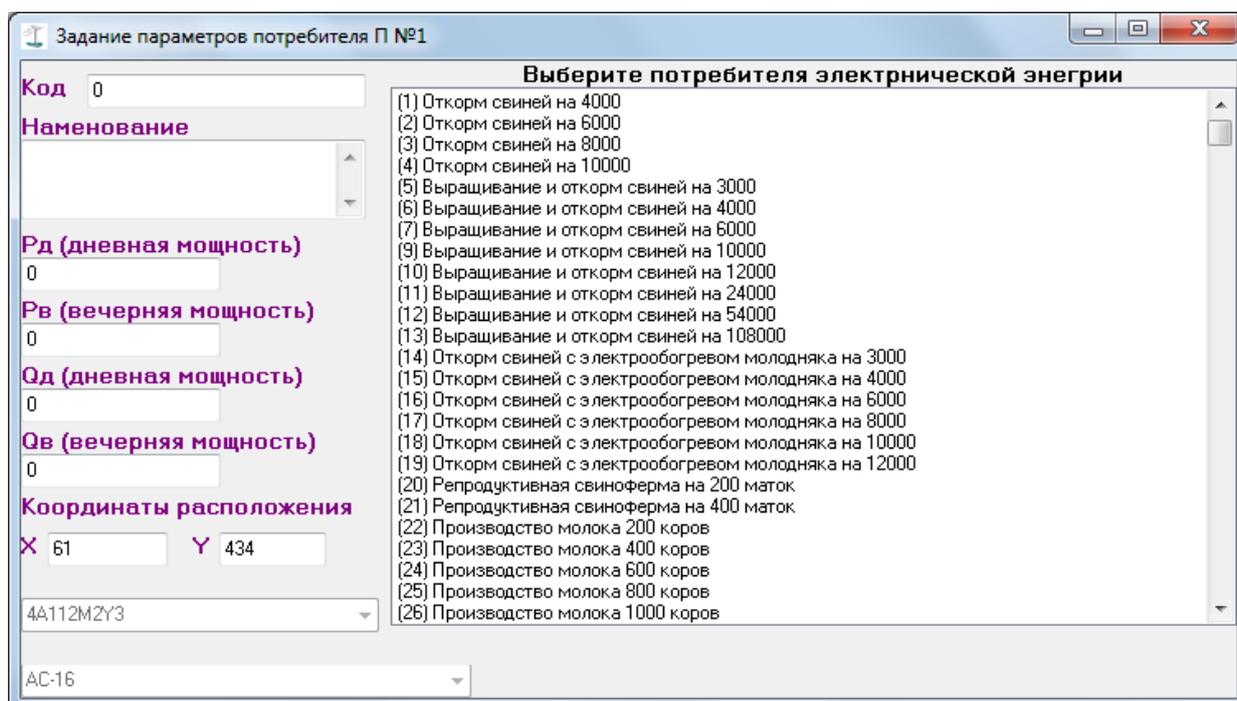


Рисунок 3.15 – Задание свойств потребителя низковольтной сети

При работе с промышленными потребителями окно задания свойств представлено на следующем рисунке 3.16

**Задание параметров группы пром. потребителей**

Выберите потребителя  
долбежный станок

Наименование пром. потребителя  
долбежный станок

Шифр потр. = 1

Ки= 0,14

cos(fi)= 0,5

P(ед.), кВт= 8

n= 2

**Формирование группы потребителей**

Наименование пром. потребителя	Ки (коэф. использ)	cos(fi)	P (ед.), кВт	n, штук	Сумма P
сверлильный станок	0,14	0,5	4	2	8
фрезерный станок при крупносерийно	0,16	0,6	2	2	4

Двигатель потребителя  
4A112M2Y3

Выбрать провод или кабель данного потребителя  
AC-16

Установленная P = кВт

Запомнить Отмена

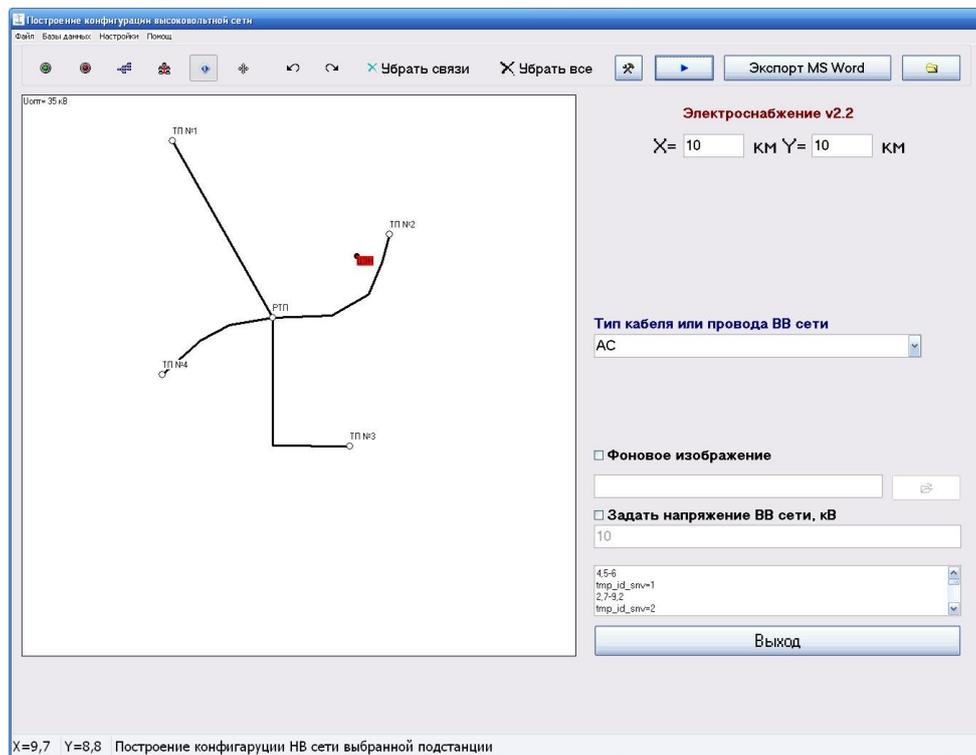
Рисунок 3.16 – Задание свойств потребителя низковольтной сети

При выполнении данного требования имеется возможность выбора параметров потребителя из существующей базы данных, например: Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 8000. Параметры объекта для расчета следующие:  $P_o = 370\text{кВт}$ ,  $Q_o = 160\text{квар}$ ,  $P_e = 270\text{кВт}$ ,  $Q_e = 115\text{квар}$ .

Необходимо также отметить что, существует возможность ввода выше приведенных данных по усмотрению проектировщика.

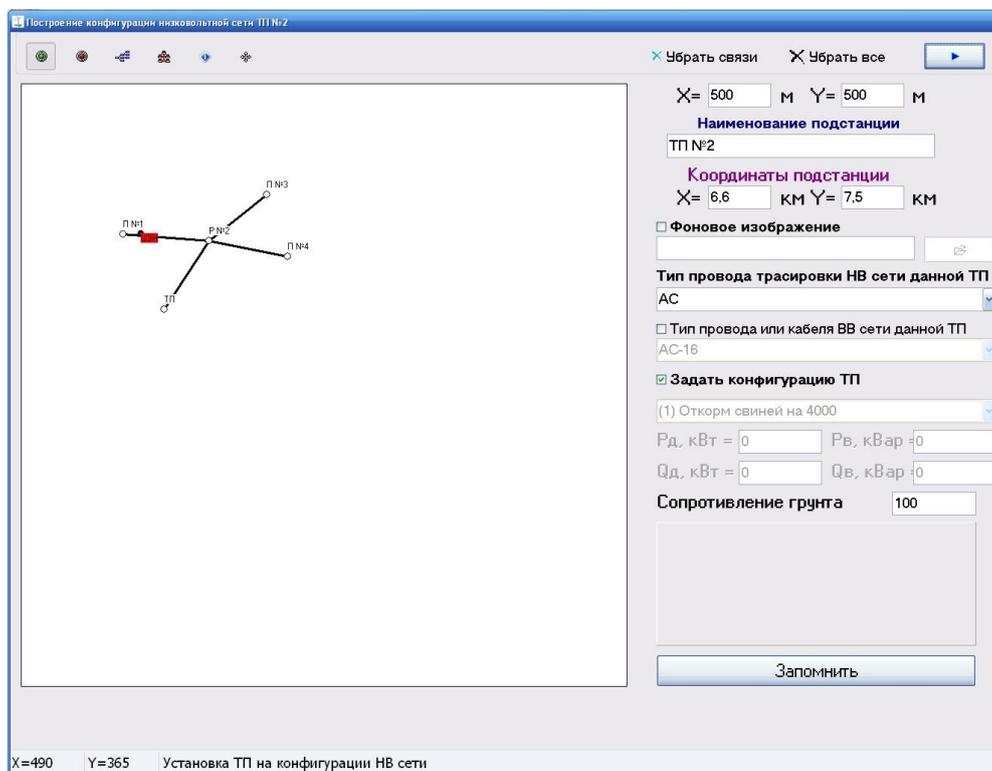
После ввода данных для всех имеющихся потребителей необходимо «запомнить» данные ввода.

Выполнив предварительный расчет высоковольтной сети на схеме электроснабжения появляется значок центра электрических нагрузок (ЦЭН) рисунок 3.17.



**Рисунок 3.17 – Результат предварительного расчета и указание центра электрических нагрузок высоковольтной сети**

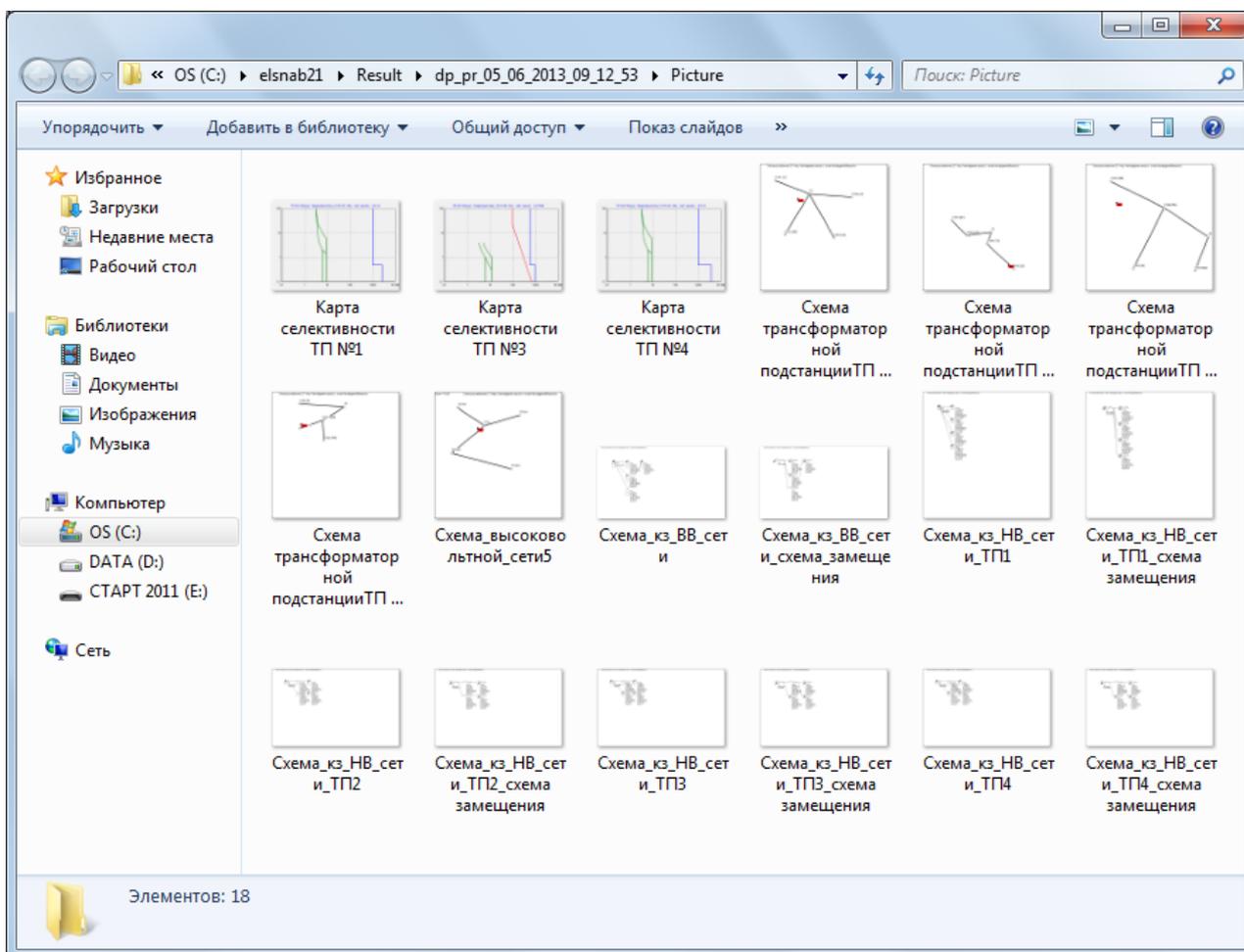
Аналогичным образом производится предварительный расчет низковольтной сети рисунок 3.18.



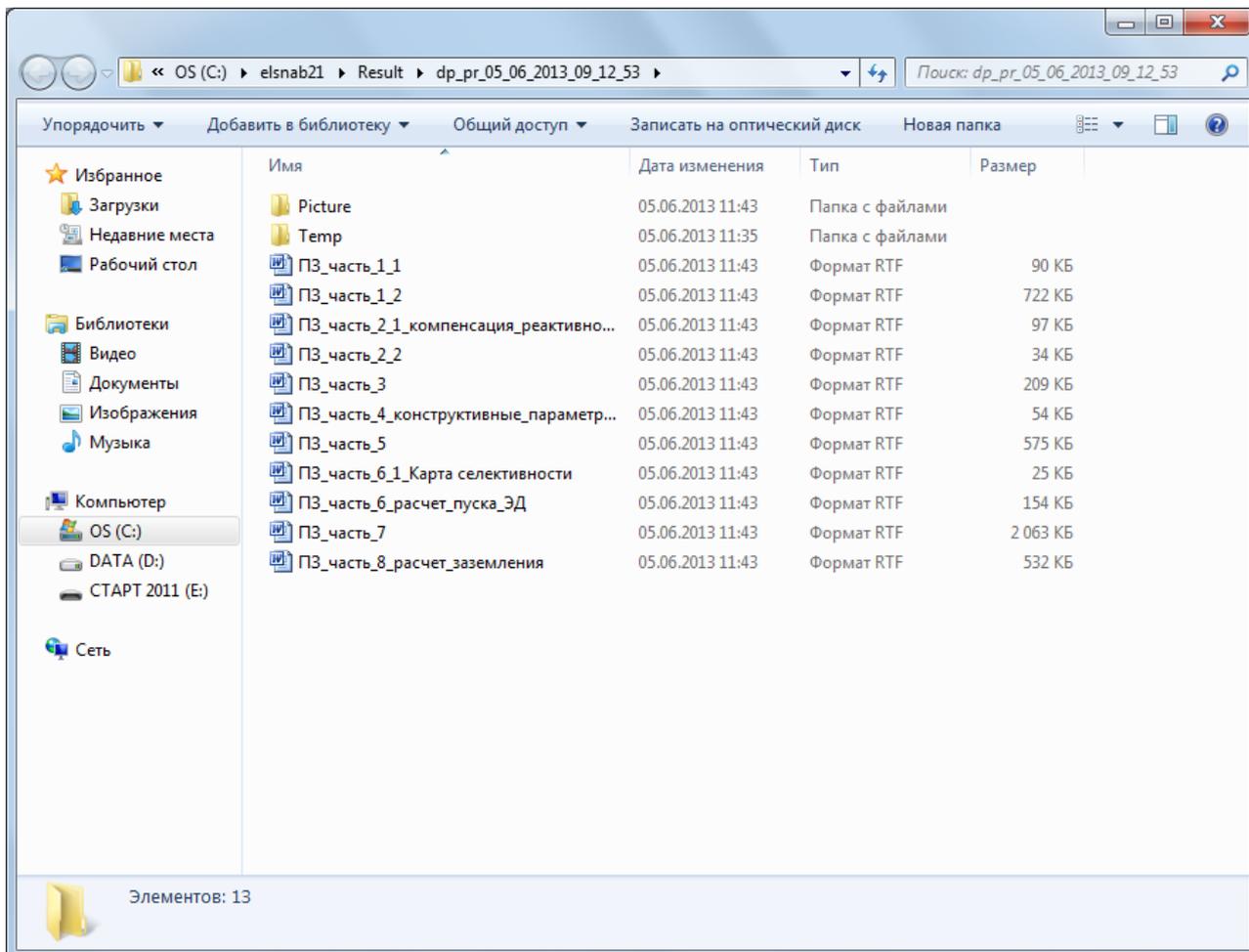
**Рисунок 3.18 – Результат предварительного расчета и указание центра электрических нагрузок низковольтной сети**

В соответствии с требованиями при проектировании систем электро-снабжения РТП и ТП необходимо располагать как можно ближе к центру электрических нагрузок.

Внеся определенные коррективы в расположение РТП и ТП сформируется расчетно–пояснительная часть проекта электроснабжения (рисунок 3.19, 3.20).



**Рисунок 3.19 – Папка с содержанием схем и карт селективности**



**Рисунок 3.20 – Папка с содержанием материалов по проектированию электроснабжения потребителей**

Система автоматизированного проектирования «Электроснабжение 2.2» позволяет произвести расчет электрических сетей района, промышленного или сельскохозяйственного предприятия, населенного пункта, произвести реконструкцию сетей. Использование ПО «Электроснабжение 2.2» позволяет уменьшить время на процесс проектирование, увеличить производительность труда и более наглядно продемонстрировать результаты проектирования.

## 4 ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрим на примере работу системы автоматизированного проектирования «Электроснабжение 2.2» электроснабжения рассредоточенных объектов.

**Таблица 4.1 - Исходные данные**

№ п.п.	Наименование	шифр	Дневной максимум			Вечерний максимум		
			Р <sub>д</sub> , кВт	Q <sub>д</sub> , квар	S <sub>д</sub> , кВА	Р <sub>в</sub> , кВт	Q <sub>в</sub> , квар	S <sub>в</sub> , кВА
<b>ТП №2</b>								
П №1 (356)	Хлебопекарня производительностью 3 т/сутки	356	5	4	6,403	5	4	6,403
П №2 (383)	Котельная с котлами КВ-300М или Д721	383	5	4	6,403	5	4	6,403
П №3 (189)	Измельчитель грубых кормов ИГК-30Б	189	30	25	39,051	0	0	0
П №4 (300)	Комплект машин и оборудования зерноочистительного агрегата ЗАВ-20	300	25	25	35,355	26	23	34,713
<b>ТП №3</b>								
П №1 (386)	Котельная с 4 котлами "Универсал-б" для отопления и горячего водоснабжения	386	28	20	34,409	28	20	34,409
<b>ТП №4</b>								
П №1 (516)	Детские ясли-сад с электроплитой на 90 мест	516	23	7	24,041	14	4	14,56
П №2 (530)	Бригадный дом	530	2	0	2	5	0	5

**Определение места расположения трансформаторной подстанции.  
Выбор конфигурации сети 0,38 кВ.  
Определение координат центра**

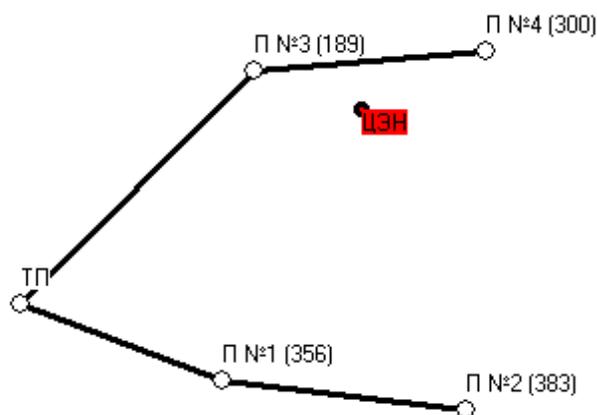
**Таблица 4.2 - Координаты потребителей низковольтной сети**

Код потребителя	Координата X	Координата Y
ТП №2		
П №1 (356)	204	312
П №2 (383)	279	302
П №3 (189)	214	409
П №4 (300)	285	415
ТП №3		
П №1 (386)	225	367
ТП №4		
П №1 (516)	183	337
П №2 (530)	251	327

Центры электрических нагрузок низковольтных сетей представлены в следующей таблице 4.3 для каждой ТП

**Таблица 4.3 - Центры электрических нагрузок**

№ ТП (наименование)	ЦЭН Координата X	ЦЭН Координата Y
ТП №2	246,818	396,453
ТП №3	225	367
ТП №4	188,222	336,231



**Рисунок 4.1 – Схема электроснабжения потребителей ТП № 2**

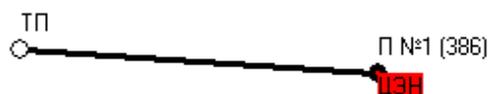


Рисунок 4.2 – Схема электроснабжения потребителей ТП № 3

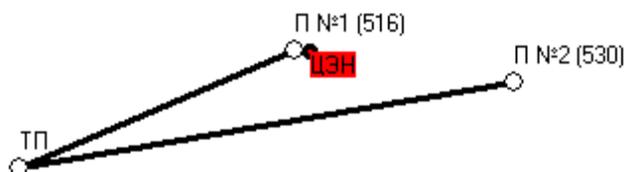


Рисунок 4.3 – Схема электроснабжения потребителей ТП № 4

### Определение электрических нагрузок сети 0,38 кВ

Таблица 4.4 - Расчёт нагрузок сети 0,38 кВ

Участок сети	Рд, кВт	Qд, квар	Сд, кВА	Рв, кВт	Qв, квар	Св, кВА
ТП №2						
П №1 (356) - П №2 (383)	5	4	6,403	5	4	6,403
ТП - П №1 (356)	8	6,4	10,244	8	6,4	10,244
П №3 (189) - П №4 (300)	25	25	35,355	26	23	34,713
ТП - П №3 (189)	45,7	40,7	61,196	26	23	34,713
ТП №3						
ТП - П №1 (386)	28	20	34,409	28	20	34,409
ТП №4						
ТП - П №2 (530)	2	0	2	5	0	5
ТП - П №1 (516)	23	7	24,041	14	4	14,56

Суммирование нагрузок ведётся методом надбавок или коэффициента одновременности аналогично и результаты расчётов заносятся в табл. 4.5.

**Таблица 4.5 - Расчёт нагрузок на ТП**

Номер ТП	Рд, кВт	Qд, квар	Sд, кВА	Рв, кВт	Qв, квар	Sв, кВА
ТП №2	53,7	47,1	71,428	34	47,1	58,089
ТП №3	28	20	34,409	28	20	34,409
ТП №4	25	7	25,961	19	7	20,248

**Определение места расположения распределительной трансформаторной подстанции. Конфигурация сети высокого напряжения и определение величины высокого напряжения**

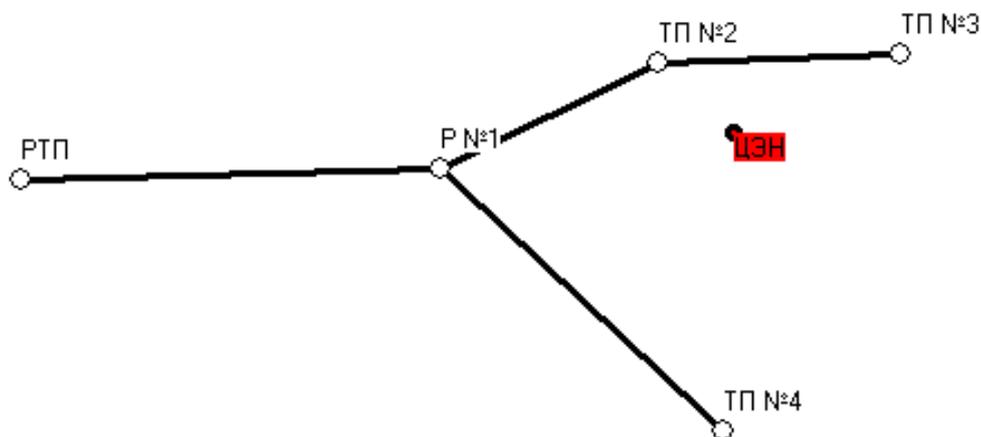
**Таблица 4.6 - Координаты потребителей низковольтной сети**

ТП	Координата X	Координата Y
Р №1	4,4	7
ТП №2	5,7	7,7
ТП №3	7,1	7,7
ТП №4	6,1	5,5

Центр электрических нагрузок высоковольтной сети имеет следующие координаты:

$$X=6,143 \text{ км}$$

$$Y=7,265 \text{ км}$$



**Рисунок 4.4 – Схема электроснабжения подстанций высоковольтной сети (Р1 – разветвительная опора ВВ сети)**

## Определение нагрузок в сети высокого напряжения

**Таблица 4.7 - Результаты суммирования нагрузок в сети высокого напряжения**

Номер участка	$P_d$ , кВт	$Q_d$ , квар	$S_d$ , кВА	$P_v$ , кВт	$Q_v$ , квар	$S_v$ , кВА
ТП №2 - ТП №3	28	20	34,409	28	20	34,409
Р №1 - ТП №4	25	7	25,961	19	7	20,248
Р №1 - ТП №2	72,5	60,1	94,171	52,8	60,1	79,999
РТП - Р №1	89,7	64,4	110,423	65,8	64,4	92,07

Эквивалентная длина составит

$$L_{ЭК} = 4,661 \text{ км.}$$

$$U_{опт} = 10,716 \text{ кВ.}$$

Принимаем стандартное напряжение 35 кВ.

## Определение числа и мощности трансформаторов на подстанции

**Таблица 4.8 - Технические данные трансформатора**

№ ТП	Тип	Номинальная мощность, кВА	Сочетание напряжений, кВ		Потери, кВт		Напряжение к.з. %	Ток х.х., %
			В.Н.	Н.Н.	х.х	к.з.		
ТП №2	ТМ-100	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16
ТП №3	ТМ-100	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16
ТП №4	ТМ-100	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16

Выбранный трансформатор проверяется по коэффициенту систематических перегрузок.

**Таблица 4.9 - Коэффициент системных перегрузок ТП**

Трансформаторная подстанция	$k_{cn} = \frac{S_p}{S_{mp}}$
ТП №2	0,71
ТП №3	0,34
ТП №4	0,25

## Выбор типа подстанции

Для электроснабжения сельских потребителей на напряжении 0,38/0,22 кВ непосредственно возле центров потребления электроэнергии сооружают трансформаторные пункты или комплектные трансформаторные подстанции на 35, 6-10/0,38-0,22 кВ. Обычно мощности трансформаторных пунктов не очень значительны, и иногда их размещают на деревянных мачтовых конструкциях. Комплектные трансформаторные подстанции устанавливают на специальных железобетонных опорах. Трансформаторные пункты при использовании дерева монтируют на АП-образных опорах. Они имеют невысокую стоимость, и их сооружают в короткий срок, причем для их сооружения используют местные строительные материалы.

Комплектные подстанции полностью изготавливают на заводах, а на месте установки их только монтируют на соответствующих железобетонных опорах или фундаментах. Эксплуатация таких трансформаторных пунктов и комплектных подстанций очень проста, что обусловило их широкое применение в практике вообще и, особенно в сельской энергетике. Их применяют также на окраинах городов, а иногда и в качестве цеховых пунктов электроснабжения на заводах и фабриках. На этих подстанциях имеется вся необходимая аппаратура для присоединения к линии 35, 6-10 кВ (разъединитель, вентильные разрядники, предохранители), силовой трансформатор мощностью от 25 до 630 кВА и распределительное устройство сети 0,38/0,22 кВ, смонтированное в герметизированном металлическом ящике. На конструкции подстанции крепят необходимое число изоляторов для отходящих воздушных линий 0,38/0,22 кВ.

### Расчёт сечения проводов сети высокого напряжения

Таблица 4.10 - Расчёт сечения проводов в сети высокого напряжения

Участок сети	$S_p$ , кВА	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А	$T_m$ , час	$j_{эк.}$ , А/мм <sup>2</sup>	$F_{эк.}$ , мм <sup>2</sup>	Марка провода
ТП №2 - ТП №3	34,409	28	0,567	2200	1,3	0,436	АС-16
Р №1 - ТП №4	25,961	25	0,428	2200	1,3	0,329	АС-16
Р №1 - ТП №2	94,171	72,5	1,553	2800	1,3	1,194	АС-16
РТП - Р №1	110,423	89,7	1,821	2800	1,3	1,4	АС-16

### Определение потерь напряжения в высоковольтной сети и трансформаторе

**Таблица 4.11 - Потери напряжения в сети высокого напряжения**

Участок сети	Марка провода	P, кВт	$r_0$ , Ом/км	Q, квар	$x_0$ , Ом/км	L, км	$\Delta U$ , В	$\Delta U$ , %
ТП №2 - ТП №3	АС-16	28	1,8	20	0,43	1,399	2,358	0,006
Р №1 - ТП №4	АС-16	25	1,8	7	0,43	2,267	3,109	0,008
Р №1 - ТП №2	АС-16	72,5	1,8	60,1	0,43	1,476	6,593	0,018
РТП - Р №1	АС-16	89,7	1,8	64,4	0,43	2,4	12,97	0,037

Трансформаторная подстанция      Расчетные значения

ТП №2

$$\begin{aligned}
 U_a &= 0,019 \%, \\
 U_p &= 6,499 \%, \\
 \cos \varphi &= 0,751, \\
 \sin(\varphi) &= 0,66 \\
 \Delta U &= 3,073 \%
 \end{aligned}$$

ТП №3

$$\begin{aligned}
 U_a &= 0,019 \%, \\
 U_p &= 6,499 \%, \\
 \cos \varphi &= 0,813, \\
 \sin(\varphi) &= 0,582 \\
 \Delta U &= 1,306 \%
 \end{aligned}$$

ТП №4

$$\begin{aligned}
 U_a &= 0,019 \%, \\
 U_p &= 6,499 \%, \\
 \cos \varphi &= 0,962, \\
 \sin(\varphi) &= 0,273 \\
 \Delta U &= 0,465 \%
 \end{aligned}$$

## Определение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения и трансформаторе

**Таблица 4.12 - Определение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения**

Участок сети	I, А	$r_0$ , Ом/км	L, км	$\Delta P$ , кВт	$T_m$ , час	$\tau$ , час	$\Delta W$ , кВт·ч
ТП №2 - ТП №3	0,567	1,8	1,399	0,001	2200	1036,623	1,036
Р №1 - ТП №4	0,428	1,8	2,267	0,001	2200	1036,623	1,036
Р №1 - ТП №2	1,553	1,8	1,476	0,01	2800	1429,772	14,297
РТП - Р №1	1,821	1,8	2,4	0,023	2800	1429,772	32,884
Итого:			7,542	0,035			49,253

Потеря мощности и энергии, теряемые в высоковольтных линиях, в процентах от потребляемой

$$\Delta P = 0,039 \%,$$

$$\Delta W = 0,019 \%.$$

Трансформаторная подстанция

Расчетные значения

ТП №2

$$\Delta P_{mp} = 1,47 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_{mp} = 5504,177 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

ТП №3

$$\Delta P_{mp} = 0,698 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_{mp} = 5110,256 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

ТП №4

$$\Delta P_{mp} = 0,597 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_{mp} = 5110,155 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

## Определение допустимой потери напряжения в сетях 0,38 кВ

Трансформаторная подстанция	Расчетные значения
ТП №2	$V_{рег}=2,77275$ %, принимается стандартная регулируемая надбавка равная 2,5 %, $\Delta U_{дон}=6,353$ %, что составляет 24,1414 В.
ТП №3	$V_{рег}=2,328$ %, принимается стандартная регулируемая надбавка равная 2,5 %, $\Delta U_{дон}=9,887$ %, что составляет 37,5706 В.
ТП №4	$V_{рег}=2,11825$ %, принимается стандартная регулируемая надбавка равная 2,5 %, $\Delta U_{дон}=11,57$ %, что составляет 43,966 В.

Для повышения пропускной способности и уменьшения сечения проводов у потребителей, имеющих большую реактивную мощность (25 и более квар для вечерних нагрузок) устанавливается поперечная емкостная компенсация.

**Таблица 4.13 - Компенсация реактивной мощности сети 0,38 кВ**

Участок сети	Рд, кВт	Qд, квар до компенсации	Qд, квар после компенсации	Сд, кВА	Рв, кВт	Qв, квар до компенсации	Qв, квар после компенсации	Св, кВА	Компенсатор тип/мощность
ТП №2									
П №1 (356) - П №2 (383)	5	4	4	6,403	5	4	4	6,403	-
ТП - П №1 (356)	8	6,4	6,4	10,244	8	6,4	6,4	10,244	-
П №3 (189) - П №4 (300)	25	25	25	35,355	26	23	23	34,713	-
ТП - П №3 (189)	45,7	40,7	40,7	61,196	26	23	23	34,713	-
ТП №3									
ТП - П №1 (386)	28	20	20	34,409	28	20	20	34,409	-
ТП №4									
ТП - П №2 (530)	2	0	0	2	5	0	0	5	-
ТП - П №1 (516)	23	7	7	24,041	14	4	4	14,56	-

## Определение сечения проводов и фактических потерь напряжения, мощности и энергии в сетях 0,38 кВ

**Таблица 4.14 - Определение расчетных сечений и типа проводов**

Участок сети	Расчетное сечение провода, мм	Марка провода	Фактическая потеря напряжения, В
ТП №2			
П №1 (356) - П №2 (383)	1,305	АВВГ 4-2,5	12,151
ТП - П №1 (356)	1,847	АВВГ 4-2,5	17,125
П №3 (189) - П №4 (300)	6,502	АВВГ 4-10,0	14,894
ТП - П №3 (189)	18,584	АВВГ 4-25,0	15,638
ТП №3			
ТП - П №1 (386)	7,201	АС-16	17,385
ТП №4			
ТП - П №2 (530)	0,581	АС-16	1,471
ТП - П №1 (516)	4,032	АС-16	10,827

**Таблица 4.15 - Потери мощности и энергии в сети 0,38 кВ**

Участок сети	S, кВА	P, кВт	I, А	г <sub>0</sub> , Ом/км	L, м	ΔP, кВт	T <sub>м</sub> , час	τ, час	ΔW, кВтч
ТП №2									
П №1 (356) - П №2 (383)	6,403	5	9,728	12,1	75,875	0,26	1300	565,1	146,9
ТП - П №1 (356)	10,244	8	15,564	12,1	66,832	0,587	1300	565,1	331,7
П №3 (189) - П №4 (300)	35,355	25	53,716	3,08	71,87	1,916	2200	103,6,6	1986,1
ТП - П №3 (189)	61,196	45,7	92,977	1,2	103,014	3,205	2200	103,6,6	3322,3
Итого					<b>317,591</b>	<b>5,968</b>			<b>5787</b>
ТП №3									
ТП - П №1 (386)	34,409	28	52,279	1,8	111,973	1,652	2200	1036,6	1712,4
Итого					<b>111,973</b>	<b>1,652</b>			<b>1712,4</b>

ТП №4									
ТП - П №2 (530)	2	2	3,038	1,8	155,37	0,007	1300	565,1	3,9
ТП - П №1 (516)	24,041	23	36,526	1,8	92,644	0,667	2200	1036,6	691,4
Итого					<b>248,014</b>	<b>0,674</b>			<b>695,3</b>

### **Определение конструктивных параметров высоковольтной и низковольтной линий**

Для воздушной линии электропередач напряжением 35, 10, 6 кВ принимаются унифицированные железобетонные опоры максимальный габаритный пролёт которых составляет 125 м.

Участок ТП №2 - ТП №3: Длина участка – 2,4 км. К установке принимаются следующие опоры: №1, №22 – анкерная опора УБ35-1в и №2 – 21 - промежуточная опора ПБ35-3в. Промежуточных опор 20. Пролёт между опорами составляет 120 м.

Участок Р №1 - ТП №4: Длина участка – 1,476 км. К установке принимаются следующие опоры: №1, №22 – анкерная опора УБ35-1в и №2 – 21 - промежуточная опора ПБ35-3в. Промежуточных опор 12. Пролёт между опорами составляет 123 м.

Участок Р №1 - ТП №2: Длина участка – 1,399 км. К установке принимаются следующие опоры: №1, №22 – анкерная опора УБ35-1в и №2 – 21 - промежуточная опора ПБ35-3в. Промежуточных опор 12. Пролёт между опорами составляет 116 м.

Участок РТП - Р №1: Длина участка – 2,267 км. К установке принимаются следующие опоры: №1, №22 – анкерная опора УБ35-1в и №2 – 21 - промежуточная опора ПБ35-3в. Промежуточных опор 19. Пролёт между опорами составляет 119 м.

Для воздушной линии электропередач напряжением 0,38 кВ принимаются унифицированные железобетонные опоры, максимальный пролёт которых составляет 35 м.

ТП № 2 кабельные линии прокладываем в траншее.

Трансформаторная подстанция ТП №3. Участок сети ТП- П №1 (386), длина линии – 111,973 м. К установке принимаются следующие опоры: №1, №10 – концевая опора К1-4 и №2 – 9 - промежуточная опора ПБ1-4. Промежуточных опор 4. Пролёт между опорами составляет 27 м.

Трансформаторная подстанция ТП №4. Участок сети ТП- П №2 (530), длина линии – 155,37 м. К установке принимаются следующие опоры: №1, №10 – концевая опора К1-4 и №2 – 9 - промежуточная опора ПБ1-4. Промежуточных опор 5. Пролёт между опорами составляет 31 м.

Трансформаторная подстанция ТП №4. Участок сети ТП- П №1 (516), длина линии – 92,644 м. К установке принимаются следующие опоры: №1, №10 – концевая опора К1-4 и №2 – 9 - промежуточная опора ПБ1-4. Промежуточных опор 3. Пролёт между опорами составляет 30 м.

### Расчёт токов короткого замыкания

Составим расчетные схемы замещения КЗ.

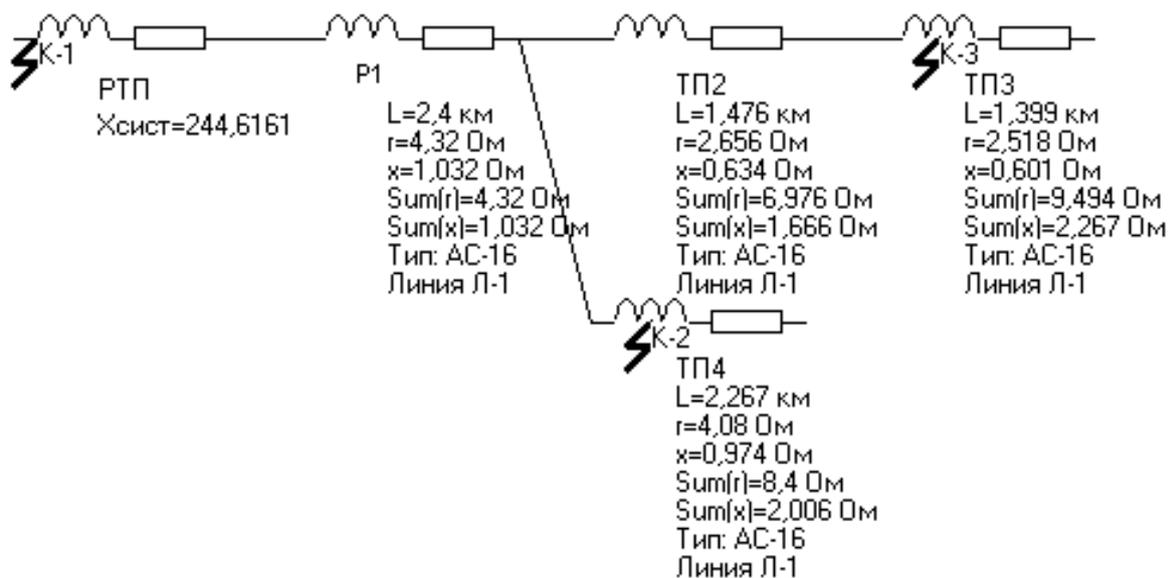


Рисунок 4.5 - Расчетные схемы замещения КЗ ВВ сети

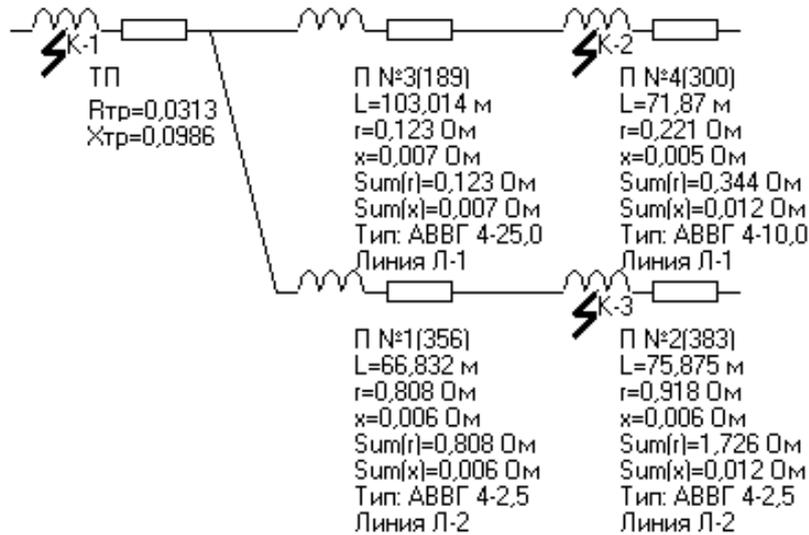


Рисунок 4.6 - Расчетные схемы замещения КЗ ТП № 2

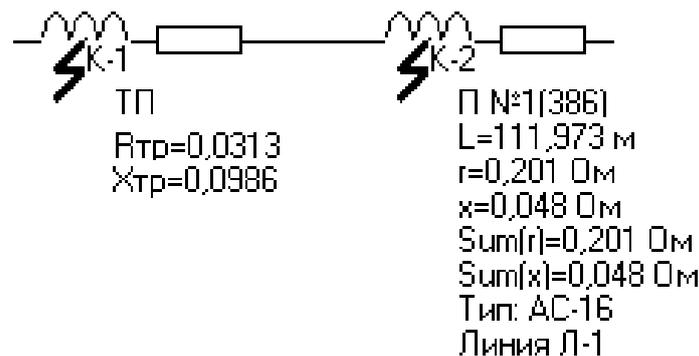


Рисунок 4.7 - Расчетные схемы замещения КЗ ТП № 3

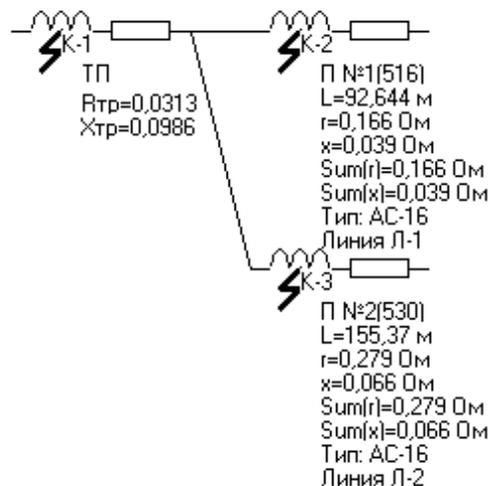


Рисунок 4.8 - Расчетные схемы замещения КЗ ТП № 4

**Таблица 4.16 - Результаты расчётов токов короткого замыкания  
высоковольтной сети**

Точка к.з.	$r, \text{ Ом}$	$x, \text{ Ом}$	$Z, \text{ ом}$	$Z_n, \text{ Ом}$	$T_a$	$K_{уд}$	$I^{(3)}$	$I^{(2)}$	$I^{(1)}$	$i_{уд}$
К-1	0	244,6161	244,6161	-	0	2	0,0867	0,075	-	0,2452
К-2	8,4	2,006	246,7651	-	0,0007	1	0,0859	0,0743	-	0,1214
К-3	9,494	2,267	247,0655	-	0,0007	1	0,0858	0,0743	-	0,1213

**Таблица 4.17 - Результаты расчётов токов короткого замыкания  
низковольтной сети трансформаторных подстанций**

Точка к.з.	$r, \text{ Ом}$	$x, \text{ Ом}$	$Z, \text{ ом}$	$Z_n, \text{ Ом}$	$T_a$	$K_{уд}$	$I^{(3)}$	$I^{(2)}$	$I^{(1)}$	$i_{уд}$
<b>Р №1</b>										
К-1	0,03136	0,09861	0,1034	0	0,01	1,367	2,2278	1,9293	0	4,3093
<b>ТП №2</b>										
К-1	0,03136	0,09861	0,1034	0	0,01	1,367	2,2278	1,9293	0	4,3093
К-2	0,344	0,012	0,2731	0,344	0,0001	1	0,8435	0,7304	0,6603	1,1928
К-3	1,726	0,012	0,9552	1,726	0	2	0,2411	0,2087	0,2009	0,6819
<b>ТП №3</b>										
К-1	0,03136	0,09861	0,1034	0	0,01	1,367	2,2278	1,9293	0	4,3093
К-2	0,201	0,048	0,2752	0,206	0,0007	1	0,837	0,7248	0,855	1,1836
<b>ТП №4</b>										
К-1	0,03136	0,09861	0,1034	0	0,01	1,367	2,2278	1,9293	0	4,3093
К-2	0,166	0,039	0,2416	0,17	0,0007	1	0,9534	0,8256	0,9267	1,3483
К-3	0,279	0,066	0,3522	0,286	0,0007	1	0,654	0,5663	0,7298	0,9248

### **Выбор и проверка аппаратуры высокого напряжения ячеек питающих линий**

Согласно ПУЭ электрические аппараты выбирают по роду установки, номинальному току и напряжению, проверяют на динамическую и термическую устойчивость. Ячейка питающей линии представляет собой комплектное распределительное устройство наружной или внутренней установки. КРУН комплектуется двумя разъединителями с короткозамыкателями (QS) для создания видимого разрыва цепи при проведении профилактических и ремонтных работ обслуживающим или оперативным персоналом, выключателем нагрузки (QF) и комплектом трансформаторов тока (ТА), которые служат для питания приборов релейной защиты и приборов учёта электрической энергии. Однолинейная упрощённая схема КРУН представлена на рисунке 4.9.

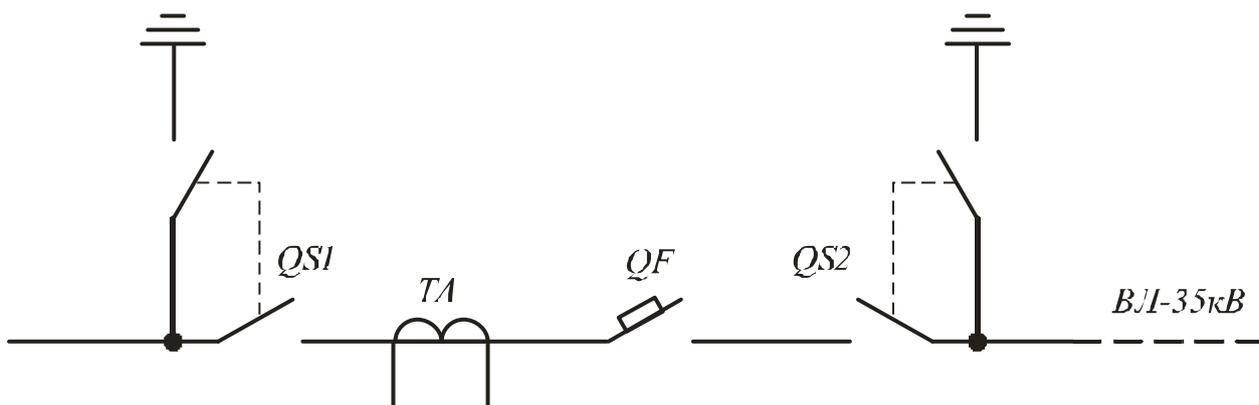


Рисунок 4.9 - Однолинейная упрощённая схема КРУН.

Для выбора и проверки электрических аппаратов высокого напряжения целесообразно составить таблицу, куда вносятся исходные данные места установки аппарата и его каталожные данные. Место установки – РТП.

Таблица 4.18 - Сравнение исходных данных места установки, с параметрами выключателя, разъединителя, трансформатора тока

Исходные данные места установки	Параметры выключателя	Параметры разъединителя	Параметры Трансформатора тока
	Тип ВП-35	Тип РНД(3)-35/1000	Тип ТПОЛ-35
$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	35 кВ	35 кВ	35 кВ
$I_{ном} = 1,821 \text{ А}$	0,4 кА	1000 А	400 А
$I_{K1}^{(3)} = 0,086 \text{ кА}$	5 кА	-	-
$i_{удK1} = 0,245 \text{ кА}$	16 кА	64 кА	100 кА
$[I_{K1}^{(3)}]^2 \cdot t_k$	6,3 кА	25 кА	1,6 кА

Как видно из табл. 4.18 параметры всех выбранных аппаратов удовлетворяют предъявляемым требованиям.

## Согласование защит, карта селективности

Для согласования действия защит необходимо построить карту селективности, которая представляет собой построенные в координатах время ток, графики зависимости времени срабатывания защитных аппаратов от тока, приведенного к одной ступени напряжения. Построение выполняется в логарифмическом масштабе.

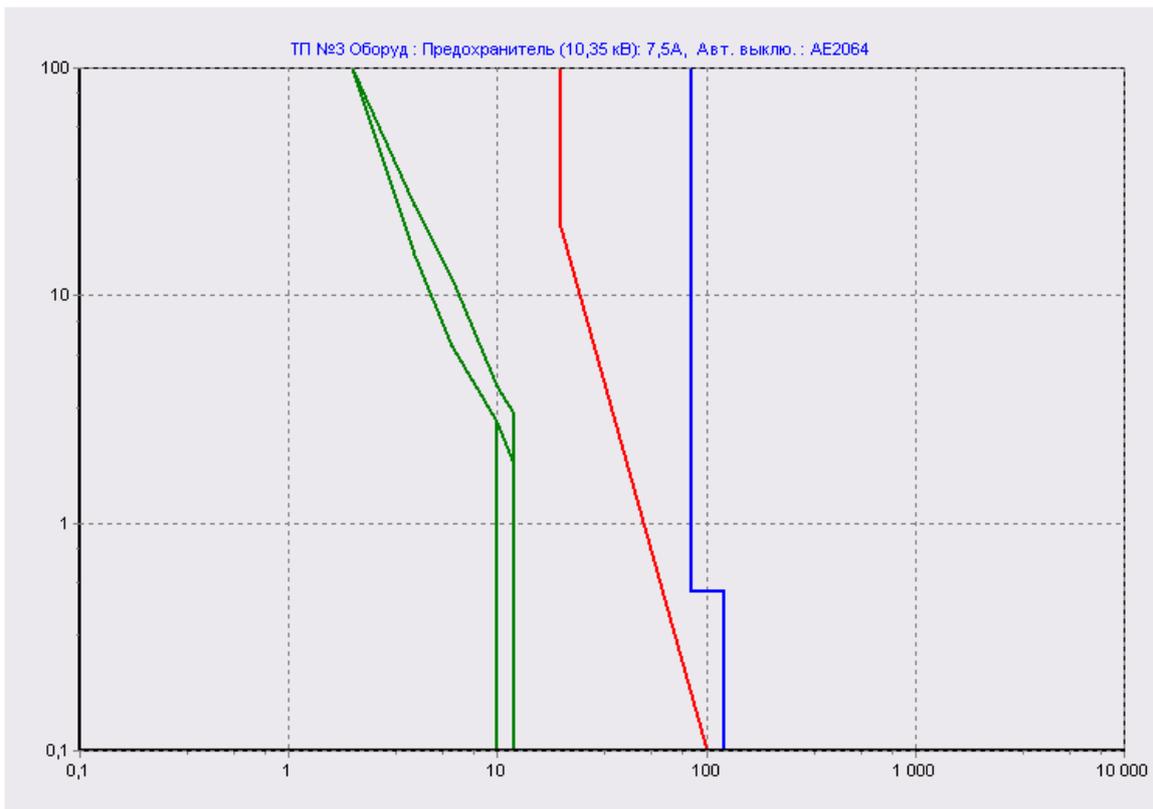
Карта селективности строится для ТП в конце линии при заданной конфигурации НВ сети данных трансформаторных подстанций.

Порядок построения:

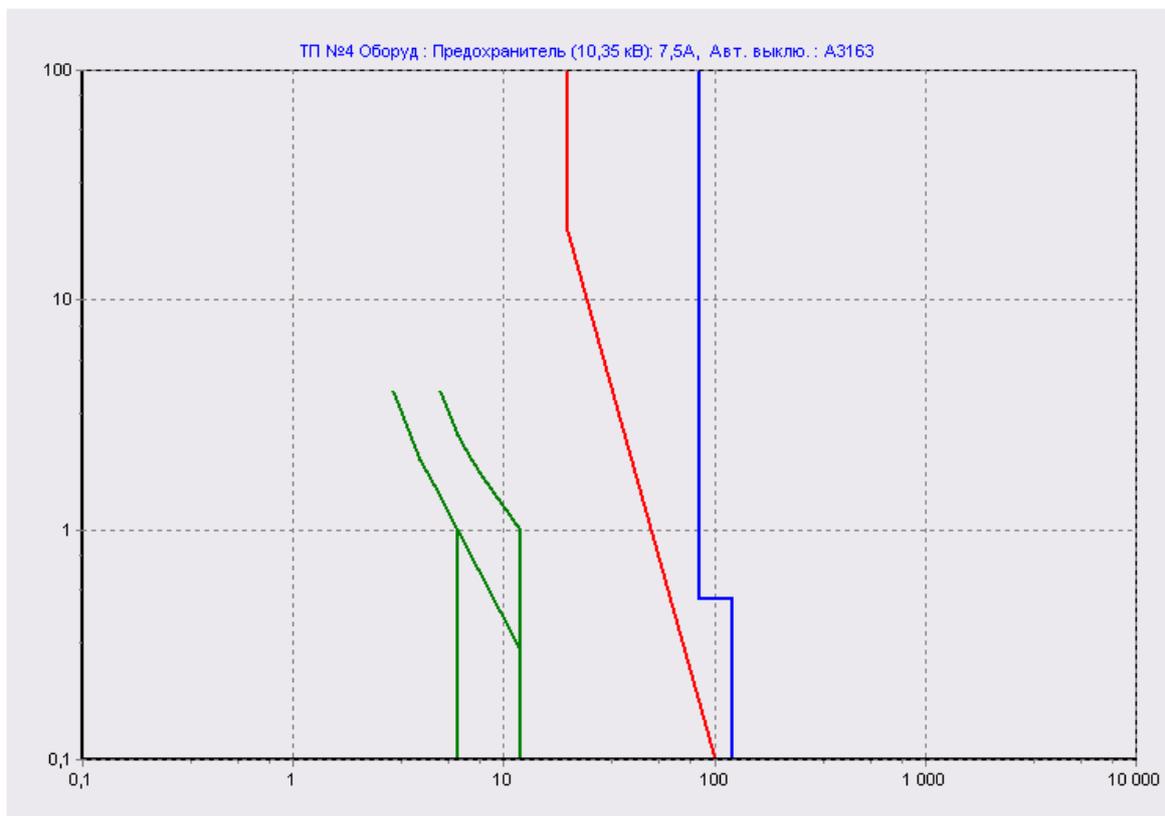
1. Наносится характеристика автоматического выключателя с максимальным током теплового расцепителя, приведенного к выбранной ступени напряжения, на карту селективности по точкам.
2. Наносится характеристика предохранителя ПК – 35 с номинальным током плавкой вставки по точкам;
3. Откладывается ток трехфазного короткого замыкания на шинах 0,4 кВ расчетной ТП, приведенной к ступени напряжения 35 кВ.

Таблица 4.19 - К построению карты селективности

№ ТП	ПК	Автоматический выключатель	$I_{с.з.}^{III}$ , А	$I_{с.з.}^I$ , А
ТП №3	ПК -35, 7,5 А	АЕ2064	0,88	121,129
ТП №4	ПК -35, 7,5 А	А3163	0,664	121,27



**Рисунок 4.10 – Карта селективности ТП № 3**



**Рисунок 4.11 – Карта селективности ТП № 4**

## Расчёт сети по потере напряжения при пуске электродвигателя

Потребитель П №3 (189 - Измельчитель грубых кормов ИГК-30Б) трансформаторной подстанции ТП 2 имеет привод с электродвигателем 4А180М6У3

### Паспортные данные электродвигателя

$P_{ном}=18,5 \text{ кВт}$	$\cos \varphi_{ном}=0,87$	$КПД=0,86$
$\lambda_{max}=2$	$\lambda_{min}=1$	$\lambda_{пуск}=1,2$
$\lambda_{кр}=1,2$	$R_{к.н}=0,1$	$X_{к.н}=0,18$
$S_k=14$	$k_I=6$	$\lambda_{тр}=1,2$

$$\delta U_{\text{дон.д.}} = -(1-1,099) \cdot 100 = 9,924 \%$$

$$r_l = 0,123 \text{ Ом,}$$

$$x_l = 0,007 \text{ Ом.}$$

Пусковой коэффициент реактивной мощности равен

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{пуск}} = 1,799 \Rightarrow \cos \varphi_{\text{пуск}} = 0,485$$

Мощность асинхронного двигателя при пуске равна

$$P_{\text{д.пуск}} = (53,906 \cdot 1,208) / 0,748 = 87,058 \text{ кВт.}$$

Потери напряжения в трансформаторе при пуске асинхронного электродвигателя равны

$$\Delta U_{\text{трансф}} = (87,058 \cdot 13,119) / 71,428 = 15,99 \%$$

Потери напряжения в линии 0,38 кВ при пуске двигателя равны

$$\Delta U_{\text{Л0,38пуск}} = ((87058,083 \cdot (0,123 + 0,012)) / (144400)) \cdot 100\% = 8,175 \%$$

Отклонение напряжения на зажимах электродвигателя до пуска

$$\Delta U_{\text{д.д.пуск.}} = 4,115 \%$$

Фактическое отклонение напряжения на зажимах асинхронного электродвигателя при пуске составит

$$\delta U_{\text{д.пус.ф.}} = -28,28 \%$$

Пуск двигателя произойдет успешно.

Потребитель П №1 (386 - Котельная с 4 котлами "Универсал-6" для отопления и горячего водоснабжения) трансформаторной подстанции ТП 3 имеет привод с электродвигателем 4А200М6У3

### Паспортные данные электродвигателя

$P_{ном}=22 \text{ кВт}$	$\cos \varphi_{ном}=0,9$	$КПД=0,9$
--------------------------	--------------------------	-----------

$\lambda_{\max}=2,4$	$\lambda_{\min}=1$	$\lambda_{\text{пуск}}=1,3$
$\lambda_{\text{кр}}=1,3$	$R_{к.л}=0,092$	$X_{к.л}=0,17$
$S_{к}=13,5$	$\kappa_{л}=6,5$	$\lambda_{\text{мп}}=1,2$

$$\delta U_{\text{дон.д.}} = -(1-1,056) \cdot 100 = 5,611 \%$$

$$r_{\text{л}} = 0,201 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{л}} = 0,048 \text{ Ом.}$$

Пусковой коэффициент реактивной мощности равен

$$\text{tg} \varphi_{\text{пуск}} = 1,847 \Rightarrow \cos \varphi_{\text{пуск}} = 0,475$$

Мощность асинхронного двигателя при пуске равна

$$P_{\text{д.пуск}} = (68,06 \cdot 1,115) / 0,81 = 93,72 \text{ кВт.}$$

Потери напряжения в трансформаторе при пуске асинхронного электродвигателя равны

$$\Delta U_{\text{трансф}} = (93,72 \cdot 13,415) / 34,409 = 36,541 \%$$

Потери напряжения в линии 0,38 кВ при пуске двигателя равны

$$\Delta U_{\text{Л0,38пуск}} = ((93720,978 \cdot (0,201 + 0,088)) / (144400)) \cdot 100\% = 18,802 \%$$

Отклонение напряжения на зажимах электродвигателя до пуска

$$\Delta U_{\text{д.д.пуск}} = 4,575 \%$$

Фактическое отклонение напряжения на зажимах асинхронного электродвигателя при пуске составит

$$\delta U_{\text{д.пус.ф.}} = -59,918 \%$$

Пуск двигателя произойдет успешно.

### Выбор устройств от перенапряжений

Защиту подстанций напряжением 10 – 35 кВ выбирают в зависимости от их мощности. Если мощность подстанции менее 630 кВА, на каждой ее системе шин устанавливают комплект вентильных разрядников, расположенных возможно близко к трансформаторам и присоединенных к заземляющему контуру подстанции кратчайшим путем. Кроме того, на расстоянии 150 – 200 м от подстанции на всех подходящих воздушных линиях монтируют комплекты трубчатых разрядников РТ-1 или заменяющих их защитных искровых промежутков ПЗ-1 (при токах короткого замыкания, меньших нижнего предела, гасящегося трубчатыми разрядниками). Сопротивление заземления этих разрядников РТ-1 или промежутков ПЗ-1 должно быть не более 10 Ом.

На питающих линиях для защиты разомкнутых разъединителей или выключателей у приемных порталов или у вводов в закрытое распределительные устройства дополнительно устанавливают трубчатые разрядники РТ-2 или защитные промежутки ПЗ-2, присоединяя их к заземляющему контуру подстанции. Подстанции мощностью 630 кВ-А и больше защищают так же, но дополнительно все воздушные линии передачи, подходящие к этим подстанциям на расстояние 150 – 200 м, защищают протяженными молниеотводами, (тросы). При этом трубчатые разрядники РТ-1 или защитные промежутки ПЗ-1 устанавливают в начале подходов линий передачи, защищенных тросами. Протяженные молниеотводы заземляют на каждой опоре подходов, причем импульсные сопротивления заземлений должны быть не более 10 Ом. В начале подхода к заземлению опоры присоединяют трос и разрядник РТ-1 или промежуток ПЗ-1. В конце подхода трос к заземленному контуру подстанции не присоединяют, а обрывают на первой опоре от подстанции. При этом пролет (50 – 60 м), не защищенный тросом, должен перекрываться защитными зонами стержневых молниеотводов, устанавливаемых для защиты открытых подстанций такой мощности.

### Расчёт уставок релейной защиты

Линия Л-1

$I_p=1,821 \text{ А}$

$$I_{с.з}^{III} = 2,403/0.85 = 2,827 \text{ А}$$

$$I_{с.р.}^{III} = 2,827/80 = 0,035 \text{ А.}$$

Точка короткого замыкания К-3

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания на оконечных потребителях.

$$K_{\nu} = 74,3/2,827 = 26,273$$

$$I_{с.з}^I = 102,96/0,85 = 121,129 \text{ А.}$$

$$I_{с.р.}^I = 121,129/80 = 1,514 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания в месте установки защиты. Коэффициент чувствительности для токовой отсечки должен быть не менее 1,2.

$$K_{\nu} = 300/121,129 = 2,476 > 1,2 .$$

Точка короткого замыкания К-2

Коэффициент чувствительности определяется через минималь-

ный ток короткого замыкания на оконечных потребителях.

$$K_u = 74,3/2,827 = 26,273$$

$$I_{c.з}^I = 103,08/0,85 = 121,27 \text{ А.}$$

$$I_{c.п}^I = 121,27/80 = 1,515 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания в месте установки защиты. Коэффициент чувствительности для токовой отсечки должен быть не менее 1,2.

$$K_u = 300/121,27 = 2,473 > 1,2 .$$

Выбор и проверка высоковольтной и низковольтной аппаратуры на подстанции

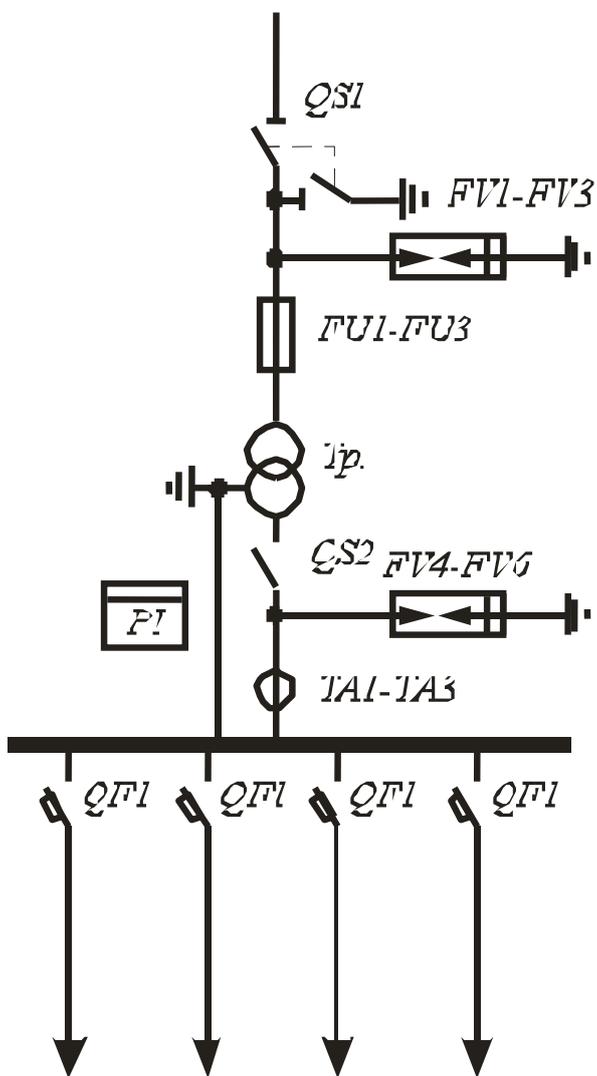


Рисунок 4.12 - Однолинейная принципиальная схема ТП

Разъединитель QS1 выбирается по тем же условиям, что и разъединитель питающей линии: для трансформаторной подстанции ТП 1

тип РНД(З)-35/1000;  
номинальный ток 1000 А;  
номинальное напряжение 35 кВ;  
амплитуда сквозного тока 64 кА;  
ток термической стойкости 25 кА

Для защиты трансформатора с высокой стороны устанавливаются предохранители FU1 – FU3. Ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию

$$I_{пл.вс} = 0 \text{ А.}$$

Принимаются предохранители типа 7,5 с током плавкой вставки 7,5 А.

Шины 0,4 кВ подключаются к трансформатору через рубильник QS2 типа Р2315 с номинальным током 600А.

Трансформаторы тока ТА1-ТА3 типа ТК20 служат для питания счётчика активной энергии СА4-И672.

Разъединитель QS1 выбирается по тем же условиям, что и разъединитель питающей линии: для трансформаторной подстанции ТП 2

тип РНД(З)-35/1000;  
номинальный ток 1000 А;  
номинальное напряжение 35 кВ;  
амплитуда сквозного тока 64 кА;  
ток термической стойкости 25 кА

Для защиты трансформатора с высокой стороны устанавливаются предохранители FU1 – FU3. Ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию

$$I_{пл.вс} = 1,771 \text{ А.}$$

Принимаются предохранители типа 7,5 с током плавкой вставки 7,5 А.

Шины 0,4 кВ подключаются к трансформатору через рубильник QS2 типа Р2315 с номинальным током 600А.

Трансформаторы тока ТА1-ТА3 типа ТК20 служат для питания счётчика активной энергии СА4-И672.

Выбор автоматических выключателей на отходящих линиях производится исходя из следующих условий

$$1. I_{т.р.} \geq K_{с.з} \times I_{\max}, \quad K_{с.з} = 1;$$

$$2. I_{пред} \geq i_{уд. max};$$

$$3. \frac{I_{к min}^{(2)}}{I_{эм}} \geq 1,25;$$

$$4. \frac{I_{к min}^{(1)}}{I_{эм}} \geq 1,25.$$

Линия Л-2 Максимальный ток – 9,728 А, ударный ток – 0,681 кА, двухфазный ток короткого замыкания – 208,7 А, однофазный ток короткого замыкания – 200,9 А. К установке принимается автоматический выключатель АЕ2063 с током теплового расцепителя 10 А, током электромагнитного расцепителя 120 А, и током динамической стойкости 15 кА.

$$1. 10 \text{ А} > 9,728 \text{ А};$$

$$2. 15 \text{ кА} > 0,681 \text{ кА};$$

$$3. 208,7/120=1,739;$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет третьему условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 3

$$4. 200,9/120=1,674$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет четвертому условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 4,523 Следовательно все условия выполняются

Линия Л-1 Максимальный ток – 53,716 А, ударный ток – 1,192 кА, двухфазный ток короткого замыкания – 730,4 А, однофазный ток короткого замыкания – 660,3 А. К установке принимается автоматический выключатель АЕ2064 с током теплового расцепителя 63 А, током электромагнитного расцепителя 756 А, и током динамической стойкости 15 кА.

$$1. 63 \text{ А} > 53,716 \text{ А};$$

$$2. 15 \text{ кА} > 1,192 \text{ кА};$$

$$3. 730,4/756=0,966;$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет третьему условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 3

$$4. 660,3/756=0,873$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет четвертому условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 3,493 Следовательно все условия выполняются

Разъединитель QS1 выбирается по тем же условиям, что и разъединитель питающей линии: для трансформаторной подстанции ТП 3

тип РНД(3)-35/1000;

номинальный ток 1000 А;

номинальное напряжение 35 кВ;

амплитуда сквозного тока 64 кА;

ток термической стойкости 25 кА

Для защиты трансформатора с высокой стороны устанавливаются предохранители FU1 – FU3. Ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию

$$I_{пл.вс} = 0,923 \text{ А.}$$

Принимается предохранители типа 7,5 с током плавкой вставки 7,5 А.

Шины 0,4 кВ подключаются к трансформатору через рубильник QS2 типа Р2315 с номинальным током 600А.

Трансформаторы тока ТА1-ТА3 типа ТК20 служат для питания счётчика активной энергии СА4-И672.

Линия Л-1 Максимальный ток – 52,279 А, ударный ток – 1,183 кА, двухфазный ток короткого замыкания – 724,8 А, однофазный ток короткого замыкания – 855 А. К установке принимается автоматический выключатель АЕ2064 с током теплового расцепителя 63 А, током электромагнитного расцепителя 756 А, и током динамической стойкости 15 кА.

$$1. 63 \text{ А} > 52,279 \text{ А};$$

$$2. 15 \text{ кА} > 1,183 \text{ кА};$$

$$3. 724,8/756=0,958;$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет третьему условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 3

$$4. 855/756=1,13$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет чет-

вертому условия. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 4,523 Следовательно все условия выполняются

Разъединитель QS1 выбирается по тем же условиям, что и разъединитель питающей линии: для трансформаторной подстанции ТП 4 тип РНД(З)-35/1000;

номинальный ток 1000 А;

номинальное напряжение 35 кВ;

амплитуда сквозного тока 64 кА;

ток термической стойкости 25 кА

Для защиты трансформатора с высокой стороны устанавливаются предохранители FU1 – FU3. Ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию

$$I_{пл.вс} = 0,824 \text{ А.}$$

Принимается предохранители типа 7,5 с током плавкой вставки 7,5 А.

Шины 0,4 кВ подключаются к трансформатору через рубильник QS2 типа Р2315 с номинальным током 600А.

Трансформаторы тока ТА1-ТА3 типа ТК20 служат для питания счётчика активной энергии СА4-И672.

Линия Л-1 Максимальный ток – 36,526 А, ударный ток – 1,348 кА, двухфазный ток короткого замыкания – 825,6 А, однофазный ток короткого замыкания – 926,7 А. К установке принимается автоматический выключатель АЗ163 с током теплового расцепителя 40 А, током электромагнитного расцепителя 400 А, и током динамической стойкости 15 кА.

1.  $40 \text{ А} > 36,526 \text{ А};$

2.  $15 \text{ кА} > 1,348 \text{ кА};$

3.  $825,6/400=2,064;$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет третьему условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 3

4.  $926,7/400=2,316$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет четвертому условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 4,523 Следовательно все условия выполняются

Линия Л-2 Максимальный ток – 3,038 А, ударный ток – 0,924 кА, двухфазный ток короткого замыкания – 566,3 А, однофазный ток короткого замыкания – 729,8 А. К установке принимается автоматический выключатель АЕ2063 с током теплового расцепителя 3,2 А, током электромагнитного расцепителя 38,4 А, и током динамической стойкости 15 кА.

$$1. 3,2 \text{ А} > 3,038 \text{ А};$$

$$2. 15 \text{ кА} > 0,924 \text{ кА};$$

$$3. 566,3/38,4=14,747;$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет третьему условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 3

$$4. 729,8/38,4=19,005$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет четвертому условию. Дополнительно устанавливаем защитную приставку ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ 189 А. Получаем коэффициент : 4,523 Следовательно все условия выполняются.

### Расчёт контура заземления подстанций

Расчет контура заземления трансформаторной подстанции ТП

$$2 \quad R_c = 18,3 \cdot 6,7 = 122,616 \text{ Ом}$$

$$n_{od} = 122,616/30 = 4,087.$$

$$n_{m.n} = 31$$

$$R'_c = 122,616/18,6 = 6,592 \text{ Ом.}$$

$$R'_n = 0,655 \cdot 4,902 = 3,215 \text{ Ом,}$$

$$R_{od} = 394,292/125,832 = 3,133 \text{ Ом.}$$

$$R_{3.в.л} = 3,133/2 = 1,566 \text{ Ом.}$$

$$R_3 = 2,454/3,916 = 0,626 \text{ Ом.}$$

## 5 ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

**Таблица 5.1 - Исходные данные**

Наименование оборудования	Кол-во, n	$K_{и}$	$K_{с}$	$\cos(\varphi)$	$P_{н}$ (ед), кВт
<b>ТП - ТП №1</b>					
Группа П №1 (сверлильный станок)	2	0,14		0,5	4
Группа П №1 (фрезерный станок при крупносерийном производстве)	2	0,16		0,6	2
Группа П №1 (долбежный станок)	2	0,14		0,5	8
Группа П №2 (Сварочные машины шовные)	6	0,5		0,7	5

**Таблица 5.2 - Исходные данные**

Наименование оборудования	n	m	$n_{эф}$
<b>Группа П №1 ТП №1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2,333</b>
<b>Группа П №2 ТП №1</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Определим  $K_m$  для каждой группы потребителей и составим следующую таблицу

**Таблица 5.3 - Исходные данные**

Наименование оборудования	$n_{эф}$	$K_{и}$	$K_m$
<b>ТП - ТП №1</b>			
Группа П №1 (сверлильный станок)	2,333	0,14	3,11
Группа П №1 (фрезерный станок при крупносерийном	2,333	0,16	2,64
Группа П №1 (долбежный станок)	2,333	0,14	3,11
Группа П №2 (Сварочные машины шовные)	1	0,5	1,65

Проведя соответствующие расчеты, сформируем окончательную таблицу нагрузок.

**Таблица 5.4 - Исходные данные**

№ п.п.	Наименование	Дневной максимум			Вечерний максимум		
		$P_d$ , кВт	$Q_d$ , квар	$S_d$ , кВА	$P_v$ , кВт	$Q_v$ , квар	$S_v$ , кВА
ТП №1							
П №1	группа 1	37,339	26,24	45,637	37,339	26,24	45,637
П №2	группа 2	24,75	16,833	29,932	24,75	16,833	29,932

**Определение места расположения трансформаторной подстанции.  
Выбор конфигурации сети 0,38 кВ. Определение координат центра электрических нагрузок**

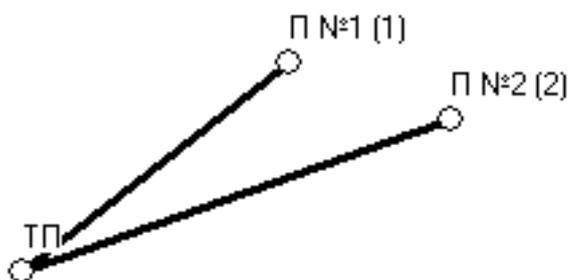
**Таблица 5.5 - Координаты потребителей низковольтной сети**

Код потребителя	Координата X	Координата Y
ТП №1		
П №1	180	428
П №2	217	415

Центы электрических нагрузок низковольтных сетей представлены в следующей таблице 5.6 для каждой ТП

**Таблица 5.6 - Центры электрических нагрузок**

№ ТП (наименование)	ЦЭН Координата X	ЦЭН Координата Y
ТП №1	194,655	422,85



**Рисунок 5.1 - Схема расположения потребителей ТП № 1**

## Определение электрических нагрузок сети 0,38 кВ

**Таблица 5.7 - Расчёт нагрузок сети 0,38 кВ**

Участок сети	Рд, кВт	Qд, квар	Сд, кВА	Рв, кВт	Qв, квар	Св, кВА
<b>ТП №1</b>						
ТП - П №2	24,75	16,833	29,931	24,75	16,833	29,931
ТП - П №1	37,339	26,24	45,637	37,339	26,24	45,637

Суммирование нагрузок ведётся методом надбавок или коэффициента одновременности аналогично и результаты расчётов заносятся в табл.5.8

**Таблица 5.8 - Расчёт нагрузок на ТП**

Номер ТП	Рд, кВт	Qд, квар	Сд, кВА	Рв, кВт	Qв, квар	Св, кВА
ТП №1	62,089	43,072	75,566	62,089	43,072	75,566

### Определение места расположения распределительной трансформаторной подстанции. Конфигурация сети высокого напряжения и определение величины высокого напряжения

**Таблица 5.9 - Координаты потребителей низковольтной сети**

ТП	Координата X	Координата Y
ТП №1	3,3	7,9

Центр электрических нагрузок высоковольтной сети имеет следующие координаты:

$$X=3,3 \text{ км}$$

$$Y=7,9 \text{ км}$$



**Рисунок 5.2 – Схема ВВ сети**

## Определение нагрузок в сети высокого напряжения

**Таблица 5.10 - Результаты суммирования нагрузок  
в сети высокого напряжения**

Номер участка	P <sub>д</sub> , кВт	Q <sub>д</sub> , квар	S <sub>д</sub> , кВА	P <sub>в</sub> , кВт	Q <sub>в</sub> , квар	S <sub>в</sub> , кВА
РТП - ТП №1	62,089	43,072	75,566	62,089	43,072	75,566

Эквивалентная длина составит

$L_{ЭК} = 1,503$  км.

$U_{опт} = 6,857$  кВ.

Принимаем стандартное напряжение 10 кВ.

Определение числа и мощности трансформаторов на подстанции

**Таблица 5.11 - Технические данные трансформатора**

№ ТП	Тип	Номинальная мощность, кВА	Сочетание напряжений, кВ		Потери, кВт		Напряжение к.з. %	Ток х.х., %
			В.Н.	Н.Н.	х.х	к.з.		
ТП №1	ТМ-63	63	10	0,4	0,265	1,28	4,5	2,8

Выбранный трансформатор проверяется по коэффициенту систематических перегрузок.

**Таблица 5.12 - Коэффициент системных перегрузок ТП**

Трансформаторная подстанция	$k_{cn} = \frac{S_p}{S_{mp}}$
ТП №1	1,19

### Выбор типа подстанции

Для электроснабжения сельских потребителей на напряжении 0,38/0,22 кВ непосредственно возле центров потребления электроэнергии сооружают трансформаторные пункты или комплектные трансформаторные подстанции на 35, 6-10/0,38-0,22 кВ. Обычно мощности трансформаторных пунктов не очень значительны, и иногда их размещают на деревянных мачтовых конструкциях. Комплектные трансформатор-

ные подстанции устанавливаются на специальных железобетонных опорах. Трансформаторные пункты при использовании дерева монтируются на АП-образных опорах. Они имеют невысокую стоимость, и их сооружают в короткий срок, причем для их сооружения используют местные строительные материалы.

Комплектные подстанции полностью изготавливаются на заводах, а на месте установки их только монтируют на соответствующих железобетонных опорах или фундаментах. Эксплуатация таких трансформаторных пунктов и комплектных подстанций очень проста, что обусловило их широкое применение в практике вообще и, особенно в сельской энергетике. Их применяют также на окраинах городов, а иногда и в качестве цеховых пунктов электроснабжения на заводах и фабриках. На этих подстанциях имеется вся необходимая аппаратура для присоединения к линии 35, 6-10 кВ (разъединитель, вентильные разрядники, предохранители), силовой трансформатор мощностью от 25 до 630 кВА и распределительное устройство сети 0,38/0,22 кВ, смонтированное в герметизированном металлическом ящике. На конструкции подстанции крепят необходимое число изоляторов для отходящих воздушных линий 0,38/0,22 кВ.

### Расчет сечения проводов сети высокого напряжения

Таблица 5.13 - Расчет сечения проводов в сети высокого напряжения

Участок сети	$S_p$ , кВА	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А	$T_m$ , час	$j_{эк.}$ , А/мм <sup>2</sup>	$F_{эк.}$ , мм <sup>2</sup>	Марка провода
РТП - ТП №1	75,566	62,089	4,362	2800	1,3	3,355	АС-16

### Определение потерь напряжения в высоковольтной сети и трансформаторе

Таблица 5.14 - Потери напряжения в сети высокого напряжения

Участок сети	Марка провода	$P$ , кВт	$r_0$ , Ом/км	$Q$ , квар	$x_0$ , Ом/км	$L$ , км	$\Delta U$ , В	$\Delta U$ , %
РТП - ТП №1	АС-16	62,089	1,8	43,072	0,43	1,503	19,581	0,195

Потери напряжения в трансформаторе определяются по формуле  
 Трансформаторная подстанция      Расчетные значения

ТП №1

$$U_a = 0,02 \%,$$

$$U_p = 4,499 \%,$$

$$\cos \varphi = 0,821,$$

$$\sin(\varphi)=0,57$$

$$\Delta U = 3,095 \%$$

### Определение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения и трансформаторе

**Таблица 5.15 - Определение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения**

Участок сети	I, А	$r_0$ , Ом/км	L, км	$\Delta P$ , кВт	$T_m$ , час	$\tau$ , час	$\Delta W$ , кВт·ч
РТП - ТП №1	4,362	1,8	1,503	0,085	2800	1429,772	121,53
Итого:			1,503	0,085			121,53

Потеря мощности и энергии, теряемые в высоковольтных линиях, в процентах от потребляемой

Трансформаторная  
подстанция  
ТП №1

Расчетные значения

$$\Delta P_{mp}=2,106 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_{mp}= 3753,013 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

### Определение допустимой потери напряжения в сетях 0,38 кВ

Допустимая потеря напряжения в сети 0,38 кВ определяется для правильного выбора сечения проводов линии.

Трансформаторная  
подстанция  
ТП №1

Расчетные значения

$V_{рег}=2,8225 \%$ , принимается стандартная регулируемая надбавка равная 2,5 %,

$$\Delta U_{дон}=6,309 \%, \text{ что составляет } 23,9742 \text{ В}.$$

Для повышения пропускной способности и уменьшения сечения проводов у потребителей, имеющих большую реактивную мощность (25 и более квар для вечерних нагрузок) устанавливается поперечная емкостная компенсация.

**Таблица 5.16 - Компенсация реактивной мощности сети 0,38 кВ**

Участок сети	Рд, кВт	Qд, квар до компенсации	Qд, квар после компенсации	Sд, кВА	Рв, кВт	Qв, квар до компенсации	Qв, квар после компенсации	Sв, кВА	Компенсатор тип/мощность
ТП №1									
ТП 1 - П №2	24,75	16,833	16,833	29,931	24,75	16,833	16,833	29,931	-
ТП 1 - П №1	37,339	26,24	1,239	37,359	37,339	26,24	1,239	37,359	УКН-0,4-25/25

## Определение сечения проводов и фактических потерь напряжения, мощности и энергии в сетях 0,38 кВ

**Таблица 5.17 - Определение расчетных сечений и типа проводов**

Участок сети	Расчетное сечение провода, мм	Марка провода	Фактическая потеря напряжения, В
ТП №1			
ТП - П №2	20,67	АС-25	9,767
ТП - П №1	25,8	АС-35	6,547

Потери мощности и энергии в линиях 0,38 кВ определяются аналогично потерям мощности и энергии в высоковольтной линии, результаты расчётов указываются в таблице 5.18

**Таблица 5.18 - Потери мощности и энергии в сети 0,38 кВ**

Участок сети	S, кВА	P, кВт	I, А	r <sub>0</sub> , Ом/км	L, м	ΔP, кВт	T <sub>м</sub> , час	τ, час	ΔW, кВтч
ТП №1									
ТП - П №2	29,931	24,75	45,475	1,14	104,687	0,74	2200	1036,6	767
ТП - П №1	37,359	37,339	56,761	0,83	78,959	0,633	2200	1036,6	656,1
Итого					183,646	1,373			1423,1

### Определение конструктивных параметров высоковольтной и низковольтной линий

Для воздушной линии электропередач напряжением 35, 10, 6 кВ принимаются унифицированные железобетонные опоры максимальный габаритный пролёт которых составляет 125 м.

Участок РТП - ТП №1: Длина участка – 1,503 км. К установке принимаются следующие опоры: №1, №22 – анкерная опора УБ35-1в и №2 – 21 - промежуточная опора ПБ35-3в. Промежуточных опор 13. Пролёт между опорами составляет 115 м.

Для воздушной линии электропередач напряжением 0,38 кВ принимаются унифицированные железобетонные опоры, максимальный пролёт которых составляет 35 м.

Трансформаторная подстанция ТП №1. Участок сети ТП- П №2, длина линии – 104,687 м. К установке принимаются следующие опоры: №1, №10 – концевая опора К1-4 и №2 – 9 - промежуточная опора ПБ1-4. Промежуточных опор 3. Пролёт между опорами составляет 34 м.

Трансформаторная подстанция ТП №1. Участок сети ТП- П №1, длина линии – 78,959 м. К установке принимаются следующие опоры: №1, №10 – концевая опора К1-4 и №2 – 9 - промежуточная опора ПБ1-4. Промежуточных опор 3. Пролёт между опорами составляет 26 м.

### Расчёт токов короткого замыкания

Составим расчетные схемы замещения КЗ.

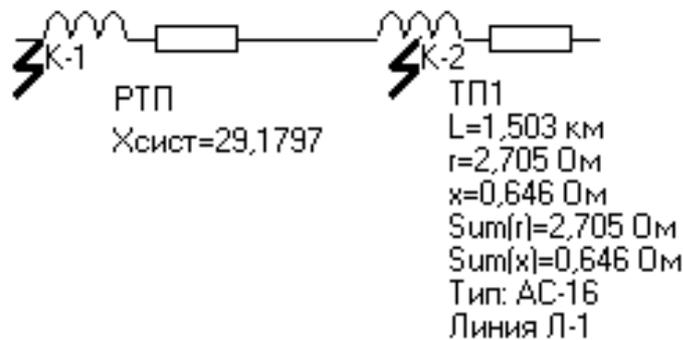


Рисунок 5.3 – Схема замещения КЗ ВВ сети

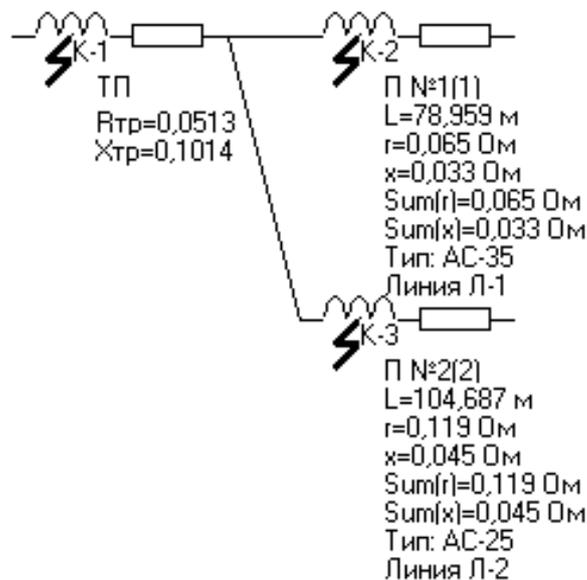


Рисунок 5.4 – Схема замещения КЗ ТП 1

**Таблица 5.19 - Результаты расчётов токов короткого замыкания  
высоковольтной сети**

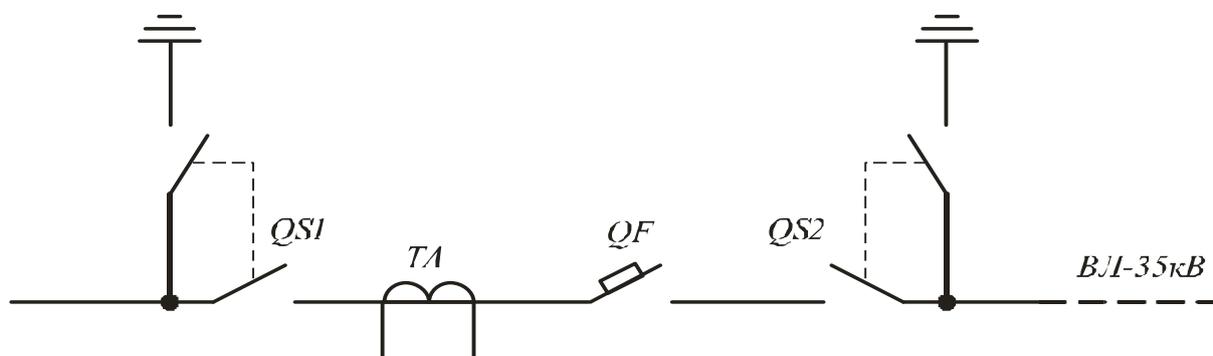
Точка к.з.	$r, \text{ Ом}$	$x, \text{ Ом}$	$Z, \text{ ом}$	$Z_{\text{п}}, \text{ Ом}$	$T_a$	$K_{\text{уд}}$	$I^{(3)}$	$I^{(2)}$	$I^{(1)}$	$i_{\text{уд}}$
К-1	0	29,1797	29,1797	-	0	2	0,2077	0,1798	-	0,5874
К-2	2,705	0,646	29,9481	-	0,0007	1	0,2024	0,1752	-	0,2862

**Таблица 5.20 - Результаты расчётов токов короткого замыкания  
низковольтной сети трансформаторных подстанций**

Точка к.з.	$r, \text{ Ом}$	$x, \text{ Ом}$	$Z, \text{ ом}$	$Z_{\text{п}}, \text{ Ом}$	$T_a$	$K_{\text{уд}}$	$I^{(3)}$	$I^{(2)}$	$I^{(1)}$	$i_{\text{уд}}$
<b>ТП №1</b>										
К-1	0,05134	0,10146	0,1137	0	0,0062	1,1993	2,026	1,7545	0	3,4362
К-2	0,065	0,033	0,1782	0,072	0,0016	1,0019	1,2927	1,1195	1,1985	1,8316
К-3	0,119	0,045	0,2249	0,127	0,0012	1,0002	1,0242	0,8869	1,0304	1,4487

### Выбор и проверка аппаратуры высокого напряжения ячеек питающих линий

Согласно ПУЭ электрические аппараты выбирают по роду установки, номинальному току и напряжению, проверяют на динамическую и термическую устойчивость. Ячейка питающей линии представляет собой комплектное распределительное устройство наружной или внутренней установки. КРУН комплектуется двумя разъединителями с короткозамыкателями (QS) для создания видимого разрыва цепи при проведении профилактических и ремонтных работ обслуживающим или оперативным персоналом, выключателем нагрузки (QF) и комплектом трансформаторов тока (ТА), которые служат для питания приборов релейной защиты и приборов учёта электрической энергии. Однолинейная упрощённая схема КРУН представлена на рисунке 5.5.



**Рисунок 5.5 - Однолинейная упрощённая схема КРУН**

Для выбора и проверки электрических аппаратов высокого напряжения целесообразно составить таблицу, куда вносятся исходные данные места установки аппарата и его каталожные данные. Место установки – РТП.

**Таблица 5.21 - Сравнение исходных данных места установки, с параметрами выключателя, разъединителя, трансформатора тока**

Исходные данные места установки	Параметры выключателя	Параметры разъединителя	Параметры Трансформатора тока
	Тип ВС-10-0,8	Тип РЛНДА-10/200	Тип ТЛП-10КУЗ
$U_{ном} = 10$ кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
$I_{ном} = 4,362$ А	0,032 кА	200 А	10 А
$I_{K1}^{(3)} = 0,207$ кА	0,8 кА	-	-
$i_{удK1} = 0,587$ кА	2,1 кА	20 кА	2,47 кА
$[I_{K1}^{(3)}]^2 \cdot t_k$	0,8 кА	8 кА	0,04 кА

Как видно из табл. 5.21 параметры всех выбранных аппаратов удовлетворяют предъявляемым требованиям.

### Согласование защит, карта селективности

Для согласования действия защит необходимо построить карту селективности, которая представляет собой построенные в координатах время ток, графики зависимости времени срабатывания защитных аппаратов от тока, приведенного к одной ступени напряжения. Построение выполняется в логарифмическом масштабе.

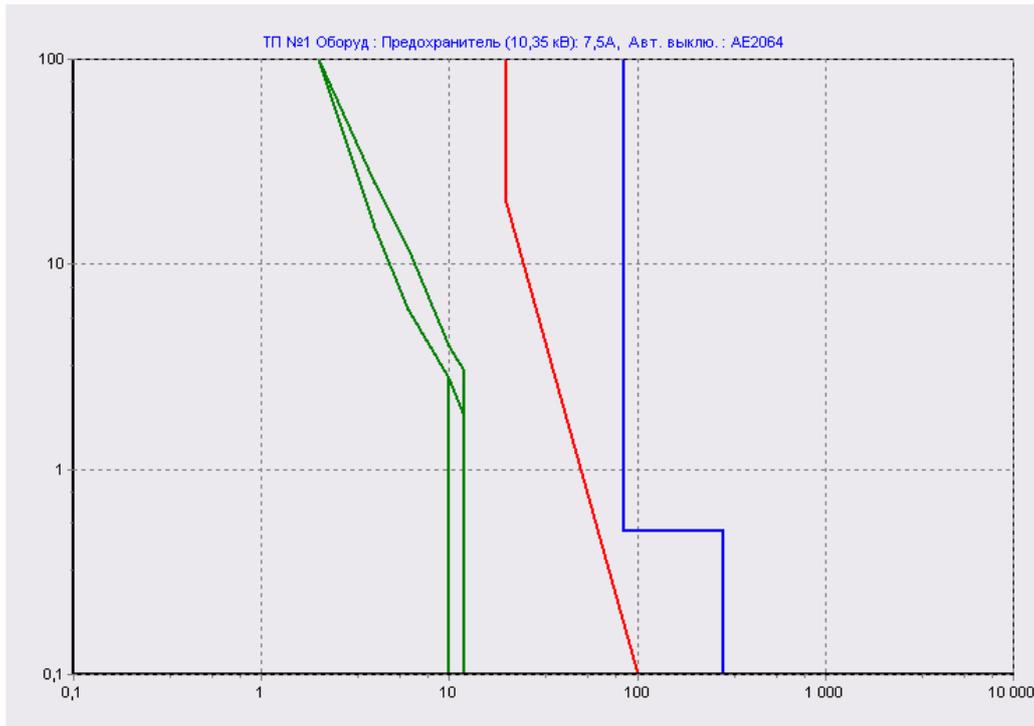
Карта селективности строится для ТП в конце линии при заданной конфигурации НВ сети данных трансформаторных подстанций.

Порядок построения:

1. Наносится характеристика автоматического выключателя с максимальным током теплового расцепителя, приведенного к выбранной ступени напряжения, на карту селективности по точкам.
2. Наносится характеристика предохранителя ПК – 10 с номинальным током плавкой вставки по точкам;
3. Откладывается ток трехфазного короткого замыкания на шинах 0,4 кВ расчетной ТП, приведенной к ступени напряжения 10 кВ.

**Таблица 5.22 – К построению карты селективности**

№ ТП	ПК	Автоматический выключатель	$I_{с.з.}^{III}$ , А	$I_{с.з.}^I$ , А
ТП №1	ПК -10, 7,5 А	АЕ2064	6,773	285,741



**Рисунок 5.5 – Карта селективности ТП 1**

### Расчёт сети по потере напряжения при пуске электродвигателя

Потребитель П №2 трансформаторной подстанции ТП 1 имеет привод с электродвигателем 4А200М2У3

#### Паспортные данные электродвигателя

$$P_{ном} = 37 \text{ кВт} \quad \cos \varphi_{ном} = 0,89 \quad \text{КПД} = 0,9$$

$$\lambda_{max} = 2,5 \quad \lambda_{min} = 1 \quad \lambda_{пуск} = 1,4$$

$$\lambda_{кр} = 1,4 \quad R_{к.л} = 0,06 \quad X_{к.л} = 0,16$$

$$S_k = 11,5 \quad \kappa_I = 7,5 \quad \lambda_{mp} = 1,2$$

$$\delta U_{дон.д.} = -(1 - 1,017) \cdot 100 = 1,77 \%$$

$$r_n = 0,119 \text{ Ом},$$

$$x_n = 0,045 \text{ Ом}.$$

Пусковой коэффициент реактивной мощности равен

$$\operatorname{tg} \varphi_{пуск} = 2,666 \Rightarrow \cos \varphi_{пуск} = 0,351$$

Мощность асинхронного двигателя при пуске равна

$$P_{\text{д.пуск}} = (97,436 \cdot 1,035) / 0,801 = 125,988 \text{ кВт.}$$

Потери напряжения в трансформаторе при пуске асинхронного электродвигателя равны

$$\Delta U_{\text{трансф}} = (125,988 \cdot 12,017) / 64,665 = 23,413 \text{ \%}.$$

Потери напряжения в линии 0,38 кВ при пуске двигателя равны

$$\Delta U_{\text{Л0,38пуск}} = ((125988,313 \cdot (0,119 + 0,12)) / (144400)) \cdot 100\% = 20,852 \text{ \%}$$

Отклонение напряжения на зажимах электродвигателя до пуска

$$\Delta U_{\text{д.д.пуск}} = 2,57 \text{ \%}$$

Фактическое отклонение напряжения на зажимах асинхронного электродвигателя при пуске составит

$$\delta U_{\text{д.пус.ф.}} = -46,836 \text{ \%}.$$

Пуск двигателя произойдет успешно.

### **Выбор устройств от перенапряжений**

Защиту подстанций напряжением 10 – 35 кВ выбирают в зависимости от их мощности. Если мощность подстанции менее 630 кВА, на каждой ее системе шин устанавливают комплект вентильных разрядников, расположенных возможно близко к трансформаторам и присоединенных к заземляющему контуру подстанции кратчайшим путем. Кроме того, на расстоянии 150 – 200 м от подстанции на всех подходящих воздушных линиях монтируют комплекты трубчатых разрядников РТ-1 или заменяющих их защитных искровых промежутков ПЗ-1 (при токах короткого замыкания, меньших нижнего предела, гасящегося трубчатыми разрядниками). Сопротивление заземления этих разрядников РТ-1 или промежутков ПЗ-1 должно быть не более 10 Ом.

На питающих линиях для защиты разомкнутых разъединителей или выключателей у приемных порталов или у вводов в закрытое распределительные устройства дополнительно устанавливают трубчатые разрядники РТ-2 или защитные промежутки ПЗ-2, присоединяя их к заземляющему контуру подстанции. Подстанции мощностью 630 кВ-А и больше защищают так же, но дополнительно все воздушные линии передачи, подходящие к этим подстанциям на расстоянии 150 – 200 м, защищают протяженными молниеотводами, (тросы). При этом трубчатые разрядники РТ-1 или защитные промежутки ПЗ-1 устанавливают в начале подходов линий передачи, защищенных тросами. Протяженные

молниеотводы заземляют на каждой опоре подходов, причем импульсные сопротивления заземлений должны быть не более 10 Ом. В начале подхода к заземлению опоры присоединяют трос и разрядник РТ-1 или промежуток ПЗ-1. В конце подхода трос к заземленному контуру подстанции не присоединяют, а обрывают на первой опоре от подстанции. При этом пролет (50 – 60 м), не защищенный тросом, должен перекрываться защитными зонами стержневых молниеотводов, устанавливаемых для защиты открытых подстанций такой мощности.

### Расчёт уставок релейной защиты

Линия Л-1

$I_p=4,362$  А

$$I_{с.з}^{III} = 5,757/0.85 = 6,773 \text{ А}$$

$$I_{с.р.}^{III} = 6,773/2 = 3,386 \text{ А.}$$

Точка короткого замыкания К-2

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания на оконечных потребителях.

$$K_\chi = 175,2/6,773 = 25,863$$

$$I_{с.з}^I = 242,88/0,85 = 285,741 \text{ А.}$$

$$I_{с.р.}^I = 285,741/2 = 142,87 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания в месте установки защиты. Коэффициент чувствительности для токовой отсечки должен быть не менее 1,2.

$$K_\chi = 719,199/285,741 = 2,516 > 1,2 .$$

Выбор и проверка высоковольтной и низковольтной аппаратуры на подстанции

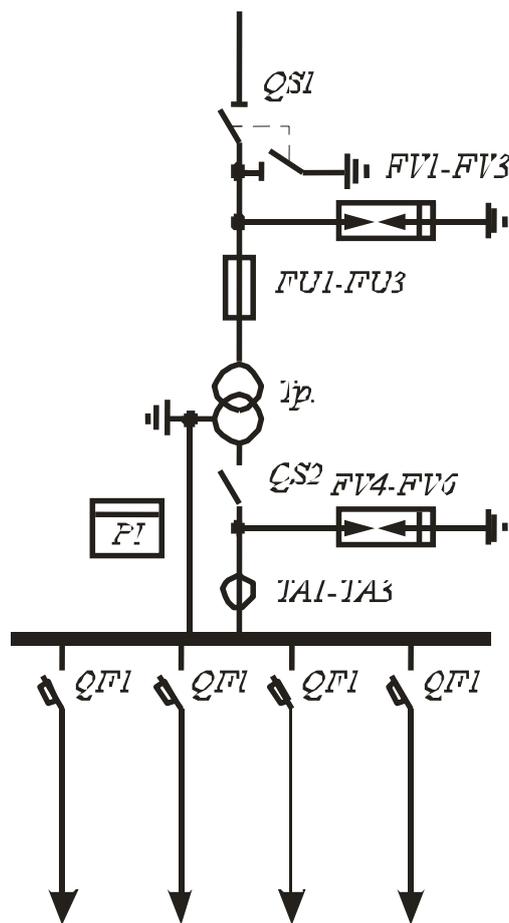


Рисунок 5.6 - Однолинейная принципиальная схема ТП

Разъединитель QS1 выбирается по тем же условиям, что и разъединитель питающей линии: для трансформаторной подстанции ТП 1

тип РЛНДА-10/200;

номинальный ток 200 А;

номинальное напряжение 10 кВ;

амплитуда сквозного тока 20 кА;

ток термической стойкости 8 кА

Для защиты трансформатора с высокой стороны устанавливаются предохранители FU1 – FU3. Ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию

$$I_{пл.вс} = 7,169 \text{ А.}$$

Принимается предохранители типа 7,5 с током плавкой вставки 7,5 А.

Шины 0,4 кВ подключаются к трансформатору через рубильник QS2 типа Р2315 с номинальным током 600А.

Трансформаторы тока ТА1-ТА3 типа ТК20 служат для питания счётчика активной энергии СА4-И672.

Выбор автоматических выключателей на отходящих линиях производится исходя из следующих условий

1.  $I_{т.р.} \geq K_{с.з} \times I_{\max}$ ,  $K_{с.з} = 1$ ;
2.  $I_{пред} \geq i_{уд.макс}$ ;
3.  $\frac{I_{к\min}^{(2)}}{I_{эм}} \geq 1,25$ ;
4.  $\frac{I_{к\min}^{(1)}}{I_{эм}} \geq 1,25$ .

Линия Л-1 Максимальный ток – 56,761 А, ударный ток – 1,831 кА, двухфазный ток короткого замыкания – 1119,5 А, однофазный ток короткого замыкания – 1198,5 А. К установке принимается автоматический выключатель АЕ2064 с током теплового расцепителя 63 А, током электромагнитного расцепителя 756 А, и током динамической стойкости 15 кА.

1. 63 А > 56,761 А;
2. 15 кА > 1,831 кА;
3. 1119,5/756 = 1,48;
4. 1198,5/756 = 1,585

Линия Л-2 Максимальный ток – 45,475 А, ударный ток – 1,448 кА, двухфазный ток короткого замыкания – 886,9 А, однофазный ток короткого замыкания – 1030,4 А. К установке принимается автоматический выключатель А3163 с током теплового расцепителя 50 А, током электромагнитного расцепителя 500 А, и током динамической стойкости 15 кА.

1. 50 А > 45,475 А;
2. 15 кА > 1,448 кА;
3. 886,9/500 = 1,773;
4. 1030,4/500 = 2,06

Расчёт контура заземления подстанций

Расчет контура заземления трансформаторной подстанции ТП

- 1  $R_c = 18,3 \cdot 6,7 = 122,616 \text{ Ом}$
- $n_{од} = 122,616/30 = 4,087$ .
- $n_{м.н} = 31$
- $R'_c = 122,616/18,6 = 6,592 \text{ Ом}$ .
- $R'_n = 0,655 \cdot 4,902 = 3,215 \text{ Ом}$ ,
- $R_{од} = 394,292/125,832 = 3,133 \text{ Ом}$ .
- $R_{з.в.л} = 3,133/2 = 1,566 \text{ Ом}$ .
- $R_3 = 2,454/3,916 = 0,626 \text{ Ом}$ .

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Образец задания

ФГБОУ ВО СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Электроэнергетический факультет

Кафедра «Применение электроэнергии в сельском хозяйстве»

### ЗАДАНИЕ

на курсовой проект по дисциплине  
"ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ"

Координаты ( $x=0-10\text{км}$ ;  $y=0-10\text{км}$ ):

РТП:  $x=$  \_\_\_\_\_ км;  $y=$  \_\_\_\_\_ км

ТП1:  $x=$  \_\_\_\_\_ км;  $y=$  \_\_\_\_\_ км

ТП2:  $x=$  \_\_\_\_\_ км;  $y=$  \_\_\_\_\_ км

ТП3:  $x=$  \_\_\_\_\_ км;  $y=$  \_\_\_\_\_ км

ТП4:  $x=$  \_\_\_\_\_ км;  $y=$  \_\_\_\_\_ км

Тип кабеля или провода ВВ сети \_\_\_\_\_

Координаты потребителей ТП1 ( $x=0-500\text{м}$ ;  $y=0-500\text{м}$ ):

П1:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П2:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П3:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П4:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

Координаты потребителей ТП2 ( $x=0-500\text{м}$ ;  $y=0-500\text{м}$ ):

П1:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П2:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П3:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П4:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

Координаты потребителей ТП3 ( $x=0-500\text{м}$ ;  $y=0-500\text{м}$ ):

П1:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П2:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П3:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П4:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

Координаты потребителей ТП4 ( $x=0-500\text{м}$ ;  $y=0-500\text{м}$ ):

П1:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П2:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П3:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

П4:  $x=$  \_\_\_\_\_ м;  $y=$  \_\_\_\_\_ м; №потребителя \_\_\_\_\_

Тип кабеля или провода НВ сети \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.) (подпись)

Преподаватель \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.) (подпись)

Дата выдачи " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ставрополь 20\_\_ г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 -Электрические нагрузки производственных,  
общественных и коммунально-бытовых потребителей

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Р <sub>д</sub> , кВт	Q <sub>д</sub> , кВАр	Р <sub>в</sub> , кВт	Q <sub>в</sub> , кВАр
<b>Животноводческие комплексы и фермы.</b>					
Откорм свиней на: 4000	1	75	65	45	40
6000	2	120	105	65	60
8000	3	185	170	105	90
10000	4	240	210	120	105
Выращивание и откорм свиней на:					
3000	5	105	90	65	60
4000	6	120	105	90	80
6000	7	150	150	105	90
8000	8	185	165	120	105
10000	9	300	260	150	120
12000	10	420	430	310	320
24000	11	560	570	420	430
54000	12	700	715	520	530
108000	13	1250	1280	900	920
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на:					
3000	14	185	80	145	65
4000	15	220	95	185	80
6000	16	280	120	230	100
8000	17	370	160	270	115
10000	18	550	235	370	160
12000	19	735	310	460	195
Репродукторная свиноферма на:					
200 маток	20	65	55	35	25
400	21	90	80	50	40
Производство молока					
200 коров	22	35	30	25	20
400	23	105	90	105	90
600	24	140	125	140	125
800	25	165	145	165	145
1000	26	180	160	180	160
1200	27	220	195	220	195
1600	28	300	265	300	265
2000	29	375	330	375	330
Выращивание и откорм КРС					
5000 голов	30	300	265	260	230
10000	31	450	400	340	300
Площадка по откорму КРС на:					
1000 голов	32	40	35	25	20
2000	33	75	65	45	40
3000	34	120	105	60	50

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Р <sub>д</sub> , кВт	Q <sub>д</sub> , кВАр	Р <sub>в</sub> , кВт	Q <sub>в</sub> , кВАр
Площадка по откорму КРС на: 4000 голов	35	140	125	75	65
6000	36	155	140	90	80
10000	37	175	150	110	95
20000	38	270	240	190	170
30000	39	335	300	225	200
Выращивание нетелей на:					
3000 скотомест	40	320	240	200	170
6000	41	480	360	320	240
Птицефабрика по производству яиц на:					
200тыс. кур-несушек	42	1350	1000	1350	1000
400тыс. кур-несушек	43	1850	1400	1850	1400
Птицефабрика мясного направления на:					
250тыс. бройлеров	44	230	100	230	100
500тыс. бройлеров	45	400	170	400	170
Птицеферма на:					
10тыс. кур-несушек	46	55	40	55	40
20тыс. кур-несушек	47	110	80	110	80
30тыс. кур-несушек	48	150	115	150	115
40тыс. кур-несушек	49	180	135	180	135
50тыс. кур-несушек	50	280	210	280	210
Птицефабрика мясного направления на:					
250 тыс. индюшек	51	1450	900	1450	900
500 тыс. индюшек	52	2050	1250	2050	1250
1000 тыс. индюшек	53	2500	1550	2500	1550
Птицефабрика на 500 тыс. гусят в год	54	3210	2000	3210	2000
Птицеферма выращивания и откорма индюшат, тыс./год:					
50 (без инкубаторов)	55	110	80	110	80
100 (с инкубаторами)	56	395	290	395	290
Птицеферма на 125тыс. гусят-бройлеров с родительским стадом.	57	800	640	800	640
Птицеферма на 125тыс. гусят-бройлеров без родительского стада.	58	170	135	170	135
Ферма выращивания уток на:					
12тыс. утят	59	35	25	35	25
15тыс. утят	60	45	20	45	20
30тыс. утят	61	75	30	75	30
65тыс. утят	62	90	38	90	38
125тыс. утят	63	95	40	95	40

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Р <sub>д</sub> , кВт	Q <sub>д</sub> , кВАр	Р <sub>в</sub> , кВт	Q <sub>в</sub> , кВАр
Овцеводческая ферма с полным оборотом стада на:					
2400 овцематок	64	145	110	145	110
3000	65	165	125	165	125
5000	66	240	180	240	180
Овцеводческие племенные фермы на 5000 маток	67	370	260	370	260
10000	68	630	450	630	450
Овцеферма мясомолочного направления на 5000 овец	69	3	2	15	12
10000	70	10	3	20	5
15000	71	13	4	25	7
Кроликоферма (содержание в открытых шедрах) на 1200 маток	72	60	45	60	45
2400	73	135	100	135	100
Звероферма (песцовая, лисья, соболиная) на 1500-18000 самок	74	10	5	10	5
Кумысная ферма на					
50 кобылиц	75	20	10	25	12
100	76	25	15	30	15
150	77	35	20	40	20
<b>Животноводство и птицеводство</b>					
Коровник без механизации процессов на 100 коров	100	4	-	4	-
200	101	6	-	6	-
То же, с электроводонагревателем на 100 коров	102	10	-	10	-
200	103	18	-	18	-
Коровник привязного содержания механизированной уборкой навоза на 100 коров	104	4	4	4	4
200	105	6	6	6	6
То же, с электроводонагревателем на 100 коров	106	9	8	9	8
200	107	15	13	15	13
Коровник привязного содержания с механизированным доением, уборкой навоза и электроводонагревателем на					
100 коров	108	10	8	10	8
200	109	17	13	17	13
400	110	45	33	45	33

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Коровник без привязного содержания на: 400 коров	111	5	-	5	-
600 коров	112	7	-	7	-
Помещение для ремонтного и откормочного молодняка на: 170-180 голов	113	1	-	3	-
240-260 голов	114	3	-	5	-
То же с механизированной уборкой навоза на: 170-180 голов	115	4	3	7	5
240-260 голов	116	5	4	8	6
300-330 голов	117	7	6	13	9
Телятник с родильным отделением на: 120 телят	118	5	3	8	5
230 телят	119	6	4	10	6
340 телят	120	7	5	12	8
Родильное отделение с профилакторием на: 48 мест	121	20	15	20	15
72 места	122	27	20	27	20
96 мест	123	30	22	30	22
Родильное отделение на: 48 мест	124	6	-	6	-
96 мест	125	12	-	12	-
144 места	126	20	-	20	-
Летний лагерь КРС на: 200 коров	127	12	10	12	10
400 коров	128	15	13	15	12
То же с молочным блоком на: 200 коров	129	13	12	14	12
400	130	18	17	19	17
Летний лагерь молодняка КРС на 400-500 голов	131	1	-	5	-
Кормоцех фермы КРС на 800-1000 голов	132	50	45	50	45
Молочный блок при коровнике на 3т/сутки	133	15	15	15	15
6т/сутки	134	20	20	20	20
Кормоприготовительная при коровнике	135	6	5	6	5
Свинарник маточник 50 маток	136	2	-	2	-
То же, с навозоуборочным транспортёром	137	3	3	5	5
То же, с теплогенератором	138	6	5	10	6
То же, с электрообогревом	139	28	12	28	8
Свинарник-маточник на 100 маток (подвесная дорога)	140	4	-	7	-

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Свинарник-маточник на 100 маток с навозоуборочным транспортером	141	5	4	5	4
То же, с теплогенератором	142	8	6	8	6
То же, с электрообогревом	143	55	25	55	15
Свинарник откормочник на 1000-1200 голов	144	2	-	6	-
То же с навозоуборочным транспортером	145	6	5	9	8
Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма, или 2000 голов откорма	146	26	23	10	7
Кормоцех для свинофермы на 200 маток и 2000 голов откорма, или на 3000 голов откорма	147	37	33	15	10
Кормоцех для свинофермы на 300 маток и 3000 голов откорма, или на 6000 голов откорма	148	45	40	15	10
Кормоцех на 12000 откорма свиной	149	65	55	20	15
Птичник на 6-9тыс. цыплят	150	25	10	25	7
15-20тыс.	151	30	15	30	10
на 7тыс. молодняка	152	10	5	10	4
10-12 тыс.	153	20	5	20	5
На 5-6тыс. кур	154	20	10	20	10
8тыс. кур	155	25	12	25	12
Птичник с клеточными батареями на 10-15тыс. кур-несушек	156	10	5	15	10
20тыс.	157	12	7	20	13
Кормоцех птицефермы на 25-30тыс. кур	158	25	20	10	7
Навесы для выращивания 4-8тыс. утят или 2-4тыс. гусят	159	1	-	2	-
Птичник на 3тыс. утят	160	20	15	10	5
5тыс.	161	40	30	20	10
Птичник на 2тыс. индеек маточного стада	162	25	20	10	5
Цех для выращивания индюшат на 14тыс. голов	163	70	35	30	15
Птичник для выращивания 3300 гусят-бройлеров	164	25	20	15	10
6300 гусят-бройлеров	165	45	40	25	20
Инкубаторий на 2 инкубатора	166	20	-	20	-
4 инкубатора	167	30	-	30	-
6 инкубаторов	168	60	-	60	-

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Инкубаторий на 10 инкубаторов	169	80	-	80	-
Овчарня на 800-1000 овцематок	170	1	-	5	-
Овчарня на 1000 голов молодняка	171	2	-	4	-
Конюшня	172	3	-	3	-
Оборудование для прессования кормов ОПК-2,0	173	150	130	150	130
ОПК-3,0	174	210	180	210	180
ОПК-3,0У	175	135	120	135	120
ОПК-5,0	176	330	290	330	290
Оборудование для гранулирования травяной муки ОГМ-0,8А	177	50	45	50	45
ОГМ-1,5	178	85	80	85	80
Оборудование для гранулирования комбикормов ОГК-3	179	55	50	55	50
ОГК-6	180	70	65	70	65
Агрегат для приготовления травяной муки АВМ-0,65	181	80	70	80	70
АВМ-1,5А	182	185	170	185	170
АВМ-3,0	183	360	330	360	330
АВМ-5,0	184	605	560	605	560
Пункт приготовления травяной муки на базе двух агрегатов АВМ-0,65	185	590	550	590	550
на базе агрегата АВМ-1,5А	186	300	270	300	270
Дробилка кормов ДБ-5-1	187	40	35	-	-
КМД-2	188	30	25	-	-
Измельчитель грубых кормов ИГК-30Б	189	30	25	-	-
ИРТ-165	190	150	130	-	-
«Волгарь-5»	191	22	20	-	-
«Волгарь-15»	192	40	35	-	-
Комбикормовый завод производительностью 6 т/сутки	193	650	575	650	575
Комбикормовый цех производительностью 10-15 т/смену	194	65	60	65	60
30 т/смену	195	120	105	120	105
50 т/смену	196	190	160	190	160
Убойно-санитарный пункт	197	6	5	2	2
Ветеринарный пункт	198	1	-	1	-
Ветеринарно-фельдшерский пункт	199	3	-	3	-

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Пункт искусственного осеменения	200	2	-	-	-
Участковая ветеринарная лечебница	201	20	10	10	4
Растениеводство, подсобное хозяйство.					
Комплект машин и оборудования зерноочистительного агрегата ЗАВ-20	300	25	25	26	23
То же, с семяочистительным отделением	301	55	55	57	52
Комплект машин и оборудования зерноочистительного агрегата ЗАВ-40	302	35	35	36	32
То же, с семяочистительным отделением	303	65	65	66	64
Комплект машин и оборудования зерноочистительного агрегата ЗАР-5	304	30	30	32	30
Комплект машин и оборудования зерноочистительного-сушильного комплекса КЗС-10Б	305	65	60	65	60
КЗС-20Б	306	100	95	100	95
КЗС-20Ш	307	160	150	160	150
КЗС-40	308	190	175	190	175
КЗР-5	309	250	235	250	235
Пункт послеуборочной обработки зерна кукурузы в початках производительностью 10 т/час	310	120	100	120	100
Зернохранилище с передвижными механизмами ёмкостью 500 т	311	10	10	5	3
1000-2000 т	312	20	18	10	5
То же, с ленточным транспортером ёмкостью 1000 т	313	25	25	10	5
Овощекартофелехранилище на 300-600 т	314	5	3	2	-
1000 т	315	6	4	2	-
То же, с отопительно-вентиляционной установкой на 500-600 т	316	20	15	20	15
1000 т	317	36	25	36	25
Холодильник для хранения фруктов ёмкостью 50 т	318	8	6	8	6
250 т	319	35	25	35	25
350 т	320	65	50	65	50
700 т	321	95	70	95	70

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Семеновохранилище ёмкостью 1000 т	322	80	60	80	60
2500 т	323	95	70	95	70
Склад рассыпных и гранулированных кормов ёмкостью 200 т	324	20	12	1	-
360 т	325	30	18	5	-
520 т	326	35	22	10	5
Склад концкормов с дробилкой ДКУ-1	327	15	13	1	-
ДКУ-2	328	25	23	1	-
Склад минеральных удобрений	329	12	4	1	-
Склад ядохимикатов ёмкостью до 2000 т	330	5	4	1	-
Склад нефтепродуктов ёмкостью до 300 м <sup>3</sup>	331	5	4	2	-
Цех виноделия производительностью 50-100 тыс. дал/год	332	80	60	80	60
Цех овощных и фруктовых консервов производительностью 1 млн. у.б. в год	333	100	75	100	75
3 млн. у.б. в год	334	125	95	125	95
То же, с солением и квашением 1 млн. у.б. 300 т	335	150	110	150	110
3 млн. у.б. 500 т	336	180	155	180	155
Цех по переработке 50 т солений и 130 т капусты	337	40	45	40	45
Кумысный цех на 1-2 тыс. л/сутки	338	12	10	12	10
Кузница	339	5	-	1	-
Плотницкая	340	10	8	1	-
Столярный цех	341	15	10	1	-
Столярный цех с пилорамой ЛРМ-79	342	16	18	2	-
Р-65	343	23	27	2	-
Мельница с жерновым поставом 5/4	344	5	4	1	-
6/4	345	8	6	1	-
7/4	346	10	8	1	-
8/4	347	17	13	1	-
Мельница вальцовая производительностью 6 т/сутки	348	15	10	1	-
25 т/сутки	349	35	25	2	-
Крупорушка	350	12	10	1	-
Просорушка	351	2	2	1	-

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Гречерушка	352	3	2	1	-
Приёмный пункт молокозавода мощностью 10 т/смену	354	45	40	45	40
30 т/смену	355	65	60	65	60
Хлебопекарня производительностью 3 т/сутки	356	5	4	5	4
5,5 т/сутки	357	15	13	15	13
11 т/сутки	358	25	23	25	23
Пункт первичной обработки льна	359	15	13	1	-
Мяльно-трепальный цех 4 т/смену	360	30	25	3	-
8 т/смену	361	60	55	4	-
Хмелесушка с воздухоподогревателем	362	10	7	10	7
Камерная	363	55	40	55	40
Сенажная башня	364	10	8	-	-
Установка вентиляционная для досушивания сена	365	120	90	120	90
Хлопкозаготовительный пункт с сушильно-очистительным цехом	366	380	290	405	250
Картофелесортировальный пункт	367	5	4	-	-
Кирпичный завод на 1-1,5 млн. кирпича в год	368	20	17	6	4
3 млн. кирпича в год	369	30	25	8	6
Тёплая стоянка для тракторов	370	5	3	2	-
Пункт технического обслуживания машин и оборудования на фермах	371	10	7	5	4
Материально-технический склад	372	3	2	1	-
Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов	373	15	12	5	4
30-40 тракторов	374	20	18	10	8
Гараж с профилакторием на 10 автомашин	375	20	18	10	8
25 автомашин	376	30	25	15	12
60 автомашин	377	45	40	20	16
Картофелесортировальный пункт 30 т/час на оборудовании ГДР	378	80	70	50	40
Центральная ремонтная мастерская на 25 тракторов	379	45	40	25	20
50-100 тракторов	380	60	50	30	25

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Центральная ремонтная мастерская на 150-200 тракторов	381	90	80	45	40
Пожарное депо на 1-2 автомашины	382	4	3	4	3
Котельная с котлами КВ-300М или Д721	383	5	4	5	4
Котельная с двумя котлами «Универсал-6» для отопления и горячего водоснабжения	384	15	10	15	10
Котельная с двумя котлами «Универсал-6» для пароснабжения	385	7	5	7	5
Котельная с 4 котлами «Универсал-6» для отопления и горячего водоснабжения	386	28	20	28	20
Котельная с 4 котлами «Универсал-6» для пароснабжения	387	18	13	18	13
Насосные станции для оросительных систем	388	55	50	55	50
То же	389	100	90	100	90
То же	390	200	170	200	170
То же	391	280	210	280	210
То же	392	400	300	400	300
<b>Общественные учреждения и коммунально-бытовые потребители.</b>					
Начальная школа на 40 учащихся	500	5	-	2	-
80 учащихся	501	7	-	2	-
160 учащихся	502	11	-	4	-
Общеобразовательная школа с мастерской на 190 учащихся	503	14	7	20	10
320 учащихся	504	20	10	40	20
То же с электроплитой на 480-540 учащихся	505	40	20	42	20
То же с электроплитой на 480-540 учащихся	506	25	12	50	25
То же с электроплитой	507	45	23	50	25
Спальный корпус школы на 50 мест	508	5	-	8	-
80 мест	509	8	-	15	-
Столовая школы-интерната	510	9	4	5	-
Мастерские при сельской школе	511	7	5	2	-
Детские ясли сад на 25 мест	512	4	-	3	-
50 мест	513	9	5	6	-
90 мест	514	12	6	8	4

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Детские ясли сад с электроплитой на 50 мест	515	18	5	12	4
90 мест	516	23	7	14	4
140 мест	517	30	9	20	6
Административное здание (контора колхоза совхоза) на 15-25 рабочих мест	518	15	10	8	-
35-50 рабочих мест	519	25	18	10	-
70 рабочих мест	520	35	25	15	-
Сельский совет с отделением связи	521	7	3	3	-
Сельский радиотрансляционный узел с аппаратурой 1,25 кВт	522	6	3	6	3
2,5 кВт	523	8	4	8	4
Приёмный телевизионный пункт «Экран» с ретранслятором РЦТА	524	5	3	5	3
Клуб со зрительным залом на 150-200 мест	525	3	1,5	10	6
300-400 мест	526	6	3	18	10
Дом культуры со зрительным залом на 150-200 мест	527	5	3	14	8
300-400 мест	528	10	6	32	20
400-600 мест	529	10	6	50	30
Бригадный дом	530	2	-	5	-
То же, с залом на 100 мест	531	4	-	7	-
Дом животновода на 12-18 мест	532	3	-	5	-
Сельская поликлиника на 150 посещений в смену	533	15	8	30	20
Сельская участковая больница на 50 коек	534	50	35	50	35
Сельская амбулатория на 3 врачебных должности	535	10	3	10	3
Фельдшерско-акушерский пункт	536	4	-	4	-
Столовая с на 25 мест	537	5	3	2	-
35-50 мест	538	9	4	3	-
75-100 мест	539	12	6	4	-
Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест	540	20	10	10	4
50 мест	541	35	15	15	5
75 мест	542	35	15	15	5
100 мест	543	58	30	35	15

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Столовая с электронагревательным оборудованием и с электроплитой на 35 мест	544	35	15	15	5
50 мест	545	50	20	20	10
75 мест	546	55	25	22	10
100 мест	547	70	35	45	20
Общежитие на 24 места	548	4	-	12	4
Торговый центр для посёлков с населением на 2 тыс. жителей (столовая, магазин, гостиница, комбинат бытового обслуживания)	549	40	30	25	15
Магазин на 2 рабочих места, смешанный ассортимент	550	2	-	4	-
на 4 места, продовольственный	551	10	5	10	5
промтоварный	552	6	-	6	-
Смешанный ассортимент на 6-10 мест	553	4	-	4	-
продовольственный	554	10	5	10	5
промтоварный	555	3	-	3	-
Комбинат бытового обслуживания на 6 рабочих мест	556	3	2	1	-
10 рабочих мест	557	5	3	2	-
25 рабочих мест	558	15	10	5	-
Баня на 5 мест	559	3	2	3	-
10 мест	560	7	2	7	2
20 мест	561	8	5	8	5
Прачечная производительностью 0,125 т белья/смену	562	10	6	10	6
0,25 т белья/смену	563	13	8	13	8
0,5 т белья/смену	564	20	13	20	13
1,0 т белья/смену	565	25	15	25	15
Сельский жилой дом (квартира) с плитой на газе, жидком или твёрдом топливе	601	0,3	0,15	1,0	0,4
То же	602	0,5	0,24	1,5	0,6
То же	603	0,7	0,32	2,0	0,75
То же	604	0,9	0,4	2,5	0,9
То же	605	1,1	0,47	3,0	1,05
То же	606	1,3	0,52	3,5	1,17
То же	607	1,5	0,6	4,0	1,32
То же	608	2,0	0,72	5,0	1,45
Жилой дом с электроплитой	609	3,5	1,15	6,0	1,5

Наименование объекта.	Номер шифра.	Дневной максимум.		Вечерний максимум.	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Жилой дом с электроплитой и электроводонагревателем	610	4,5	1,5	7,5	1,87
То же	612	1,1	1,84	2,5	1,6
То же	613	1,3	0,92	3,0	1,75
То же	614	1,5	1,0	3,5	1,9
То же	615	1,7	1,07	4,0	2,05
То же	616	1,9	1,12	4,5	2,17
То же	617	2,1	1,2	5,0	2,32
То же	618	2,6	1,32	6,0	2,45
Жилой дом с электроплитой и кондиционером	619	4,1	1,75	7,0	2,5
Жилой дом с электроплитой, водонагревателем и кондиционером	620	5,1	2,1	8,5	2,87
Наружное освещение с лампами накаливания	651	0	0	Рм	0
Наружное освещение с люминесцентными лампами	652	0	0	Рм	0,5·Рм

Таблица Б2 – Надбавки активной мощности в кВт для суммирования нагрузок в сетях 0,38 кВ

Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР
0,2	+0,2	26	+16,4	66	+42,5	142	+102	222	+168
0,3	+0,2	27	+18,7	67	+45,9	144	+103	224	+169
0,4	+0,3	28	+17,7	68	+46,6	146	+105	226	+171
0,5	+0,3	29	+18,4	69	+47,3	148	+106	228	+172
0,6	+0,4	30	+19	70	+48	150	+108	230	+174
0,8	+0,5	31	+19,7	72	+49,4	152	+110	232	+176
1	+0,6	32	+20,4	74	+50,2	154	+111	234	+177
1,5	+0,9	33	+21,2	76	+52,2	156	+113	236	+179
2	+1,2	34	+22	78	+53,6	158	+114	238	+180
2,5	+1,5	35	+22,8	80	+55	160	+116	240	+182
3	+1,8	36	+23,5	82	+56,4	162	+117	242	+184
3,5	+2,1	37	+24,2	84	+57,8	164	+119	244	+185
4	+2,4	38	+25	86	+59,2	166	+120	246	+187
4,5	+2,7	39	+25,8	88	+60,6	168	+122	248	+188
5	+3	40	+26,5	90	+62	170	+123	250	+190
5,5	+3,3	41	+27,2	92	+63,4	172	+124	252	+192
6	+3,6	42	+28	94	+64,8	174	+126	254	+193
6,5	+3,9	43	+28,8	96	+66,2	176	+127	256	+195
7	+4,2	44	+29,5	98	+67,6	178	+129	258	+196
7,5	+4,5	45	+30,2	100	+69	180	+130	260	+198
8	+4,8	46	+31	102	+70	182	+132	262	+200

8,5	+5,1	47	+31,8	104	+72	184	+134	264	+201
9	+5,4	48	+32,5	106	+73	186	+136	266	+203
9,5	+5,7	49	+33,2	108	+75	188	+138	268	+204
10	+6	50	+34	110	+76	190	+140	270	+206
11	+6,7	51	+34,7	112	+78	192	+142	272	+208
12	+7,3	52	+35,4	114	+80	194	+144	274	+209
13	+7,9	53	+36,1	116	+81	196	+146	276	+211
14	+8,5	54	+36,8	118	+82	198	+148	278	+212
15	+9,2	55	+37,5	120	+84	200	+150	280	+214
16	+9,8	56	+38,2	122	+86	202	+152	282	+216
17	+10,5	57	+38,9	124	+87	204	+153	284	+217
18	+11,2	58	39,6	126	+89	206	+155	286	+219
19	+11,8	59	40,3	128	+90	208	+156	288	+220
20	+12,5	60	+41	130	+92	210	+158	290	+222
21	+13,1	61	+41,7	132	+94	222	+160	292	+224
22	+13,8	62	+42,4	134	+95	214	+161	294	+225
23	+14,4	63	+43,1	136	+97	216	+163	296	+227
24	+15	64	+43,8	138	+98	218	+164	298	+228
25	+15,7	65	+44,5	140	+100	220	+166	300	+230

где - P – меньшая из слагаемых нагрузок;

$\Delta P$  – добавка к большей слагаемой нагрузке.

Таблица Б3 – Надбавки мощности в кВт для суммирования нагрузок в сетях 10-35 кВ

P	$\Delta P$	P	$\Delta P$	P	$\Delta P$	P	$\Delta P$	P	$\Delta P$
1	+0,6	41	+29,2	130	+98	460	+365	860	+704
2	+1,2	42	+30	135	+102	470	+374	870	+713
3	+1,88	43	+30,8	140	+106	480	+382	880	+722
4	+2,5	44	+31,6	145	+110	490	+391	890	+731
5	+3,1	45	+32,4	150	+115	500	+400	900	+740
6	+3,7	46	+33,2	155	+119	510	+408	910	+749
7	+4,3	47	+34	160	+123	520	+416	920	+758
8	+5	48	+34,8	165	+127	530	+424	930	+767
9	+5,6	49	+35,6	170	+131	540	+432	940	+776
10	+6,3	50	+36,5	175	+135	550	+440	950	+785
11	+7	52	+38	180	+139	560	+448	960	+794
12	+7,7	54	+39,5	185	+143	570	+456	970	+803
13	+8,4	56	+41	190	+147	580	+465	980	+812
14	+9	58	+42	195	+151	590	+474	990	+821
15	+9,7	60	+44	200	+155	600	+483	1000	+830
16	+10,4	62	+45,6	210	+162	610	+492	1020	+847
17	+11	64	+47,2	220	+170	620	+500	1040	+865
18	+11,6	66	+48,8	230	+178	630	+508	1060	882
19	+12,3	68	+50,4	240	+187	640	+517	1080	+900
20	+13	70	+52	250	+194	650	+525	1100	+918
21	+13,7	72	+53,5	260	+204	660	+534	1120	+935

22	+14,4	74	+55	270	+212	670	+543	1140	+953
23	+15,1	76	+56,5	280	+220	680	+552	1160	+970
24	+15,8	78	+58	290	+228	690	+561	1180	+987
25	+16,5	80	+59,5	300	+235	700	+570	1200	+1005
26	+17,2	82	+61	310	+243	710	+578	1220	+1022
27	+18	84	+62,5	320	+251	720	+586	1240	+1040
28	+18,8	86	+64	330	+259	730	+594	1260	+1057
29	+19,6	88	+65,5	340	+267	740	+602	1280	+1075
30	+20,4	90	+67	350	+275	750	+610	1300	+1093
31	+21,2	92	+68,5	360	+283	760	+618	1320	+1110
32	+22	94	+70	370	+291	770	+626	1340	+1128
33	+22,8	96	+71,5	380	+299	780	+634	1360	+1146
34	+23,6	98	+73	390	+307	790	+642	1380	+1164
35	+24,4	100	+74,5	400	+315	800	+650	1400	+1182
36	+25,2	105	+78	410	+232	810	+659	1420	+1200
37	+26	110	+82	420	+332	820	+668	1440	+1218
38	26,8	115	+86	430	+340	830	+676	1460	+1235
39	27,6	120	+90	440	+348	840	+686	1480	+1252
40	+28,4	125	+94	450	+357	850	+695	1500	+1270

где - P – меньшая из слагаемых нагрузок;

$\Delta P$  – добавка к большей слагаемой нагрузке.

Таблица Б4 – Экономические интервалы эквивалентной мощности для алюминиевых проводов ВЛ напряжением 0,38 кВ

Интервал мощности, кВА	Марка и сечение основных проводов.	Расчётная нагрузка, кВА	Марка и сечение дополнительного провода.	$\mu$	Превышение приведенных затрат, %
Гололёд 5мм					
0-3,1	А-16+А-16	1	2А-16+А16	2,7	3,7
			3А-16+А16	4,5	3,25
			3А-25+А-25	5,5	11
		2	2А-16+А16	0,02	0,07
			3А-16+А16	0,6	3,15
			3А-25+А-25	1,05	5,45
		3	2А-16+А16	0,02	0,07
			3А-16+А16	0,6	3,15
			3А-25+А-25	1,05	5,45
3,1-5,6	2А-16+А-16	3,5	3А-16+А16	1,7	2,6
			3А-25+А-25	2,4	4,75
			3А-35+А-35	6,1	13,2
			А-16+А-16	0,3	1,35
		4,5	3А-16+А16	0,75	1,4
			3А-25+А-25	1,3	3,2
3,1-5,6	2А-16+А-16	5,5	3А-16+А16	0,01	0,02
			3А-25+А-25	0,45	1,35
			3А-35+А-35	2,8	9,05

			A-16+A-16	1,3	9,7	
5,6-8	3A-16+A-16	6	3A-25+A-25	1,6	1,1	
			3A-35+A35	8,1	8,7	
			2A-16+A-16	-0,3	0,75	
		7	3A-25+A-25	0,75	0,6	
			3A-35+A35	6,3	7,8	
			2A-16+A-16	0,9	2,55	
		8	3A-25+A-25	0	0	
			3A-35+A35	4,95	6,75	
			2A-16+A-16	-1,3	4,5	
8-20,5	3A-25+A-25	9	3A-35+A-35	12,2	6,25	
			3A-50+A-50	17,3	15,1	
			3A-16+A-16	-0,95	0,5	
		12	3A-35+A-35	7,4	5,0	
			3A-50+A-50	10,9	12,9	
			3A-16+A-16	-2,5	0,5	
			15	3A-35+A-35	4,35	3,35
			3A-50+A-50	6,8	9,65	
			3A-16+A-16	-4,4	3,15	
			18	3A-35+A-35	1,7	1,55
			3A-50+A-50	4,0	6,3	
			21	3A-35+A-35	0	0
9-20,5	3A-25+A-25		3A-50+A-50	0,55	2,8	
			28	3A-35+A-35	-1,05	0,95
20,5-26,4	3A-50+A-35		3A-35+A-35	-3,0	3,2	
			35	3A-35+A-35	-4,07	4,7
			Гололёд 10мм			
0-3,1	2A-16+A-16	3,5	2A-16+A-16	3,25	4,445	
			3A-16+A-16	5,0	9,15	
			6A-25+A-25	8,5	16,9	
		4,5	2A-16+A-16	1,05	2,75	
			3A-16+A-16	2,0	7,15	
			6A-25+A-25	3,88	14,7	
		5,5	2A-16+A-16	0,15	0,5	
			3A-16+A-16	0,75	4,05	
			6A-25+A-25	2,0	11,1	
3,5-5,8	2A-16+A-16	3,5	3A-16+A-16	2,0	3,0	
			3A-25+A-25	5,1	9,85	
			3A-35+A-35	10,5	23	
			A-16+A-16	-0,2	0,9	
		4,5	3A-16+A-16	0,95	1,85	
			3A-25+A-25	3,4	8,2	
			3A-35+A-35	7,75	21	
			A-16+A-16	-0,75	4,2	
3,5-5,8	2A-16+A-16	5,5	3A-16+A-16	0,2	0,45	
			3A-25+A-25	2,2	6,8	
			3A-35+A-35	5,75	18,5	
			A-16+A-16	-1,2	8,15	

5,8-13,5	3A-16+A-16	7	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-16+A-16	6,3 13,6 17,1- 0,85	5,0 16,626,0 3,1
		9	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-16+A-16	3,7 9,35 12,0 -1,75	3,7 14,3 22,9 7,75
		11	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-16+A-16	1,85 6,4 8,6 -2,5	2,15 11,6 19,3 13,1
		13	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-16+A-16	0,4 4,25 6,05 -3,2	0,5 8,75 15,4 19,2
13,5-25,4	3A-25+A-25	14	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	9,8 10,8 -0,3	7,6 13,7 0,4
		16	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	7,35 2 -1,45	6,35 11,6 2,25
		188	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	5,35 6,1 -2,5	5,05 9,25 4,25
		20	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	3,65 4,25 -3,5	3,7 6,9 6,3
		22	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	2,1 2,6 -4,35	2,3 4,4 8,25
		24	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	0,9 1,15 -5,25	1,0 2,0 10
		Свыше 25,4	3A-50+A-50	26	3A-35+A-35 3A-25+A-25
		29	3A-35+A-35 3A-25+A-25	-0,1 -0,3	0,9 2,0
		32	3A-35+A-35 3A-25+A-25	-3,7 -4,5	3,15 7,25
		35	3A-35+A-35 3A-25+A-25	-5,8 -8,0	5,7 11,5
Гололёд 15мм					
0-6,6	3A-25+A-25	1	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	13,7 21,7 31	10,6 22,5 34,1
		2	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	6,35 10,4 15,3	9,7 21,3 33,1

		3	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	3,7 6,45 9,75	8,25 19,2 30,7
		4	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	2,2 4,25 6,7	6,35 16,4 27,5
		5	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	1,15 2,8 4,75	4,0 13 23,55
		6	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	0,35 1,7 3,35	1,4 9,25 19,15
6-11,8	2A-25+A-25	7	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35 A-25+A-25	4,3 8,5 11,9 -0,3	6,65 16,05 12,65 1,45
		8	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35 A-25+A-25	3,15 6,85 9,88 -0,9	5,45 14,45 23,7 4,6
		9	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35 A-25+A-25	2,2 5,45 88,1 -1,45	4,15 12,7 21,5 8,1
		10	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35 A-25+A-25	13,5 4,2 6,65 -1,95	2,8 10,65 19,2 11,8
		11	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35 A-25+A-25	0,6 3,25 5,4 -2,4	1,6 8,85 16,8 15,65
11,8-25,1	3A-25+A-25	12	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	13,1 15,4 -0,1	7,0 14,5 0,2
		14	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	10 11,9 -1,3	6,1 12,8 3,45
11,88-25,1	3A-25+A-25	16	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	7,6 9,25 -2,4	5,1 11 7,05
		18	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	5,5 7,0 -3,35	4,05 9,0 10,8
		20	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	3,7 5,05 -4,25	2,95 7,0 14,7
		22	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	2,1 3,3 -5,1	1,75 4,85 18,85

		24	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	0,7 1,8 -6,0	0,6 2,75 23	
25,1-28,4	3A-35+A-35	25,5	3A-50+A-50 3A-25+A-25	3,4 0,7	2,25 0,7	
			26	3A-50+A-50 3A-25+A-25	1,65 -0,6	1,15 0,55
		28	3A-50+A-50 3A-25+A-25	0,2 -1,8	0,15 1,7	
Свыше 28,4	3A-50+A-50	30	3A-35+A-35	-1,0	0,8	
		32	3A-35+A-35	-2,3	1,8	
		34	3A-35+A-35	-3,4	2,75	
		36	3A-35+A-35	-4,65	3,75	
Гололёд 20мм						
0-4,4	A-25+A-25	1	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	6,45 1,6 23	4,15 16,3 21,3	
			2	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	2,7 8,9 11,1	3,5 15,5 20,2
				3	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	1,25 5,4 7,3
		4	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35		0,35 3,45 4,6	0,9 11,3 15,85
4,4-13,0	2A-25+A-25	5	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	9,45 11,25 15,4 -0,35	9,7 14,05 22 0,95	
			7	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	5,65 6,95 9,85 -1,4	7,85 11,75 19,2 5,65
4,4-13,0	2A-25+A-25			9	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	3,2 4,2 6,5 -2,25
			11		3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	1,45 2,25 4,1 -3,05
		13		3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	0 0,7 2,25 -3,85	0 1,85 7,15 25,6
13,0-17,7	3A-25+A-25	14	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	2,8 6,75 -0,65	1,5 6,45 1,5	

		15	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	1,9 5,6 -1,25	1,1 5,7 3,2
		16	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	1,2 4,65 -1,8	0,7 5,0 4,8
		17	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	0,55 3,75 -2,4	0,35 4,2 6,75
17,7-26,4	3A-35+A-35	18	3A-50+A-50 3A-25+A-25	6,8 -0,2	3,5 0,1
		20	3A-50+A-50 3A-25+A-25	4,95 -1,35	2,7 1,0
		22	3A-50+A-50 3A-25+A-25	3,2 -2,45	1,9 1,95
		24	3A-50+A-50 3A-25+A-25	1,7 -3,5	1,05 2,9
		26	3A-50+A-50 3A-25+A-25	0,4 -4,5	0,25 4,1
Свыше 26,4	3A-50+A-50	28	3A-35+A-35	-1,05	0,75
		30	3A-35+A-35	-2,5	1,8
		32	3A-35+A-35	-3,85	2,58

Таблица Б5 - Удельные потери напряжения, выраженные в тысячных долях процента на 1 В\*А \*м,  
в проводах ВЛ напряжением 0,38 кВ

Коэф. мощ- ности	Марка провода и исполнение линии																
	А-16, Ап-16			А-25, Ап-25, Ан-25			А-35, Ап-35, Ан-35			А-50, Ан-50			А-70	А-95	АпС-16	АпС-25	АпС-35
	3ф+0	2ф+0	1ф+0	3ф+0	2ф+0	1ф+0	3ф+0	2ф+0	1ф+0	3ф+0	2ф+0	1ф+0	3ф+0	3ф+0	3ф+0	3ф+0	3ф+0
1	1,273	2,848	7,595	0,807	1,805	4,814	0,588	1,317	3,512	0,407	0,911	2,430	0,290	0,218	1,246	0,814	0,546
0,96	1,192	2,891	7,709	0,843	1,886	5,030	0,631	1,412	3,765	0,454	1,017	2,717	0,346	0,276	1,264	0,782	0,590
0,93	1,276	2,855	7,613	0,840	1,880	5,013	0,639	1,418	3,782	0,462	0,034	2,756	0,359	0,291	1,254	0,847	0,596
0,92	1,269	2,840	7,573	0,838	1,875	5,000	0,634	1,418	3,780	0,463	0,037	2,765	0,362	0,295	1,241	0,843	0,597
0,9	1,255	2,808	7,487	0,833	1,863	4,968	0,632	1,415	3,772	0,465	0,041	2,776	0,367	0,302	1,227	0,837	0,597
0,85	1,214	2,717	7,244	0,815	1,822	4,860	0,624	1,396	3,724	0,465	0,041	2,777	0,374	0,313	1,187	0,819	0,592
0,83	1,196	2,677	7,139	0,806	1,803	4,809	0,620	1,386	3,697	0,464	0,039	2,770	0,376	0,316	1,169	0,810	0,588
0,78	1,150	2,573	6,861	0,782	1,750	4,667	0,606	1,356	3,617	0,459	0,028	2,741	0,378	0,321	1,122	0,785	0,577
0,75	1,121	2,508	6,687	0,767	1,716	4,575	0,597	1,335	3,561	0,455	0,018	2,716	0,378	0,323	1,094	0,770	0,570
0,7	1,070	2,395	6,386	0,739	1,654	4,411	0,580	1,297	3,459	0,447	0,000	2,665	0,376	0,325	1,045	0,742	0,555
В фонарном проводе																	
	3,797			2,407			1,756			1,215			-	-	3,716	2,428	1,628

**Таблица Б6 - Характеристики трёхфазных двухобмоточных трансформаторов**

Тип	Номинальная мощность кВА	Напряжение обмоток, кВ		Потери, кВт		Напряжение к.з. %	Ток х.х. %
		В. Н.	Н.Н.	х.х.	к.з.		
Масляные без РНН							
ТМ-25	25	6-10	0,23; 0,4	0,125	0,60	4,5	3,20
ТМ-40	40	6-10	0,23; 0,4	0,180	0,88	4,5	3,00
ТМ-63	63	6-10	0,23; 0,4	0,265	1,28	4,5	2,80
ТМ-100	100	6-10	0,23; 0,4	0,365	1,97	4,5	2,60
ТМ-160	160	6-10	0,23; 0,4	0,540	2,65	4,5	2,40
ТМ-250	250	6-10	0,23; 0,4	1,050	3,70	4,5	2,30
ТМ-400	400	6-10	0,23; 0,4	1,450	5,50	4,5	2,10
ТМ-630	630	6-10	0,23; 0,4	2,270	7,60	5,5	2,00
ТМ-1000	1000	6-10	0,4	3,800	12,70	5,5	3,00
ТМ-100	100	35	0,23; 0,4	0,465	1,97	6,5	4,16
ТМ-160	160	35	0,23; 0,4	0,660	2,65	6,5	2,40
ТМ-250	250	35	0,23; 0,4	0,960	3,70	6,5	2,50
ТМ-400	400	35	0,23; 0,4	1,350	5,50	6,5	2,10
ТМ-630	630	35	0,23; 0,4	2,000	7,60	6,5	2,00

**Таблица Б7 - Коэффициенты экранирования вертикальных заземлителей**

Число труб (уголков)	Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине	к <sub>э,в</sub>		Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине	к <sub>э,в</sub>	
		2	3		2	3
4	1	0,66...0,72	0,76...0,80	2	3	0,84...0,86
6	1	0,58...0,65	0,71...0,75	2	3	0,78...0,82
10	1	0,52...0,58	0,66...0,71	2	3	0,74...0,78
20	1	0,44...0,50	0,61...0,66	2	3	0,68...0,73
40	1	0,38...0,44	0,55...0,61	2	3	0,64...0,69
60	1	0,36...0,42	0,52...0,58	2	3	0,62...0,67

**Таблица Б8 - Коэффициенты экранирования соединительной полосы, к<sub>э,г</sub>**

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число труб					
	4	8	10	20	30	40
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28
3	0,70	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### ЗАДАНИЕ

На курсовую работу по дисциплине «САПР систем электроснабжения»  
Создать проект, с применением САПР систем электроснабжения рассредоточенных объектов, состоящий из следующих пунктов:

1. Исходные данные;
2. Определение места расположения ТП, выбор конфигурации сети 0,38 кВ;
3. Определение электрических нагрузок сети 0,38 кВ;
4. Определение числа мощности трансформаторов на подстанции;
5. Выбор типа подстанции;
6. Определение места расположения подстанции, конфигурация сети высокого напряжения и определение величины высокого напряжения;
7. Определение нагрузки в сети высокого напряжения;
8. Расчет сечения проводов в сети высокого напряжения;
9. Определение потерь высокого напряжения в высоковольтной сети и трансформаторе;
10. Определение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения и трансформаторе;
11. Определение допустимых потерь напряжения в сети 0,38 кВ;
12. Определение сечения проводов и фактических потерь напряжения, мощности и энергии в сетях напряжением 0,38 кВ. Компенсация реактивной мощности в сетях 0,38 кВ;
13. Определение конструктивных параметров высоковольтной и низковольтной линии;
14. Расчет токов короткого замыкания;
15. Выбор и проверка аппаратуры высокого напряжения ячейки питающей линии.
16. Расчет электрических нагрузок расчетного населенного пункта;
17. Компенсация реактивной мощности в сетях 0,38 кВ;
18. Расчет сети на потерю напряжения при пуске электродвигателя;
19. Расчёт уставок релейной защиты;
20. Выбор и проверка высоковольтной и низковольтной аппаратуры на подстанции;
21. Выбор устройства защиты от перенапряжений;
22. Расчет контура заземления подстанции.

Задание получил \_\_\_\_\_

Подпись

ФИО

Дата

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	X, км	Y, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	5,6	8,0	АС	402
2	3,9	2,2	СИП	328
3	5,8	5,4	СИП	245
4	5,0	7,3	АС	500
5	4,8	3,6	АС	321
6	6,6	6,6	АС	289

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	X, м	Y, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	176	453	382	АПВ	-
	129	395	397	АВВГ	-
	134	499	328	АВВГ	4А200L24У3
	504	119	120	АВВГ	4А132М4У3
	535	385	497	АВВГ	-
	192	479	344	АВВГ	-
	347	235	168	АПВ	-
2	1	474	145	АВВГ	-
	15	143	216	АПВ	-
	56	213	468	АВВГ	-
	528	291	180	АПВ	-
	33	276	228	АВВГ	-
	375	230	127	АПВ	-
	325	84	267	АПВ	-
3	19	70	311	АПВ	-
	184	424	319	АВВГ	-
	35	172	404	АВВГ	-
	317	215	479	АПВ	4А160S4У3
	131	56	82	АПВ	-
	54	238	232	АПВ	-
	520	154	23	АПВ	4А160М6У3
4	180	137	439	АВВГ	-
	349	472	210	АПВ	4А180М6У3
	138	145	345	АВВГ	4А132М4У3
	612	448	121	АПВ	-
	612	91	169	АПВ	-
	23	178	30	АВВГ	4А160М2У3
	335	352	352	АВВГ	-
5	380	75	13	АВВГ	-
	350	490	485	АВВГ	-
	559	71	333	АВВГ	-
	369	32	329	АВВГ	-
	66	270	276	АВВГ	-
	555	462	298	АВВГ	-
	71	310	350	АПВ	-
6	115	207	417	АВВГ	-
	146	483	154	АПВ	-
	176	453	382	АПВ	-
	129	395	397	АВВГ	-
	134	499	328	АВВГ	4А200L24У3
	504	119	120	АВВГ	4А132М4У3
	535	385	497	АВВГ	-

## Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	7,9	8,3	СИП	315
2	2,3	2,1	АС	387
3	2,6	1,6	СИП	323
4	4,5	5,2	СИП	309
5	4	4,7	АС	352
6	6,1	0,8	СИП	262

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	385	497	181	АВВГ	4А180S4У3
	125	108	94	АВВГ	-
	184	453	324	АВВГ	-
	526	416	67	АВВГ	-
	116	106	37	АПВ	-
	562	387	1	АВВГ	-
	159	139	271	АПВ	-
2	124	255	54	АВВГ	-
	41	326	301	АПВ	-
	27	215	97	АВВГ	-
	360	417	199	АВВГ	-
	187	290	30	АПВ	-
	144	12	74	АПВ	-
	536	134	7	АПВ	-
3	52	474	418	АВВГ	-
	65	349	391	АПВ	-
	528	19	249	АВВГ	-
	383	117	452	АПВ	-
	71	93	98	АВВГ	-
	560	468	237	АПВ	-
	117	198	146	АВВГ	-
4	144	347	88	АВВГ	-
	532	111	402	АПВ	-
	388	80	227	АВВГ	-
	316	114	157	АВВГ	4А132М2У3
	540	472	28	АПВ	4А180S4У3
	127	477	67	АВВГ	4А132М2У3
	41	307	51	АВВГ	-
5	366	15	90	АПВ	4А160S6У3
	106	437	253	АВВГ	-
	43	75	185	АВВГ	-
	68	339	196	АПВ	-
	101	354	330	АВВГ	-
	2	195	12	АВВГ	-
	37	340	61	АВВГ	4А160S6У3
6	100	238	290	АПВ	4А200М4У3
	385	497	181	АВВГ	4А180S4У3
	125	108	94	АВВГ	-
	184	453	324	АВВГ	-
	526	416	67	АВВГ	-
	116	106	37	АПВ	4А180S4У3
	562	387	1	АВВГ	4А180S4У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	5,4	1,8	АС	340
2	2,2	2,6	АС	477
3	7,9	1	СИП	447
4	2,6	6,1	СИП	341
5	2,6	4,5	СИП	319
6	1,7	7,8	АС	472

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	371	10	213	АПВ	-
	53	371	173	АВВГ	-
	503	357	419	АПВ	-
	551	272	488	АВВГ	-
	7	350	448	АПВ	-
	126	411	94	АВВГ	-
	68	415	194	АВВГ	-
2	518	114	235	АПВ	-
	73	117	337	АПВ	-
	179	231	79	АПВ	-
	385	443	348	АПВ	-
	602	477	204	АВВГ	4А250S6У3
	104	411	47	АВВГ	4А200М6У3
3	308	248	461	АПВ	4А200L2У3
	362	153	393	АВВГ	-
	540	417	358	АПВ	4А132М4У3
	552	253	4	АПВ	4А225М2У3
	192	478	176	АПВ	4А160М4У3
	366	447	17	АВВГ	-
	355	241	331	АПВ	-
4	348	469	141	АПВ	-
	374	230	324	АПВ	-
	108	144	470	АВВГ	-
	32	223	402	АВВГ	-
	51	97	122	АПВ	-
	504	4	341	АПВ	-
	361	70	493	АПВ	-
5	199	176	259	АВВГ	-
	511	39	354	АВВГ	-
	307	236	14	АПВ	-
	74	283	196	АПВ	-
	137	126	257	АВВГ	-
	314	318	338	АВВГ	-
6	527	401	397	АПВ	-
	46	308	264	АПВ	-
	175	211	448	АПВ	-
	371	10	213	АПВ	-
	53	371	173	АВВГ	-
	503	357	419	АПВ	-
	551	272	488	АВВГ	-
6	7	350	448	АПВ	4А180М2У3
	126	411	94	АВВГ	4А132М4У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	X, км	Y, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	2,4	7	АС	238
2	8,9	0,7	СИП	221
3	7,9	8,9	АС	395
4	9,4	0,9	АС	314
5	4,7	3,4	АС	289
6	2,7	5,5	АС	406

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	X, м	Y, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	542	222	369	АПВ	-
	531	97	284	АПВ	4A225M6Y3
	358	479	314	АПВ	-
	142	12	268	АПВ	-
	303	443	99	АПВ	-
	130	222	46	АВВГ	-
	601	481	343	АПВ	-
2	23	64	331	АПВ	-
	534	245	90	АПВ	-
	133	70	108	АПВ	-
	41	495	61	АПВ	-
	175	131	430	АПВ	-
	195	329	108	АВВГ	-
	364	390	376	АВВГ	-
3	614	142	302	АПВ	-
	384	427	1	АПВ	-
	169	128	341	АВВГ	-
	128	149	469	АПВ	-
	304	407	473	АВВГ	-
	517	126	361	АВВГ	-
	36	392	121	АПВ	-
4	341	117	33	АПВ	-
	652	423	423	АПВ	-
	336	47	219	АПВ	-
	620	154	458	АВВГ	-
	543	161	36	АПВ	-
	72	231	430	АПВ	-
	334	153	272	АПВ	-
5	137	419	157	АПВ	-
	515	480	94	АПВ	-
	602	56	280	АВВГ	-
	108	481	462	АВВГ	-
	48	432	123	АВВГ	-
	317	393	130	АВВГ	-
	36	335	473	АВВГ	-
6	507	438	53	АПВ	-
	542	222	369	АПВ	-
	531	97	284	АПВ	4A225M6Y3
	358	479	314	АПВ	-
	142	12	268	АПВ	4A160M6Y3
	303	443	99	АПВ	4A180S2Y3
	130	222	46	АВВГ	4A180M2Y3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	4,3	1,2	АС	454
2	3,1	8,6	СИП	330
3	3,5	9,7	СИП	482
4	2,6	0,8	СИП	308
5	4,6	9,5	АС	268
6	6,2	6,5	АС	499

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	561	215	225	АВВГ	-
	128	496	301	АПВ	-
	189	413	239	АВВГ	-
	349	331	458	АВВГ	-
	319	11	456	АПВ	-
	309	253	407	АПВ	-
	537	426	91	АПВ	-
2	307	387	469	АВВГ	-
	36	65	121	АПВ	-
	505	161	421	АПВ	-
	182	463	357	АПВ	-
	502	26	473	АПВ	-
	121	175	134	АВВГ	-
	309	480	402	АПВ	-
3	507	437	149	АВВГ	-
	27	331	46	АПВ	-
	305	363	468	АПВ	-
	533	489	10	АПВ	-
	19	322	8	АВВГ	-
	107	318	134	АВВГ	-
	307	319	243	АВВГ	-
4	551	377	243	АВВГ	-
	508	283	408	АВВГ	4А160S6У3
	122	450	10	АВВГ	-
	536	379	94	АПВ	4А250S6У3
	119	105	119	АПВ	-
	171	220	331	АПВ	4А225М2У3
	196	425	413	АВВГ	-
5	153	55	79	АВВГ	4А160S4У3
	522	151	270	АВВГ	-
	13	395	472	АПВ	-
	562	148	448	АПВ	-
	351	393	230	АВВГ	4А250S6У3
	507	467	284	АВВГ	-
	370	194	175	АПВ	-
6	155	103	78	АПВ	4А200М4У3
	561	215	225	АВВГ	-
	128	496	301	АПВ	-
	189	413	239	АВВГ	4А160S6У3
	349	331	458	АВВГ	4А200М6У3
	319	11	456	АПВ	-
	309	253	407	АПВ	-

## Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	6,1	8,6	СИП	343
2	3,5	2,2	АС	490
3	3,9	4,4	АС	456
4	4,1	4	СИП	205
5	5,3	0,7	СИП	218
6	3,7	5	АС	333

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	350	227	221	АВВГ	-
	156	186	270	АВВГ	-
	510	211	175	АВВГ	4А160S6У3
	391	79	9	АПВ	-
	33	137	426	АВВГ	4А180S4У3
	64	480	50	АВВГ	4А112М2У3
	541	34	443	АПВ	-
2	24	128	361	АВВГ	-
	384	342	179	АВВГ	-
	314	478	31	АВВГ	4А225М2У3
	73	194	186	АВВГ	-
	336	398	105	АВВГ	4А160S4У3
	609	20	63	АВВГ	-
	51	104	87	АВВГ	-
3	185	422	256	АПВ	-
	563	364	27	АПВ	-
	524	274	326	АПВ	-
	55	158	266	АПВ	-
	547	162	355	АПВ	4А250М6У3
	391	326	244	АВВГ	-
	105	308	174	АПВ	-
4	180	395	189	АПВ	4А132М2У3
	9	7	321	АВВГ	-
	384	451	372	АВВГ	-
	562	26	78	АПВ	-
	361	162	16	АВВГ	-
	533	353	105	АПВ	-
	119	271	229	АВВГ	4А160М2У3
5	346	191	88	АПВ	-
	11	136	261	АПВ	-
	319	156	452	АВВГ	-
	38	55	275	АПВ	-
	307	389	235	АПВ	4А160S6У3
	160	97	395	АПВ	-
	113	8	423	АВВГ	-
6	348	54	154	АПВ	-
	350	227	221	АВВГ	-
	156	186	270	АВВГ	-
	510	211	175	АВВГ	4А160S6У3
	391	79	9	АПВ	-
	33	137	426	АВВГ	4А180S4У3
	64	480	50	АВВГ	4А112М2У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	X, км	Y, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	1,3	9,5	АС	339
2	1,5	6,7	СИП	475
3	6,9	9,7	СИП	389
4	2,8	3,6	СИП	484
5	3,9	8	АС	314
6	2	9,2	АС	419

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	X, м	Y, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	331	225	159	АВВГ	-
	342	48	128	АПВ	4А225М6У3
	198	493	447	АВВГ	4132SY3
	65	30	276	АВВГ	4А200М4У3
	509	459	469	АВВГ	-
	23	116	432	АВВГ	-
	503	33	393	АПВ	-
2	548	77	311	АПВ	4А200М4У3
	544	253	111	АВВГ	-
	559	68	176	АПВ	4132SY3
	373	211	461	АПВ	4А160S2Y3
	376	299	238	АВВГ	4А160S6Y3
	41	384	294	АВВГ	-
	329	124	53	АПВ	-
3	328	361	105	АПВ	-
	606	106	99	АВВГ	-
	76	61	95	АВВГ	-
	127	276	348	АПВ	4А160S2Y3
	565	260	434	АПВ	-
	329	9	65	АВВГ	-
	12	50	449	АВВГ	-
4	195	299	178	АПВ	-
	503	478	469	АВВГ	-
	11	38	189	АВВГ	-
	5	75	138	АПВ	4А180М6У3
	331	356	282	АВВГ	-
	73	320	73	АПВ	-
	155	7	174	АВВГ	-
5	360	367	380	АПВ	-
	129	423	407	АПВ	-
	345	412	97	АПВ	-
	359	156	371	АПВ	-
	18	226	274	АВВГ	-
	38	303	78	АПВ	4А225М6У3
	2	90	229	АВВГ	4А180М2У3
6	500	482	268	АПВ	-
	331	225	159	АВВГ	-
	342	48	128	АПВ	4А225М6У3
	198	493	447	АВВГ	4132SY3
	65	30	276	АВВГ	4А200М4У3
	509	459	469	АВВГ	-
	23	116	432	АВВГ	-

## Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	0,3	8,1	АС	384
2	0,8	2,9	СИП	317
3	4	0,6	АС	274
4	8	0,9	АС	383
5	4,7	8,4	СИП	367
6	9,5	8,6	СИП	290

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	166	499	62	АВВГ	4А180S4У3
	558	88	263	АПВ	-
	350	38	62	АВВГ	-
	522	18	36	АПВ	-
	375	261	68	АПВ	4А132М4У3
	374	5	361	АПВ	-
	2	175	422	АВВГ	-
2	518	26	189	АПВ	-
	199	156	51	АВВГ	-
	512	62	40	АПВ	4А160М2У3
	20	27	463	АВВГ	-
	382	302	266	АВВГ	4А160S6У3
	73	57	99	АВВГ	-
3	116	419	245	АПВ	-
	533	82	290	АПВ	-
	527	367	185	АВВГ	-
	376	215	127	АВВГ	-
	155	384	165	АПВ	-
	138	274	340	АПВ	-
	112	179	214	АПВ	-
4	329	243	10	АПВ	-
	126	157	495	АВВГ	-
	310	485	265	АПВ	-
	506	455	294	АПВ	-
	125	12	45	АПВ	4А160М6У3
	135	310	231	АВВГ	-
	386	260	203	АПВ	4А180S4У3
5	69	54	214	АПВ	-
	39	492	130	АВВГ	-
	344	370	28	АВВГ	-
	518	219	233	АВВГ	-
	555	365	352	АПВ	-
	190	192	234	АПВ	-
	31	395	442	АПВ	-
6	177	74	149	АВВГ	-
	355	490	460	АВВГ	4А160S4У3
	166	499	62	АВВГ	4А180S4У3
	558	88	263	АПВ	-
	350	38	62	АВВГ	-
	522	18	36	АПВ	-
	375	261	68	АПВ	4А132М4У3
374	5	361	АПВ	-	

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	8,5	8,4	АС	407
2	4,5	0,6	СИП	413
3	6,2	5,2	АС	370
4	8,6	7,1	СИП	380
5	4,1	5,9	АС	353
6	3,5	2	АС	304

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	525	278	372	АВВГ	-
	307	443	162	АВВГ	4А160М2У3
	24	371	278	АВВГ	-
	312	388	332	АПВ	4А160М6У3
	188	296	433	АПВ	-
	383	384	362	АПВ	4А180С4У3
	530	280	254	АВВГ	4А225М4У3
2	149	4	80	АПВ	-
	71	395	386	АПВ	-
	155	330	303	АПВ	-
	557	67	384	АПВ	-
	8	91	460	АПВ	-
	318	348	428	АВВГ	-
	306	63	217	АВВГ	-
3	615	472	69	АВВГ	-
	74	88	57	АВВГ	-
	170	193	35	АВВГ	-
	180	117	229	АВВГ	-
	352	373	439	АПВ	-
	27	420	295	АПВ	-
	26	489	126	АВВГ	-
4	314	110	105	АПВ	-
	46	451	111	АВВГ	-
	113	280	483	АВВГ	-
	36	46	148	АПВ	-
	197	199	360	АПВ	-
	11	481	242	АВВГ	-
	105	40	367	АПВ	4А180М2У3
5	605	310	393	АВВГ	-
	324	388	90	АПВ	-
	199	439	264	АВВГ	-
	70	20	373	АВВГ	4А132М2У3
	357	389	407	АПВ	-
	366	382	354	АПВ	-
	111	235	50	АПВ	4А180С4У3
6	103	114	263	АПВ	4А200М2У3
	525	278	372	АВВГ	-
	307	443	162	АВВГ	4А160М2У3
	24	371	278	АВВГ	-
	312	388	332	АПВ	4А160М6У3
	188	296	433	АПВ	-
	383	384	362	АПВ	4А180С4У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	1,9	8,8	АС	262
2	4,7	8,1	АС	226
3	8,5	6,8	СИП	477
4	7,4	5,9	АС	349
5	6,7	6,9	АС	412
6	5,2	0,9	АС	294

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	34	31	141	АПВ	-
	121	80	145	АПВ	-
	529	486	219	АПВ	-
	339	300	21	АВВГ	-
	324	161	172	АПВ	-
	12	396	319	АПВ	-
	565	34	481	АПВ	4А132М4У3
2	196	463	184	АПВ	-
	119	164	345	АВВГ	-
	311	133	88	АПВ	-
	186	121	82	АВВГ	-
	504	81	33	АПВ	-
	369	395	494	АВВГ	-
	309	164	191	АВВГ	-
3	108	217	26	АПВ	-
	349	374	108	АПВ	-
	385	6	132	АВВГ	-
	544	389	291	АПВ	-
	308	435	399	АВВГ	-
	355	212	438	АВВГ	4А112М2У3
	388	441	427	АВВГ	4А250М6У3
4	49	461	483	АВВГ	4А200М2У3
	136	444	95	АПВ	4А200М2У3
	506	37	88	АПВ	4А160S4У3
	35	236	191	АВВГ	-
	523	181	338	АПВ	-
	75	291	291	АВВГ	-
	561	340	415	АПВ	-
5	185	418	437	АВВГ	4А112М2У3
	64	413	487	АПВ	4А160S2У3
	314	473	450	АПВ	-
	304	118	360	АВВГ	-
	161	175	108	АПВ	4А160М4У3
	102	39	280	АПВ	-
	51	74	432	АПВ	-
6	556	397	466	АПВ	-
	34	31	141	АПВ	-
	121	90	145	АПВ	-
	529	486	219	АПВ	-
	339	300	21	АВВГ	-
	324	161	172	АПВ	-
	12	396	319	АПВ	-

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	6,5	7,1	СИП	279
2	4,9	0,5	АС	376
3	6,6	4,2	СИП	283
4	4,2	8,7	АС	499
5	5	9,6	АС	411
6	4,5	3,7	АС	232

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	44	495	221	АВВГ	4А225М2У3
	552	471	169	АВВГ	-
	195	367	462	АПВ	4А160S4У3
	542	240	400	АВВГ	4А225М2У3
	385	170	352	АВВГ	-
	171	397	304	АПВ	4А132М2У3
	195	350	272	АПВ	4А200L24У3
2	23	311	15	АПВ	-
	159	380	434	АВВГ	-
	314	251	191	АВВГ	-
	617	61	158	АВВГ	-
	545	215	214	АВВГ	4А180М6У3
	322	157	337	АПВ	4А132М4У3
	392	36	217	АВВГ	-
3	197	176	358	АПВ	4А160S4У3
	303	65	304	АПВ	4А250М6У3
	322	267	283	АПВ	-
	552	275	263	АВВГ	-
	554	341	4	АПВ	4А180S2У3
	351	384	277	АВВГ	-
	610	86	248	АВВГ	-
4	370	470	290	АПВ	4А160М2У3
	386	369	389	АПВ	-
	365	12	50	АПВ	-
	389	275	416	АВВГ	-
	511	393	177	АПВ	4А132М4У3
	526	230	353	АПВ	-
	307	431	258	АПВ	-
5	363	175	205	АПВ	-
	114	400	290	АПВ	-
	120	167	226	АВВГ	-
	604	291	385	АПВ	-
	312	285	308	АВВГ	-
	313	105	98	АВВГ	-
	610	268	78	АПВ	-
6	115	163	71	АПВ	-
	44	495	221	АВВГ	4А225М2У3
	552	471	169	АВВГ	-
	195	367	462	АПВ	4А160S4У3
	542	240	400	АВВГ	4А225М2У3
	385	170	352	АВВГ	-
	171	397	304	АПВ	4А132М2У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	3,2	1,1	СИП	466
2	1,9	2,4	СИП	324
3	4,6	5,8	СИП	292
4	0,3	2,8	СИП	436
5	3,1	0,1	АС	373
6	4	8,8	СИП	240

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	357	264	448	АВВГ	-
	524	112	415	АПВ	4А250S6У3
	325	193	82	АПВ	-
	327	204	413	АВВГ	4А200М4У3
	107	2	198	АВВГ	-
	561	258	381	АПВ	-
	174	337	497	АВВГ	-
2	192	247	109	АВВГ	4А160М4У3
	25	167	380	АВВГ	-
	619	449	281	АПВ	4А225М4У3
	356	36	486	АПВ	-
	366	34	415	АВВГ	-
	320	121	257	АВВГ	-
	180	294	54	АПВ	-
3	502	230	422	АПВ	-
	105	48	307	АВВГ	-
	613	151	382	АПВ	-
	131	361	153	АВВГ	-
	555	348	48	АПВ	-
	160	119	266	АПВ	-
	314	364	317	АПВ	4А250S6У3
4	196	356	99	АВВГ	-
	139	432	127	АВВГ	4132SУ3
	347	33	364	АВВГ	-
	175	101	91	АВВГ	-
	70	428	325	АВВГ	4А132М4У3
	26	93	127	АПВ	-
	24	334	321	АВВГ	-
5	163	492	385	АВВГ	-
	352	480	249	АВВГ	-
	3	435	266	АВВГ	4А225М4У3
	149	301	286	АПВ	4А250М6У3
	10	425	38	АВВГ	-
	369	302	225	АПВ	-
	46	204	1	АВВГ	-
6	147	271	482	АПВ	-
	357	264	448	АВВГ	-
	524	112	415	АПВ	4А250S6У3
	325	193	82	АПВ	-
	327	204	413	АВВГ	4А200М4У3
	107	2	198	АВВГ	-
	561	258	381	АПВ	-

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	X, км	Y, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	4,9	8,2	АС	204
2	8,9	8,5	АС	476
3	3,6	4,2	АС	494
4	4,7	5,3	СИП	237
5	8,3	7,4	АС	445
6	8,7	6,2	АС	436

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	X, м	Y, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	392	94	235	АПВ	-
	168	484	125	АВВГ	4А160S2У3
	328	105	8	АВВГ	-
	550	256	40	АПВ	-
	505	461	3	АВВГ	-
	176	244	303	АПВ	-
	151	143	162	АВВГ	-
2	17	273	359	АПВ	4А160M2У3
	172	196	204	АВВГ	-
	136	475	152	АВВГ	-
	192	426	134	АПВ	4А200L2У3
	15	58	155	АВВГ	4А160M4У3
	547	38	158	АВВГ	-
	58	236	89	АВВГ	-
3	322	370	47	АВВГ	4А200L24У3
	126	184	42	АВВГ	-
	528	9	473	АПВ	-
	37	408	454	АВВГ	-
	133	391	119	АПВ	4А180M2У3
	616	41	45	АПВ	4А225M6У3
	63	278	412	АПВ	4А160M6У3
4	143	455	177	АВВГ	-
	337	94	232	АПВ	-
	609	481	284	АВВГ	-
	527	454	278	АВВГ	4А225M6У3
	74	331	490	АПВ	-
	186	236	196	АВВГ	-
	166	420	138	АВВГ	-
5	121	318	449	АПВ	4А160S6У3
	119	389	386	АВВГ	4А160S4У3
	384	431	251	АПВ	-
	358	253	311	АВВГ	-
	142	326	449	АВВГ	-
	309	390	410	АПВ	-
	150	121	1	АВВГ	-
6	70	88	123	АПВ	-
	392	94	235	АПВ	-
	168	484	125	АВВГ	4А160S2У3
	328	105	8	АВВГ	-
	550	256	40	АПВ	-
	505	461	3	АВВГ	-
	176	244	303	АПВ	-

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	8,9	4,1	АС	281
2	2,2	0,1	АС	415
3	4,9	7,4	АС	223
4	2,4	6,1	АС	236
5	3,5	7	АС	334
6	7,1	4,9	СИП	337

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	351	107	370	АВВГ	-
	537	366	54	АВВГ	-
	134	317	295	АПВ	4А200L24У3
	157	256	213	АВВГ	-
	22	243	370	АВВГ	-
	607	271	401	АПВ	4А180S4У3
	45	259	341	АВВГ	-
2	22	181	466	АВВГ	-
	538	480	445	АПВ	-
	51	14	191	АВВГ	-
	534	498	201	АПВ	4А180S4У3
	536	448	305	АВВГ	-
	314	227	185	АВВГ	-
	546	498	225	АПВ	-
3	348	445	95	АПВ	-
	617	462	287	АПВ	-
	43	184	280	АПВ	4А132М2У3
	618	258	104	АПВ	4А200L2У3
	154	197	228	АВВГ	-
	336	260	67	АПВ	-
	547	336	93	АПВ	-
4	349	492	356	АПВ	-
	341	493	428	АПВ	-
	601	104	6	АПВ	-
	533	276	465	АПВ	4А132М4У3
	534	192	102	АПВ	4А160S4У3
	547	151	361	АПВ	-
	507	394	334	АПВ	-
5	7	427	183	АПВ	-
	24	371	495	АПВ	-
	175	292	33	АПВ	-
	195	239	456	АВВГ	-
	529	147	87	АВВГ	-
	613	156	336	АВВГ	4А225М4У3
	21	343	1	АВВГ	-
6	138	119	226	АПВ	-
	351	107	370	АВВГ	-
	537	366	54	АВВГ	-
	134	317	295	АПВ	4А200L24У3
	157	256	213	АВВГ	-
	22	243	370	АВВГ	-
	607	271	401	АПВ	4А180S4У3

## Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	5,4	3,3	СИП	377
2	1,4	8,3	АС	207
3	2,4	1,8	СИП	438
4	5,3	8,7	СИП	249
5	2,4	0,3	АС	459
6	0,5	4,4	АС	333

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	538	175	379	АВВГ	4А160М6У3
	119	152	168	АВВГ	4А160S4У3
	136	420	283	АПВ	4А160М6У3
	3	159	303	АПВ	4132SY3
	12	144	288	АВВГ	4А250М6У3
	373	266	24	АВВГ	4А132М4У3
	392	206	42	АПВ	-
2	609	133	193	АПВ	-
	300	79	301	АВВГ	-
	352	387	297	АВВГ	-
	383	330	218	АПВ	-
	189	16	366	АПВ	-
	168	301	191	АПВ	-
	385	91	155	АПВ	-
3	137	450	35	АВВГ	-
	55	311	354	АПВ	-
	371	455	175	АВВГ	4А200L24У3
	119	63	284	АВВГ	4А200L6У3
	180	208	186	АВВГ	-
	62	149	375	АВВГ	-
	194	229	65	АПВ	-
4	22	210	286	АПВ	-
	532	6	55	АВВГ	-
	523	152	237	АПВ	-
	352	497	461	АВВГ	4А200L2У3
	136	414	4	АПВ	4А200L2У3
	370	17	408	АПВ	-
	513	276	213	АПВ	-
5	199	123	297	АВВГ	-
	338	90	179	АПВ	-
	610	231	476	АПВ	-
	162	429	378	АПВ	-
	605	100	412	АВВГ	-
	531	422	218	АПВ	-
	7	213	1	АВВГ	-
6	559	156	475	АПВ	-
	538	175	379	АВВГ	4А160М6У3
	119	152	168	АВВГ	4А160S4У3
	136	420	283	АПВ	4А160М6У3
	3	159	303	АПВ	4132SY3
	12	144	288	АВВГ	4А250М6У3
	373	266	24	АВВГ	4А132М4У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	X, км	Y, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	6,7	6,2	АС	466
2	6,6	7,7	СИП	436
3	1,9	7,7	АС	419
4	9,7	1,1	СИП	245
5	9,4	0,6	АС	382
6	9,3	6,7	АС	385

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	X, м	Y, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	32	318	365	АПВ	-
	123	386	79	АВВГ	-
	355	391	37	АВВГ	-
	360	264	70	АПВ	4А180S4У3
	200	434	6	АВВГ	4А225М2У3
	326	186	88	АПВ	4А180S2У3
	546	399	203	АПВ	-
2	76	367	468	АВВГ	4А160S6У3
	521	59	183	АПВ	-
	187	404	464	АВВГ	-
	549	211	141	АПВ	-
	521	203	496	АВВГ	-
	8	8	302	АВВГ	4А160М4У3
	364	204	455	АВВГ	4А180S4У3
3	609	3	61	АВВГ	-
	111	9	165	АПВ	-
	378	70	412	АВВГ	-
	198	44	161	АВВГ	4А180S4У3
	17	80	323	АВВГ	-
	317	149	442	АПВ	-
	554	177	426	АПВ	-
4	508	51	259	АВВГ	-
	602	362	125	АВВГ	-
	500	110	235	АПВ	-
	543	456	489	АВВГ	-
	301	346	254	АПВ	-
	382	104	475	АПВ	-
	71	488	194	АПВ	4А225М4У3
5	518	367	329	АВВГ	-
	49	346	411	АВВГ	-
	369	462	387	АПВ	4А200М4У3
	343	247	412	АПВ	-
	104	342	230	АПВ	4А160М4У3
	323	87	9	АВВГ	-
	322	485	1	АПВ	-
6	534	480	88	АВВГ	4А180М6У3
	32	318	365	АПВ	-
	123	386	79	АВВГ	-
	355	391	37	АВВГ	-
	360	264	70	АПВ	4А180S4У3
	200	434	6	АВВГ	4А225М2У3
	326	186	88	АПВ	4А180S2У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	X, км	Y, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	7,7	2,7	СИП	418
2	1	4	АС	339
3	0,9	1,5	СИП	201
4	9	7,8	АС	304
5	7	7,2	АС	365
6	1,5	9,6	СИП	335

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	X, м	Y, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	530	185	407	АВВГ	-
	551	361	149	АВВГ	-
	195	348	363	АПВ	-
	511	322	264	АПВ	-
	373	475	460	АВВГ	-
	370	61	303	АПВ	4А200М2У3
	549	124	223	АВВГ	4А160S6У3
2	323	94	33	АВВГ	-
	615	227	140	АПВ	-
	385	280	485	АВВГ	4А160S4У3
	32	57	136	АВВГ	-
	521	327	460	АВВГ	-
	554	463	70	АВВГ	4А180S4У3
	15	469	300	АВВГ	-
3	564	22	24	АВВГ	-
	100	108	381	АВВГ	4А180S2У3
	532	330	293	АВВГ	-
	340	414	131	АВВГ	-
	113	49	152	АВВГ	-
	383	118	92	АВВГ	-
	378	201	366	АВВГ	-
4	538	36	200	АПВ	-
	652	219	285	АПВ	-
	512	242	83	АВВГ	4А225М6У3
	101	39	268	АВВГ	-
	308	396	56	АПВ	-
	528	490	200	АВВГ	-
	308	441	301	АПВ	-
5	185	77	176	АПВ	-
	132	233	163	АПВ	-
	47	368	304	АПВ	-
	104	435	21	АПВ	-
	306	327	388	АВВГ	-
	175	87	454	АВВГ	-
	10	207	1	АВВГ	4А250S6У3
6	607	380	359	АПВ	-
	530	185	407	АВВГ	-
	551	361	149	АВВГ	-
	195	348	363	АПВ	-
	511	322	264	АПВ	-
	373	475	460	АВВГ	-
	370	61	303	АПВ	4А200М2У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	X, км	Y, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	8,1	6,5	СИП	269
2	1,1	0,1	АС	499
3	0,3	3,4	СИП	360
4	9,3	3,6	СИП	360
5	1,9	7,2	АС	229
6	4,7	9,3	СИП	213

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	X, м	Y, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	503	144	441	АВВГ	-
	129	279	358	АПВ	-
	561	160	91	АВВГ	-
	518	10	325	АПВ	4А200L24У3
	64	438	324	АВВГ	-
	519	266	59	АВВГ	-
	128	490	189	АВВГ	-
2	140	224	389	АПВ	-
	158	324	250	АПВ	-
	71	443	190	АПВ	-
	381	264	109	АВВГ	-
	57	194	408	АВВГ	-
	33	247	99	АВВГ	4А200М4У3
	20	226	9	АВВГ	-
3	524	334	325	АПВ	-
	199	344	78	АВВГ	-
	559	160	18	АПВ	4А132М2У3
	22	246	405	АВВГ	-
	346	92	367	АПВ	-
	168	232	362	АПВ	4А132М4У3
	357	147	374	АПВ	-
4	520	4	490	АПВ	4А112М2У3
	536	466	22	АПВ	-
	315	396	296	АВВГ	-
	156	439	71	АПВ	-
	5	424	299	АПВ	-
	57	107	445	АПВ	-
	310	371	217	АПВ	-
5	112	37	314	АПВ	4А132М4У3
	509	479	82	АВВГ	-
	516	80	48	АВВГ	-
	516	148	206	АПВ	-
	317	115	356	АВВГ	-
	363	110	498	АПВ	4А112М2У3
	165	196	1	АПВ	4А200L2У3
6	563	467	444	АПВ	4А160М4У3
	503	144	441	АВВГ	-
	129	279	358	АПВ	-
	561	160	91	АВВГ	-
	518	10	325	АПВ	4А200L24У3
	64	438	324	АВВГ	-
	519	266	59	АВВГ	-

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	0,2	7,1	АС	379
2	9,1	4,8	СИП	387
3	0,7	8,3	АС	237
4	0,2	2,4	СИП	209
5	6,5	3,4	АС	435
6	0,4	2,2	СИП	271

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	309	465	471	АВВГ	-
	517	465	452	АПВ	-
	367	443	85	АПВ	-
	608	130	234	АВВГ	-
	345	236	270	АПВ	-
	157	493	315	АВВГ	-
	199	357	126	АПВ	-
2	75	332	177	АПВ	-
	529	130	195	АПВ	-
	391	367	209	АПВ	-
	69	27	327	АВВГ	-
	164	335	213	АВВГ	-
	121	175	319	АПВ	4А132М2У3
	183	496	57	АВВГ	-
3	603	37	146	АВВГ	4А200М4У3
	54	199	89	АПВ	-
	344	15	10	АВВГ	-
	310	310	87	АВВГ	-
	150	284	30	АВВГ	-
	126	60	389	АПВ	-
	155	357	441	АПВ	4А132М4У3
4	365	252	447	АВВГ	-
	185	368	23	АВВГ	-
	177	295	292	АВВГ	-
	608	39	281	АПВ	4А180М6У3
	313	246	99	АПВ	-
	327	164	392	АВВГ	-
	342	337	192	АПВ	-
5	536	251	486	АПВ	-
	142	499	65	АВВГ	-
	117	125	327	АПВ	-
	141	406	460	АВВГ	4А180S4У3
	180	487	115	АПВ	-
	304	437	253	АВВГ	-
	307	205	1	АПВ	4А200L2У3
6	605	294	184	АВВГ	-
	309	465	471	АВВГ	-
	517	465	452	АПВ	-
	367	443	85	АПВ	-
	608	130	234	АВВГ	-
	345	236	270	АПВ	-
	157	493	315	АВВГ	-

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	9,1	4,6	АС	423
2	0,2	6,3	СИП	240
3	6,3	2,6	СИП	252
4	6,1	1,2	АС	407
5	1,9	9,6	СИП	300
6	3,9	3,4	СИП	436

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	522	431	73	АПВ	4А160М6У3
	137	373	474	АПВ	4А160S2У3
	127	215	402	АВВГ	4А200М6У3
	144	244	183	АПВ	4А180М2У3
	158	196	316	АПВ	-
	118	319	162	АПВ	4А225М4У3
	388	141	272	АВВГ	-
2	39	234	12	АВВГ	4А180М2У3
	115	235	154	АВВГ	-
	76	187	73	АВВГ	4А132М4У3
	605	93	457	АВВГ	-
	370	60	113	АПВ	-
	197	277	404	АВВГ	-
	318	428	471	АПВ	4А180М2У3
3	317	254	77	АВВГ	-
	335	234	114	АВВГ	-
	612	44	158	АВВГ	4А200М2У3
	537	59	15	АПВ	4А132М4У3
	345	195	47	АПВ	-
	501	255	225	АВВГ	4А180М2У3
	131	420	69	АПВ	-
4	560	106	249	АПВ	4А180М6У3
	62	114	285	АВВГ	4А250S6У3
	618	374	92	АПВ	-
	550	103	107	АПВ	-
	357	498	387	АВВГ	-
	113	393	448	АПВ	-
	540	12	305	АВВГ	-
5	36	455	59	АВВГ	-
	316	57	453	АВВГ	4А250S6У3
	502	71	297	АПВ	4А112М2У3
	63	18	473	АПВ	4А160М4У3
	38	40	235	АПВ	-
	183	403	50	АВВГ	-
	167	15	1	АПВ	-
6	372	85	165	АПВ	-
	522	431	73	АПВ	4А160М6У3
	137	373	474	АПВ	4А160S2У3
	127	215	402	АВВГ	4А200М6У3
	144	244	183	АПВ	4А180М2У3
	158	196	316	АПВ	-
	118	319	162	АПВ	4А225М4У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	4,9	7,3	СИП	471
2	2,8	5,4	СИП	480
3	6,9	8,1	АС	203
4	1,4	2	АС	470
5	3,1	7,8	СИП	231
6	6	3,5	АС	294

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	502	79	195	АПВ	4А132М4У3
	557	355	480	АПВ	-
	60	410	408	АВВГ	-
	75	77	30	АВВГ	4А180С4У3
	130	22	31	АПВ	-
	101	428	48	АПВ	4А250М6У3
	14	98	262	АПВ	-
2	376	218	79	АПВ	4А250М6У3
	381	113	31	АВВГ	-
	606	426	127	АПВ	-
	132	217	398	АВВГ	4А200М6У3
	194	349	212	АВВГ	-
	367	480	79	АВВГ	-
	185	236	109	АПВ	4А200М6У3
3	352	134	115	АВВГ	-
	49	336	163	АВВГ	-
	156	92	83	АПВ	4А132М4У3
	75	275	10	АПВ	4А160М4У3
	169	75	288	АПВ	4А200М6У3
	119	470	275	АПВ	-
	183	427	115	АВВГ	-
4	191	214	168	АВВГ	-
	652	488	96	АВВГ	-
	529	424	233	АПВ	-
	606	202	368	АВВГ	-
	174	238	251	АПВ	-
	390	416	466	АПВ	-
	507	199	227	АВВГ	-
5	559	404	175	АПВ	4А160М4У3
	69	488	216	АВВГ	4А200М4У3
	66	371	107	АПВ	-
	104	52	89	АПВ	4А225М4У3
	384	418	338	АВВГ	-
	602	298	442	АПВ	4А200М6У3
	344	221	1	АВВГ	4А160С2У3
6	184	123	360	АВВГ	-
	502	79	195	АПВ	4А132М4У3
	557	355	480	АПВ	-
	60	410	408	АВВГ	-
	75	77	30	АВВГ	4А180С4У3
	130	22	31	АПВ	-
	101	428	48	АПВ	4А250М6У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	2,8	4,9	СИП	305
2	2,3	9,9	АС	273
3	7	2,5	СИП	457
4	8,4	2,9	АС	229
5	7,2	9,8	АС	368
6	1,6	4	СИП	406

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	178	172	338	АПВ	-
	520	422	426	АПВ	-
	130	372	181	АПВ	4A225M2Y3
	115	437	133	АВВГ	-
	612	248	124	АВВГ	-
	538	174	229	АПВ	4132SY3
	101	339	307	АПВ	-
2	507	298	458	АВВГ	4A200L2Y3
	128	210	276	АВВГ	-
	149	358	438	АПВ	-
	5	396	417	АВВГ	4A225M4Y3
	386	106	351	АПВ	-
	559	268	85	АПВ	4A132M4Y3
	612	290	251	АВВГ	-
3	48	136	381	АВВГ	4A132M2Y3
	562	398	243	АПВ	-
	384	467	278	АВВГ	-
	614	435	283	АВВГ	-
	602	387	97	АПВ	-
	519	172	496	АВВГ	4A250S6Y3
	369	457	276	АПВ	-
4	324	230	345	АВВГ	-
	72	167	37	АВВГ	-
	333	89	457	АПВ	4A200M4Y3
	376	167	339	АВВГ	-
	151	169	382	АВВГ	-
	173	417	306	АПВ	-
	513	328	298	АПВ	4A200L2Y3
5	64	347	299	АВВГ	4A200L2Y3
	197	452	178	АПВ	-
	113	409	146	АВВГ	4A225M2Y3
	317	218	86	АВВГ	-
	73	167	379	АВВГ	-
	162	99	15	АВВГ	-
	348	98	1	АВВГ	-
6	47	87	386	АВВГ	-
	178	172	338	АПВ	-
	520	422	426	АПВ	-
	130	372	181	АПВ	4A225M2Y3
	115	437	133	АВВГ	-
	612	248	124	АВВГ	-
	538	174	229	АПВ	4132SY3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	6,9	3,7	АС	379
2	9,9	3,9	СИП	351
3	6,1	3,1	СИП	376
4	3,1	6,7	СИП	340
5	4,3	1	СИП	303
6	4,5	2,3	АС	392

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	63	21	225	АПВ	-
	68	260	92	АПВ	-
	615	497	331	АПВ	-
	557	72	186	АПВ	-
	510	449	203	АВВГ	-
	349	335	222	АВВГ	4А160М2У3
	358	482	286	АВВГ	-
2	115	105	36	АВВГ	-
	106	227	22	АВВГ	-
	322	222	435	АПВ	4А250М6У3
	301	39	456	АПВ	-
	17	417	394	АПВ	-
	189	349	291	АВВГ	-
	351	203	32	АПВ	-
3	147	359	11	АВВГ	-
	506	419	402	АПВ	-
	4	131	36	АПВ	-
	369	189	397	АВВГ	-
	618	91	418	АВВГ	4А160S6У3
	193	117	263	АПВ	4А225М2У3
	62	395	259	АВВГ	-
4	349	140	21	АВВГ	-
	603	175	113	АВВГ	4А200L6У3
	533	399	69	АПВ	-
	544	109	57	АПВ	-
	504	408	81	АПВ	-
	365	246	448	АВВГ	4А160М6У3
	135	331	261	АВВГ	-
5	111	48	460	АПВ	-
	192	385	274	АПВ	-
	151	279	56	АВВГ	4А160S4У3
	179	187	344	АВВГ	-
	110	64	247	АВВГ	-
	124	403	361	АПВ	-
	60	200	1	АВВГ	4А250М6У3
6	50	196	259	АПВ	-
	63	21	225	АПВ	-
	68	260	92	АПВ	-
	615	497	331	АПВ	-
	557	72	186	АПВ	-
	510	449	203	АВВГ	-
	349	335	222	АВВГ	4А160М2У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	2	0,2	АС	262
2	5,3	1,6	СИП	277
3	7,5	0,1	АС	470
4	4,2	0,2	АС	477
5	4,4	2,1	СИП	224
6	7,6	8	АС	380

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	523	457	167	АВВГ	-
	364	308	266	АПВ	-
	366	243	145	АПВ	-
	538	469	477	АПВ	-
	527	446	310	АПВ	-
	373	396	384	АВВГ	-
	169	242	374	АВВГ	-
2	59	284	23	АПВ	-
	541	428	487	АВВГ	-
	391	183	15	АВВГ	-
	127	116	344	АПВ	-
	42	349	409	АПВ	-
	13	321	498	АВВГ	4А132М4У3
	66	86	383	АВВГ	4А225М2У3
3	133	219	184	АПВ	-
	180	163	211	АВВГ	-
	518	60	476	АВВГ	4А160S4У3
	538	19	239	АВВГ	-
	29	279	294	АВВГ	-
	604	303	91	АПВ	-
	525	238	435	АПВ	-
4	604	8	462	АПВ	4А200М4У3
	557	13	178	АВВГ	-
	115	191	405	АПВ	-
	387	244	137	АВВГ	-
	379	421	488	АПВ	-
	500	225	151	АПВ	4А225М4У3
	166	488	180	АПВ	-
5	60	340	400	АПВ	-
	16	377	76	АВВГ	4А132М4У3
	544	323	169	АВВГ	4А160S6У3
	303	118	126	АВВГ	4А160S4У3
	198	253	206	АПВ	-
	325	168	279	АПВ	-
	379	399	1	АВВГ	-
6	139	30	266	АПВ	-
	523	457	167	АВВГ	-
	364	308	266	АПВ	-
	366	243	145	АПВ	-
	538	469	477	АПВ	-
	527	446	310	АПВ	-
	373	396	384	АВВГ	-

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	4,1	0,3	СИП	244
2	1,5	2,1	СИП	211
3	3,5	0,3	АС	328
4	9,6	5,4	АС	364
5	9,3	3,1	СИП	382
6	5,4	1,5	СИП	374

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	120	144	226	АВВГ	4132SY3
	608	326	267	АПВ	4A200L6Y3
	508	344	123	АПВ	-
	157	342	337	АПВ	-
	152	409	122	АПВ	-
	317	486	423	АПВ	-
	613	443	47	АПВ	-
2	106	85	237	АПВ	-
	381	159	349	АВВГ	-
	126	49	126	АПВ	-
	9	63	234	АВВГ	-
	533	352	168	АВВГ	-
	50	438	189	АПВ	-
	68	416	204	АПВ	-
3	379	217	34	АПВ	4A132M4Y3
	158	316	13	АВВГ	4A160M2Y3
	43	328	22	АВВГ	-
	45	239	167	АПВ	4A250M6Y3
	52	320	194	АПВ	-
	505	374	287	АПВ	-
	343	141	319	АВВГ	4A160S6Y3
4	350	112	392	АПВ	4A160S2Y3
	21	320	114	АПВ	-
	109	7	277	АВВГ	-
	198	432	281	АВВГ	-
	132	278	126	АВВГ	-
	59	477	175	АВВГ	-
	175	343	396	АВВГ	-
5	142	242	497	АВВГ	-
	138	472	410	АВВГ	-
	74	460	147	АВВГ	4A200M4Y3
	319	339	411	АПВ	-
	392	340	220	АВВГ	-
	7	349	210	АВВГ	-
	376	282	1	АВВГ	-
6	58	12	434	АВВГ	-
	120	144	226	АВВГ	4132SY3
	608	326	267	АПВ	4A200L6Y3
	508	344	123	АПВ	-
	157	342	337	АПВ	-
	152	409	122	АПВ	-
	317	486	423	АПВ	-

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	2,2	2,6	СИП	370
2	0,6	2	СИП	371
3	7,8	4,6	СИП	258
4	0,9	7	СИП	364
5	1,6	3,3	АС	382
6	9,9	9,8	СИП	411

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	129	102	113	АПВ	-
	191	373	172	АВВГ	4А160М2У3
	376	284	159	АПВ	-
	303	447	29	АВВГ	-
	604	357	317	АПВ	-
	357	125	350	АПВ	4А160S4У3
	8	72	155	АПВ	4А160М2У3
2	152	299	148	АПВ	-
	18	239	462	АПВ	-
	140	300	106	АПВ	4А160S2У3
	603	384	381	АПВ	-
	111	405	153	АВВГ	-
	190	438	471	АВВГ	-
	27	211	210	АПВ	4А250S6У3
3	65	128	435	АПВ	-
	330	472	465	АПВ	-
	605	342	481	АВВГ	-
	352	438	122	АВВГ	-
	392	62	34	АПВ	-
	317	360	46	АВВГ	4А132М2У3
	70	271	185	АПВ	-
4	101	475	73	АПВ	-
	326	243	110	АПВ	4А160S6У3
	505	141	485	АВВГ	-
	180	47	272	АПВ	-
	324	464	124	АПВ	-
	318	466	321	АПВ	-
	366	383	316	АПВ	-
5	602	53	322	АПВ	4А180S2У3
	153	226	411	АПВ	4А180S2У3
	120	144	391	АВВГ	-
	511	249	377	АВВГ	-
	601	277	151	АВВГ	-
	166	82	32	АПВ	4А160М4У3
	45	57	1	АВВГ	-
6	33	494	278	АВВГ	-
	129	102	113	АПВ	-
	191	373	172	АВВГ	4А160М2У3
	376	284	159	АПВ	-
	303	447	29	АВВГ	-
	604	357	317	АПВ	-
	357	125	350	АПВ	4А160S4У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	8	8,4	АС	355
2	5,4	3,3	СИП	402
3	0,2	3	АС	422
4	1,4	2	СИП	291
5	7,8	9,1	СИП	459
6	7	9,4	СИП	443

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	518	261	22	АВВГ	4А160S2У3
	44	382	234	АПВ	-
	378	167	493	АВВГ	-
	602	108	81	АВВГ	-
	124	161	117	АПВ	-
	513	197	37	АВВГ	-
	22	229	395	АВВГ	-
2	554	441	439	АВВГ	-
	523	49	485	АПВ	4А160S2У3
	17	71	319	АВВГ	-
	617	343	202	АПВ	4А132М4У3
	196	251	406	АПВ	-
	125	383	347	АВВГ	4А250S6У3
3	35	3	83	АПВ	-
	42	44	131	АПВ	-
	6	335	234	АВВГ	-
	148	149	198	АВВГ	-
	188	253	153	АПВ	-
	565	206	366	АВВГ	-
	128	6	454	АПВ	4А132М4У3
4	604	255	176	АВВГ	-
	389	495	415	АВВГ	-
	136	362	285	АВВГ	-
	46	308	57	АПВ	4А200L24У3
	22	81	250	АПВ	4А225М6У3
	160	160	25	АВВГ	4А160М6У3
5	509	215	440	АВВГ	-
	614	208	259	АВВГ	4А200L24У3
	65	186	380	АПВ	-
	507	293	222	АПВ	-
	56	111	425	АПВ	-
	35	221	35	АПВ	-
	197	72	430	АПВ	-
6	335	222	368	АПВ	4А180М2У3
	331	67	1	АПВ	-
	171	263	196	АВВГ	-
	518	261	22	АВВГ	4А160S2У3
	44	382	234	АПВ	-
	378	167	493	АВВГ	-
	602	108	81	АВВГ	-
	124	161	117	АПВ	-
	513	197	37	АВВГ	-

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	X, км	Y, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	1	3,6	СИП	276
2	8,4	4,1	АС	490
3	4,1	5,5	АС	216
4	7,5	5,5	АС	458
5	1,3	8,3	АС	262
6	8,1	8,8	АС	365

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	X, м	Y, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	610	486	399	АВВГ	-
	387	220	128	АПВ	-
	107	214	220	АВВГ	-
	45	309	20	АПВ	-
	321	490	39	АПВ	-
	109	128	80	АВВГ	4А160S4У3
	76	18	284	АПВ	-
2	607	303	21	АПВ	-
	9	276	377	АВВГ	-
	120	167	353	АПВ	-
	352	50	446	АПВ	4А225М2У3
	115	149	128	АВВГ	4А132М4У3
	49	48	464	АПВ	4А200L24У3
	376	84	297	АПВ	-
3	338	205	102	АПВ	4А160М6У3
	652	194	421	АВВГ	-
	77	71	29	АВВГ	-
	373	120	56	АПВ	4А112М2У3
	134	51	406	АВВГ	-
	306	434	261	АПВ	-
	327	28	233	АПВ	4А200L24У3
4	168	39	193	АВВГ	-
	608	133	251	АВВГ	-
	39	166	42	АВВГ	-
	50	56	414	АВВГ	4А200L6У3
	338	498	367	АПВ	-
	64	73	320	АПВ	4А160М4У3
	386	151	496	АВВГ	-
5	526	145	286	АПВ	-
	103	195	266	АПВ	-
	191	374	386	АПВ	-
	512	282	469	АПВ	4А180М2У3
	6	397	409	АПВ	-
	66	390	332	АПВ	-
	615	229	1	АПВ	-
6	17	264	37	АПВ	4А112М2У3
	610	486	399	АВВГ	-
	387	220	128	АПВ	-
	107	214	220	АВВГ	-
	45	309	20	АПВ	-
	321	490	39	АПВ	-
	109	128	80	АВВГ	4А160S4У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	3,7	8,1	АС	436
2	2,6	3,3	АС	216
3	3,7	5,5	СИП	247
4	5,6	0,8	АС	203
5	6,4	5,9	СИП	440
6	7,9	5,2	АС	202

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	312	490	289	АПВ	-
	73	39	108	АПВ	-
	60	415	336	АВВГ	-
	71	266	318	АПВ	-
	20	37	425	АПВ	-
	510	213	69	АВВГ	4А225М4У3
	132	472	64	АВВГ	-
2	61	117	76	АВВГ	4А200L2У3
	42	177	481	АПВ	-
	146	377	472	АПВ	-
	142	17	411	АПВ	-
	34	399	495	АВВГ	-
	7	102	130	АПВ	-
	145	395	379	АПВ	-
3	614	470	275	АВВГ	-
	160	304	383	АВВГ	-
	139	478	497	АВВГ	-
	321	294	330	АВВГ	-
	147	279	489	АВВГ	4А160S4У3
	121	299	322	АПВ	4А160S2У3
	7	36	351	АПВ	-
4	45	393	225	АВВГ	4132SY3
	543	487	498	АПВ	4А200М6У3
	391	80	26	АПВ	-
	169	405	160	АВВГ	-
	131	487	125	АВВГ	-
	34	358	49	АПВ	-
	338	200	54	АВВГ	-
5	372	16	81	АВВГ	-
	344	350	351	АВВГ	4А250М6У3
	9	83	100	АПВ	-
	28	373	86	АПВ	-
	613	234	409	АПВ	-
	119	355	428	АПВ	-
	118	449	1	АВВГ	4А200М2У3
6	534	5	410	АВВГ	4А180S4У3
	312	490	289	АПВ	-
	73	39	108	АПВ	-
	60	415	336	АВВГ	-
	71	266	318	АПВ	-
	20	37	425	АПВ	-
	510	213	69	АВВГ	4А225М4У3

Вариант № 1

Конфигурация ВВ сети:

№ ТП	Х, км	У, км	Электроснабжение к подстанции выполнить проводом/кабелем	Сопротивление грунта, Ом
1	0,2	1,6	АС	289
2	4,9	7,8	СИП	224
3	6,7	1,5	АС	448
4	9,7	3,3	АС	442
5	6,9	5,3	СИП	202
6	3,3	0,8	АС	280

Конфигурация ВН сетей:

№ ТП	№ потребителя	Х, м	У, м	Электроснабжение к потребителю выполнить проводом/кабелем	Двигатель
1	34	392	479	АПВ	4А180М2У3
	349	166	316	АВВГ	-
	508	71	40	АВВГ	-
	323	103	29	АВВГ	-
	39	219	260	АПВ	4А225М4У3
	601	266	91	АВВГ	4А160М2У3
	357	438	378	АПВ	-
2	384	142	118	АПВ	-
	343	167	132	АВВГ	4А225М6У3
	563	432	454	АПВ	-
	164	379	347	АПВ	4А180С4У3
	525	384	318	АВВГ	-
	112	75	126	АПВ	4А132М4У3
	165	99	132	АПВ	-
3	111	400	123	АВВГ	4А225М4У3
	193	469	379	АВВГ	-
	535	468	144	АПВ	-
	528	73	102	АВВГ	4А180С4У3
	325	144	139	АПВ	-
	129	497	208	АПВ	-
	601	408	126	АВВГ	-
4	602	105	182	АВВГ	-
	352	157	382	АВВГ	-
	390	234	137	АВВГ	-
	307	199	72	АВВГ	-
	149	40	56	АПВ	-
	190	432	142	АПВ	-
	619	190	7	АВВГ	-
5	66	384	10	АПВ	-
	603	170	174	АПВ	-
	159	205	428	АВВГ	-
	40	57	274	АВВГ	4А160С4У3
	167	416	187	АПВ	-
	366	87	96	АПВ	-
	191	352	1	АВВГ	-
6	514	269	72	АВВГ	-
	34	392	479	АПВ	4А180М2У3
	349	166	316	АВВГ	-
	508	71	40	АВВГ	-
	323	103	29	АВВГ	-
	39	219	260	АПВ	4А225М4У3
	601	266	91	АВВГ	4А160М2У3

Учебное издание

**Никитенко** Геннадий Владимирович  
**Коноплев** Евгений Викторович  
**Коноплев** Павел Викторович

# **САПР СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Учебное пособие