

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Модернизация системы электроснабжения жилого микрорайона «Западный»  
г. Краснодара

Обучающийся

А.А. Чуриков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## Аннотация

Актуальность темы работы обусловлена необходимостью проведения модернизации системы электроснабжения жилого микрорайона «Западный» г. Краснодара. Электрооборудование и электрические сети действующей системы электроснабжения критически изношены, отмечаются частые неотложные ремонты элементов системы электроснабжения и продолжительные перерывы электроснабжения потребителей, которые нарушают нормальную работу инфраструктуры микрорайона и приводят к экономическим убыткам и дискомфорту для жителей. Также ввиду износа и технологического устаревания электрооборудования повышены технико-эксплуатационные расходы для системы электроснабжения, отмечаются существенные потери мощности и электроэнергии.

Объект исследования: микрорайон г. Краснодара.

Предмет исследования: система электроснабжения микрорайона.

Цель работы: разработка мероприятий по модернизации системы электроснабжения для надежного электроснабжения потребителей.

Содержание ВКР включает вопросы: характеристика жилого микрорайона, обоснование модернизации; разработка мероприятий по модернизации системы электроснабжения микрорайона.

Выпускная квалифицированная работа 53 страницы, 10 рисунков, 9 таблиц, 20 источников.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика жилого микрорайона, обоснование модернизации.....	6
1.1 Характеристика жилого микрорайона .....	6
1.2 Анализ современных систем электроснабжения городских районов, их отличительных особенностей и требований к ним .....	10
1.3 Анализ действующей системы электроснабжения микрорайона.....	13
1.4 Обоснование необходимости модернизации системы электроснабжения и повышения качества учета электроэнергии.....	14
2 Разработка мероприятий по модернизации системы электроснабжения микрорайона .....	16
2.1 Расчет электрических нагрузок .....	16
2.2 Выбор подстанций и силовых трансформаторов .....	20
2.3 Расчет питающей сети 10 кВ, выбор кабелей .....	25
2.4 Расчет распределительной сети 0,4 кВ, выбор кабелей.....	28
2.5 Расчет токов короткого замыкания .....	32
2.6 Выбор аппаратов защиты линий .....	36
2.7 Модернизация релейной защиты и автоматики.....	39
2.8 Расчет заземляющего устройства подстанций.....	43
2.9 Совершенствование учета электроэнергии, реализация современной АИИСКУЭ .....	46
Заключение .....	50
Список используемых источников.....	52

## Введение

Рассматриваемый жилой микрорайон (МКР) «Западный» расположен в западной части г. Краснодара и представляет собой крупный жилой комплекс, состоящий из нескольких многоэтажных домов, а также объектов инфраструктуры. МКР расположен на окраине города и предлагает своим жителям комфортные условия для проживания. Преобладают многоэтажные дома, что обеспечивает компактное размещение большого количества людей. Это позволяет экономить пространство и ресурсы, а также упрощает процесс обслуживания и управления жилым фондом. МКР имеет всю необходимую инфраструктуру для комфортного проживания, включая многоквартирные жилые дома (МЖД), торговый центр (ТЦ), аптеки, детский сад, школы, поликлинику, офисное здание, общежитие, административные здания, интернат. Микрорайон расположен таким образом, чтобы обеспечить удобное транспортное сообщение с центром города и другими районами. Имеются остановки общественного транспорта (автобусы, троллейбусы, маршрутки), стоянки для личных автомобилей. МКР имеет благоустроенную территорию с зелеными зонами, пешеходными дорожками, уличным освещением и другими элементами комфорта. Жилой район находится под круглосуточным видеонаблюдением и охраной, что обеспечивает безопасность жителей и сохранность их имущества.

Инфраструктура микрорайона включает в себя большое число потребителей электроэнергии, расположенных в квартирах, общественных, административных и коммерческих зданиях. К числу электроприемников относится общедомовое коммунально-техническое оборудование (электроприводы вентиляции, насосов водоподачи и канализации, общественное освещение и т.д.), а также бытовые приборы и электронная техника, электроотопительное оборудование и т.д. Территория микрорайона также включает и общественные объекты со значительным энергопотреблением (например, уличное освещение территории,

электроприводы насосов водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения и канализации и т.д.), а также объекты повышенной важности, к которым предъявляются особые требования по обеспечению надежности электроснабжения согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Таким образом, очевидно, что любой современной жилой микрорайон требует качественного и надежного электроснабжения.

Актуальность темы работы обусловлена необходимостью проведения модернизации системы электроснабжения (СЭС) микрорайона. Электрооборудование и электрические сети действующей СЭС критически изношены, отмечаются частые неотложные ремонты элементов СЭС и продолжительные перерывы электроснабжения потребителей, которые нарушают нормальную работу инфраструктуры МКР и приводят к экономическим убыткам и дискомфорту для жителей. Также ввиду износа и технологического устаревания электрооборудования (ЭО) повышены технико-эксплуатационные расходы для системы электроснабжения, отмечаются существенные потери мощности и электроэнергии. Очевидна важность обязательного проведения своевременной модернизации системы электроснабжения МКР, в том числе ввиду существенного роста электрических нагрузок из-за расширения инфраструктуры.

Объект исследования: микрорайон г. Краснодара.

Предмет исследования: система электроснабжения микрорайона.

Цель работы: разработка мероприятий по модернизации системы электроснабжения для надежного электроснабжения потребителей и повышения технико-эксплуатационных показателей электроснабжения.

Задачи работы:

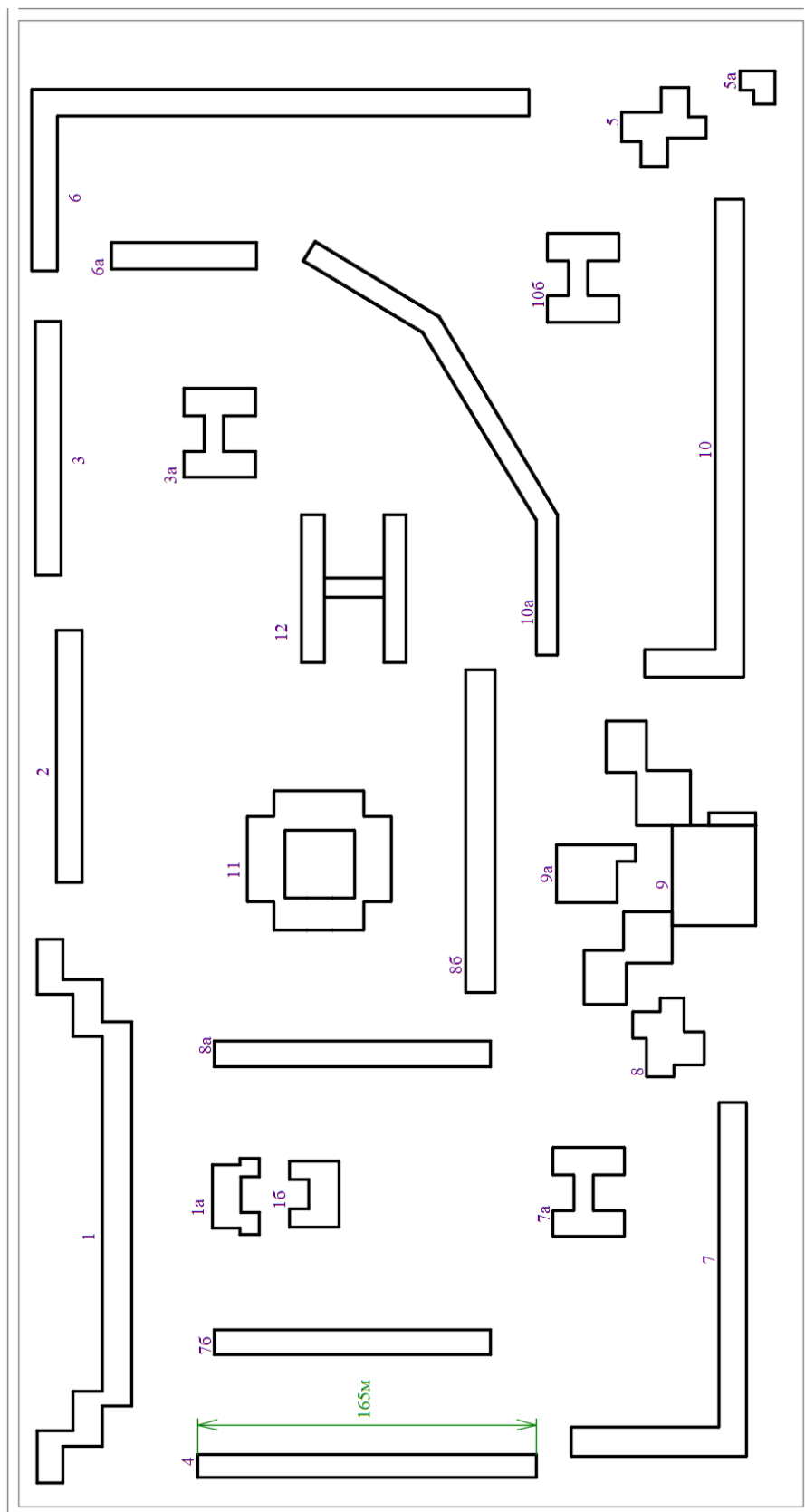
- систематизировать характеристики жилого микрорайона, обосновать модернизацию;
- разработать мероприятия по модернизации системы электроснабжения микрорайона, с учетом актуальных требований по надежности и энергоэффективности.

# **1 Характеристика жилого микрорайона, обоснование модернизации**

## **1.1 Характеристика жилого микрорайона**

Рассматриваемый жилой микрорайон «Западный» расположен в западной части г. Краснодара и представляет собой крупный жилой комплекс, состоящий из нескольких многоэтажных домов, а также объектов инфраструктуры. МКР расположен на окраине города и предлагает своим жителям комфортные условия для проживания. Преобладают многоэтажные дома, что обеспечивает компактное размещение большого количества людей. Это позволяет экономить пространство и ресурсы, а также упрощает процесс обслуживания и управления жилым фондом. МКР имеет всю необходимую инфраструктуру для комфортного проживания, включая многоквартирные жилые дома (МЖД), магазин, аптеки, детский сад, школы, поликлинику, офисное здание, общежитие, административные здания, интернат. Микрорайон расположен таким образом, чтобы обеспечить удобное транспортное сообщение с центром города и другими районами. Имеются остановки общественного транспорта (автобусы, троллейбусы, маршрутки), стоянки для личных автомобилей. МКР имеет благоустроенную территорию с зелеными зонами, пешеходными дорожками, уличным освещением и другими элементами комфорта. Жилой район находится под круглосуточным видеонаблюдением и охраной, что обеспечивает безопасность жителей и сохранность их имущества. Таким образом, очевидно, что данный современный жилой микрорайон требует качественного и надежного электроснабжения.

Генеральный план рассматриваемого микрорайона, с расположением зданий, показан на рисунке 1.



1,2,3,4,6,6a,7,7a,7b,8,8a,8b,10,10a – многоквартирный жилой дом; 1a – магазин;  
 1б – офисное здание; 3a,11 – школа; 5 – общежитие; 5a,9,9a – административное здание;  
 7a – детский сад; 10б – поликлиника; 12 – интернат

Рисунок 1 – Генеральный план микрорайона

Инфраструктура МКР включает в себя:

- многоквартирные жилые дома, построенные из силикатного кирпича и железобетонных панелей;
- продовольственный магазин;
- аптеки, расположенные на цокольных этажах зданий;
- детский сад;
- общеобразовательные школы;
- поликлинику;
- офисное здание, включающее коммерческие объекты по продаже товаров и услуг;
- общежитие;
- административные здания;
- интернат.

В жилых домах и других объектах обеспечена газификация, в местах приготовления пищи установлены газовые кухонные плиты, что сокращает потребление электрической энергии.

Характеристики зданий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики зданий

Здание	№ на генплане	S/ число кв. (чел)	Этажей
Многоквартирный жилой дом (МЖД)	1	250	12
Магазин	1а	605	2
Офисное здание	1б	1300	3
МЖД	2	120	9
	3		
Школа	3а	510 чел	2



Продолжение таблицы 1

Здание	№ на генплане	S/ число кв. (чел)	Этажей
МЖД	4	120	9
Общежитие	5	800 чел	9
Административное здание	5а	230	2
МЖД	6	240	9
	6а	80	
	7	150	
Детский сад	7а	510 чел	1
МЖД	7б	120	9
	8	90	
	8а	120	
	8б	144	
Административное здание	9	5590	2
	9а	1810	3
МЖД	10	200	9
	10а	168	
Поликлиника	10б	600 чел	3
Школа	11	920 чел	4
Интернат	12	1400 чел	3

Электроснабжение МКР обеспечивается четырьмя трансформаторными подстанциями (ТП) 10/0,4 кВ, здания питаются по кабельным линиям 0,4 кВ, проложенными в траншеях.

## **1.2 Анализ современных систем электроснабжения городских районов, их отличительных особенностей и требований к ним**

Для объективного анализа действующей СЭС рассматриваемого МКР проводится анализ современных систем электроснабжения городских районов, их отличительных особенностей и требований к ним.

Архитектура электроснабжения современных городских территорий представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких этапов – генерации, передачи и распределения. Процесс начинается на электростанции, где электричество вырабатывается с использованием различных источников энергии. Затем эта мощность повышается до высокого напряжения с помощью трансформаторов для облегчения передачи на большие расстояния. Передающая сеть представляет собой сеть высокого напряжения, по которой электроэнергия подается от электростанции в города. Подстанции, расположенные вдоль сети передачи, снижают напряжение до уровня, пригодного для распределения. Распределительная сеть, состоящая из небольших трансформаторов и электрических линий, затем доставляет электроэнергию конечным пользователям в домах, на предприятиях и в общественных местах. Электроснабжение в городских районах также предполагает сложную систему мониторинга и контроля. Эта система гарантирует, что поставка электроэнергии всегда соответствует спросу. Она также помогает обнаруживать и устранять неисправности в сети, предотвращая перебои и обеспечивая надежность электроснабжения [10].

Хотя инфраструктура электроснабжения в городских районах спроектирована как прочная и надежная, она не лишена проблем. Быстрая урбанизация и рост населения привели к увеличению спроса на электроэнергию. Это оказало значительное давление на инфраструктуру энергоснабжения, что привело к ограничению мощности и проблемам с надежностью. Еще одной серьезной проблемой является старение инфраструктуры. Многие города сталкиваются с устаревшими системами

электроснабжения, которые не способны удовлетворить растущий спрос. Эти системы склонны к сбоям и поломкам, что приводит к частым отключениям электроэнергии и колебаниям. Экологические проблемы также представляют собой серьезную проблему для энергоснабжения. Традиционные методы производства электроэнергии вносят основной вклад в загрязнение воздуха и изменение климата. Существует острая необходимость перехода к более чистым и устойчивым источникам энергии. Однако этот переход сопряжен с рядом проблем, включая технологические ограничения, высокие затраты и нормативные препятствия [5].

Улучшение электроснабжения городских территорий требует многогранного подхода. Одной из ключевых стратегий является развитие и модернизация инфраструктуры электроснабжения. Это включает в себя замену устаревшего оборудования, расширение мощностей, внедрение передовых технологий мониторинга и контроля. Другой важной стратегией является диверсификация структуры энергетики. Снижая зависимость от одного источника энергии, города могут повысить надежность и устойчивость своего энергоснабжения. Возобновляемая энергия должна стать ключевой частью этой стратегии диверсификации, учитывая ее экологические и экономические преимущества. Энергоэффективность также имеет решающее значение. Делая дома, предприятия и общественные места более энергоэффективными, города могут снизить спрос на электроэнергию, ослабив нагрузку на инфраструктуру электроснабжения. Этого можно достичь посредством сочетания правил, стимулов и кампаний по повышению осведомленности общественности. Наконец, городам необходимо инвестировать в человеческие ресурсы и наращивание потенциала. Для обеспечения надежного электроснабжения требуются квалифицированные специалисты, которые могут проектировать, эксплуатировать и обслуживать сложную инфраструктуру электроснабжения [19]. Программы обучения и образования могут помочь развитию этого важнейшего человеческого капитала.

Будущее электроснабжения в городах, вероятно, будет определяться несколькими ключевыми тенденциями. Одним из них является растущее внедрение возобновляемых источников энергии. Ожидается, что по мере развития технологий и снижения затрат возобновляемые источники энергии станут более заметной частью городского энергобаланса. Еще один тренд – цифровизация электроэнергетической инфраструктуры. Технологии интеллектуальных сетей, устройства Интернета вещей (IoT) и передовая аналитика готовы совершить революцию в способах генерации, передачи и распределения электроэнергии [7]. Эти технологии могут повысить эффективность и надежность электроснабжения, а также обеспечить более активное и оперативное управление. Децентрализация также является ключевой тенденцией. С появлением распределенных энергетических ресурсов, таких как солнечные панели на крыше и аккумуляторные батареи, производство электроэнергии становится все более локализованным. Эта тенденция может изменить инфраструктуру электроснабжения, сделав ее более гибкой и устойчивой. Хотя эти тенденции открывают захватывающие возможности, они также сопряжены с проблемами. Городам придется решать эти проблемы и использовать возможности для обеспечения устойчивого и надежного энергоснабжения в будущем.

В общем, можно отметить, что основной целью разработки эффективных городских электрических сетей (ЭС) являются обеспечение максимальной энергоэффективности, экологичности и безопасности при надлежащей надежности электроснабжения и функционирования ЭС. При этом учитываются все перспективы развития городских электрических сетей на длительный период. Понимание тонкостей электроснабжения в городских районах имеет решающее значение в современном быстро урбанизирующемся и энергозатратном мире. Как видно, электроснабжение городов представляет собой сложную систему со значительными экономическими, социальными и экологическими последствиями. Получив более глубокое понимание этой системы, возможно принимать более

обоснованные решения об использовании энергии и способствовать устойчивости развития городов. Проблемы энергоснабжения в городских районах значительны, но не являются непреодолимыми. Благодаря правильным стратегиям и технологиям возможно преодолеть эти проблемы, и существующие СЭС микрорайонов должны своевременно модернизироваться, с учетом последних достижений науки и техники.

### **1.3 Анализ действующей системы электроснабжения микрорайона**

Действующее электроснабжение МКР обеспечивается четырьмя ТП 10/0,4 кВ, здания питаются по кабельным линиям 0,4 кВ, проложенными в траншеях. Действующая однолинейная схема электроснабжения микрорайона приведена на листе 1 графической части.

Питание подстанций выполнено по кольцевой электрической сети 10 кВ, что обеспечивает требуемую надежность питающей сети, а также сокращение суммарной длины кабельных линий. Действующая схема электрической сети по своей структуре удовлетворяет актуальным технико-эксплуатационным требованиям и при модернизации СЭС, она останется неизменной, что также сократит затраты на прокладку кабелей и подготовку траншей. Однако электрическая сеть выполнена кабелями устаревшего типа, с бумажно-масляной изоляцией (марка ААБ), ввиду износа, по результатам контрольных замеров сопротивления изоляции, ее значения составляют менее предельно допустимого значения по ПУЭ [11].

На ТП установлены силовые трансформаторы устаревшей марки ТМ, с высокими внутренними потерями мощности и электроэнергии, что существенно снижает общую энергоэффективность СЭС. Также данная марка трансформаторов требует регулярного обслуживания и осмотра состояния, что повышает эксплуатационные расходы на СЭС. Кроме того, ввиду роста электрических нагрузок МКР, мощность действующих силовых трансформаторов уже недостаточна для надежного электроснабжения всех

потребителей (при отключении одного трансформатора на ТП приходится отключать нагрузки). Коммутация высоковольтных силовых цепей обеспечивается устаревшими масляными выключателями, отмечается регулярная утечка масла и частые нарушения нормальной работы выключателей. Коммутация низковольтных силовых цепей обеспечивается автоматическими выключателями устаревшей марки, отмечаются частые нарушения нормальной работы выключателей, залипание контактов. Трансформатора тока – устаревшей марки, и завышены номинальные первичные токи, что сильно понижает точность учета электроэнергии.

Также в целом, все ЭО действующей СЭС критически изношено, что сильно снижает эксплуатационную надежность и безопасность СЭС.

#### **1.4 Обоснование необходимости модернизации системы электроснабжения и повышения качества учета электроэнергии**

По результатам анализа действующей системы электроснабжения микрорайона делается вывод, что необходима ее модернизация ввиду:

- критического износа всего электрооборудования, снижения эксплуатационной надежности и безопасности СЭС;
- технологического устаревания ЭО, несоответствия его характеристик актуальным требованиям и электрическим нагрузкам;
- повышенным технико-эксплуатационным расходам на внеплановые ремонты и обслуживание СЭС;
- отсутствием автоматизированного учета электроэнергии, учащением случаев несанкционированных подключений к электрической сети и хищений электроэнергии (ЭЭ).

Практическая значимость проведения модернизации состоит в том, что она позволит повысить надежность и стабильность электроснабжения, что особенно важно для жилых районов. Также модернизация приведет к

снижению потерь электроэнергии, что в свою очередь снизит затраты на электроэнергию. Повысится качество электроэнергии, приведет к улучшению работы электроприборов и снижению риска их поломок. Наконец, модернизация повысит безопасность и надежность электроснабжения, уменьшая вероятность аварий и отключений электроэнергии. Очевидна обоснованность и необходимость проведения модернизации системы электроснабжения жилого микрорайона «Западный» г. Краснодара.

Выводы по разделу.

Данный микрорайон «Западный» расположен в западной части г. Краснодара и представляет собой крупный жилой комплекс, состоящий из нескольких многоэтажных домов, а также объектов инфраструктуры. Электроснабжение микрорайона обеспечивается четырьмя трансформаторными подстанциями 10/0,4 кВ, здания питаются по кабельным линиям 0,4 кВ, проложенными в траншеях. Электрооборудование и электрические сети действующей системы электроснабжения критически изношены, отмечаются частые неотложные ее элементов и продолжительные перерывы электроснабжения потребителей, которые нарушают нормальную работу инфраструктуры микрорайона и приводят к экономическим убыткам и дискомфорту для жителей. Также ввиду износа и технологического устаревания электрооборудования повышены технико-эксплуатационные расходы для системы электроснабжения, отмечаются существенные потери мощности и электроэнергии. Отсутствует автоматизированный учет электроэнергии, учащены случаи несанкционированных подключений к электрической сети и хищений электроэнергии. Очевидна важность обязательного проведения своевременной модернизации системы электроснабжения микрорайона, в том числе ввиду существенного роста электрических нагрузок из-за расширения инфраструктуры.

## 2 Разработка мероприятий по модернизации системы электроснабжения микрорайона

### 2.1 Расчет электрических нагрузок

«Расчет силовых нагрузок зданий необходим для дальнейшего выбора числа и мощности трансформаторных подстанций, кабелей схемы электроснабжения, выбора электрических аппаратов на подстанциях, питающих район. Расчет ведется методом коэффициента спроса. Этот метод применяется для расчета электроснабжения крупных предприятий, жилых массивов с большим количеством электроприемников, когда влиянием отдельного электроприемника на общую нагрузку можно пренебречь. Электрические нагрузки МЖД рассчитываются по удельной мощности на одну квартиру. Нагрузки остальных зданий определяются по удельной мощности на единицу площади или вместимости» [4].

Параметры зданий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры зданий

Здание	№ на генплане	S/ число кв. (чел)	Руд, кВт/кв(кв.м)	cosφ
Многоквартирный жилой дом (МЖД)	1	250	0,81	0,9
Магазин	1а	605	0,13	0,87
Офисное здание	1б	1300	0,11	0,91
МЖД	2	120	0,87	0,9
	3			
Школа	3а	510 чел	0,24	0,92
МЖД	4	120	0,87	0,9
Общежитие	5	800 чел	0,34	0,89
Административное здание	5а	230	0,13	0,91



Продолжение таблицы 2

Здание	№ на генплане	S/ число кв. (чел)	Р <sub>уд</sub> , кВт/кв(кв.м)	cosφ
МЖД	6	240	0,77	0,9
	6а	80	0,96	
	7	150	0,82	
Детский сад	7а	510 чел	0,3	0,92
МЖД	7б	120	0,87	0,9
	8	90	0,95	
	8а	120	0,87	
	8б	144	0,83	
Административное здание	9	5590	0,13	0,91
	9а	1810		
МЖД	10	200	0,78	0,9
	10а	168	0,79	
Поликлиника	10б	600 чел	0,29	
Школа	11	920 чел	0,24	0,92
Интернат	12	1400 чел	0,2	

«Активная нагрузка квартир жилого дома:

$$P = P_{уд.кв} \cdot n, \quad (1)$$

где  $P_{уд.кв}$  – удельная нагрузка, кВт/кв;

$n$  – число квартир, шт.

Полная нагрузка складывается из нагрузки квартир и силовых приемников (лифтов, вентиляции, водяных насосов и др.):

$$P_C = P_{P.L} + k_{C.DB} \cdot \sum_{i=1}^n P_{ДВ.Н} \cdot N_{Э}, \quad (2)$$

$$P_{P.L} = k_{C.L} \cdot \sum_{i=1}^{nl} P_{n,i}, \quad (3)$$

$$P_p = (P + P_{рл} \cdot N_{л} + P_c \cdot N_{л}) \cdot K_p, \quad (4)$$

где  $P_{дв.н}$  – расчетные мощности электродвигателей (ЭД), кВт/этаж;

$n$  – число ЭД, шт.;

$k_{с.дв}$  – коэффициент спроса нагрузки;

$k_{с.л.}$  – коэффициент спроса лифтовых установок (при их наличии);

$P_{n.i}$  – мощность ЭД  $i$ -го лифта, кВт;

$P_c$  – нагрузка силовых электроприемников дома, кВт;

$N_{э}$  – число этажей, шт.;

$N_{л}$  – число подъездов, шт.;

$K_p$  – расчетный коэффициент запаса мощности.

Реактивная и полная нагрузка жилого дома:

$$Q_{ж.д} = P_{ж.д} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

$$S_{ж.д} = \sqrt{P_{ж.д}^2 + Q_{ж.д}^2}, \quad (6)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – нормативный тангенс угла» [2].

1) Расчет для МЖД № 1.

Для 250 квартир,  $P_{уд} = 0,81$  кВт/кв [13].

$$P = 0,81 \cdot 250 = 202,5 \text{ кВт.}$$

Электропривод лифтов:  $P_{р.л} = 4,5$  кВт.

Нагрузки МЖД:

$$P_{р.л.} = 0,7 \cdot 10 \cdot 4,5 = 31,5 \text{ кВт,}$$

$$P_C' = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 12 = 12,6 \text{ кВт},$$

$$P_p = (202,5 + 31,5 + 12,6 \cdot 5) \cdot 1,04 = 308,88 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 308,88 \cdot 0,484 = 149,60 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{308,88^2 + 149,60^2} = 343,2 \text{ кВА}.$$

2) Расчет по вместимости. Для детского сада:  $P_{уд.} = 0,3 \text{ кВт/место}$  [13].

Нагрузки детского сада:

$$P = 0,3 \cdot 510 = 153 \text{ кВт},$$

$$P_{р.л.} = 0 \text{ кВт},$$

$$P_C = 0,9 \cdot 1,5 \cdot 1 = 1,35 \text{ кВт},$$

$$P_p = (153 + 0 + 1,35 \cdot 1) \cdot 1,0 = 154,35 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 154,35 \cdot 0,426 = 65,75 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{154,35^2 + 65,75^2} = 167,77 \text{ кВА}.$$

3) Расчет по удельной мощности и площади. Для магазина:

$P_{уд.} = 0,13 \text{ кВт/м}^2$  [13]. Нагрузки магазина:

$$P = 0,13 \cdot 605 = 78,65 \text{ кВт},$$

$$P_{р.л.} = 0 \text{ кВт},$$

$$P_C = 0,8 \cdot 1,5 \cdot 2 = 2,4 \text{ кВт},$$

$$P_p = (78,65 + 0 + 2,4 \cdot 2) \cdot 1,0 = 83,45 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 83,45 \cdot 0,567 = 47,29 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{83,45^2 + 47,29^2} = 95,92 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов сведены в таблице 3.

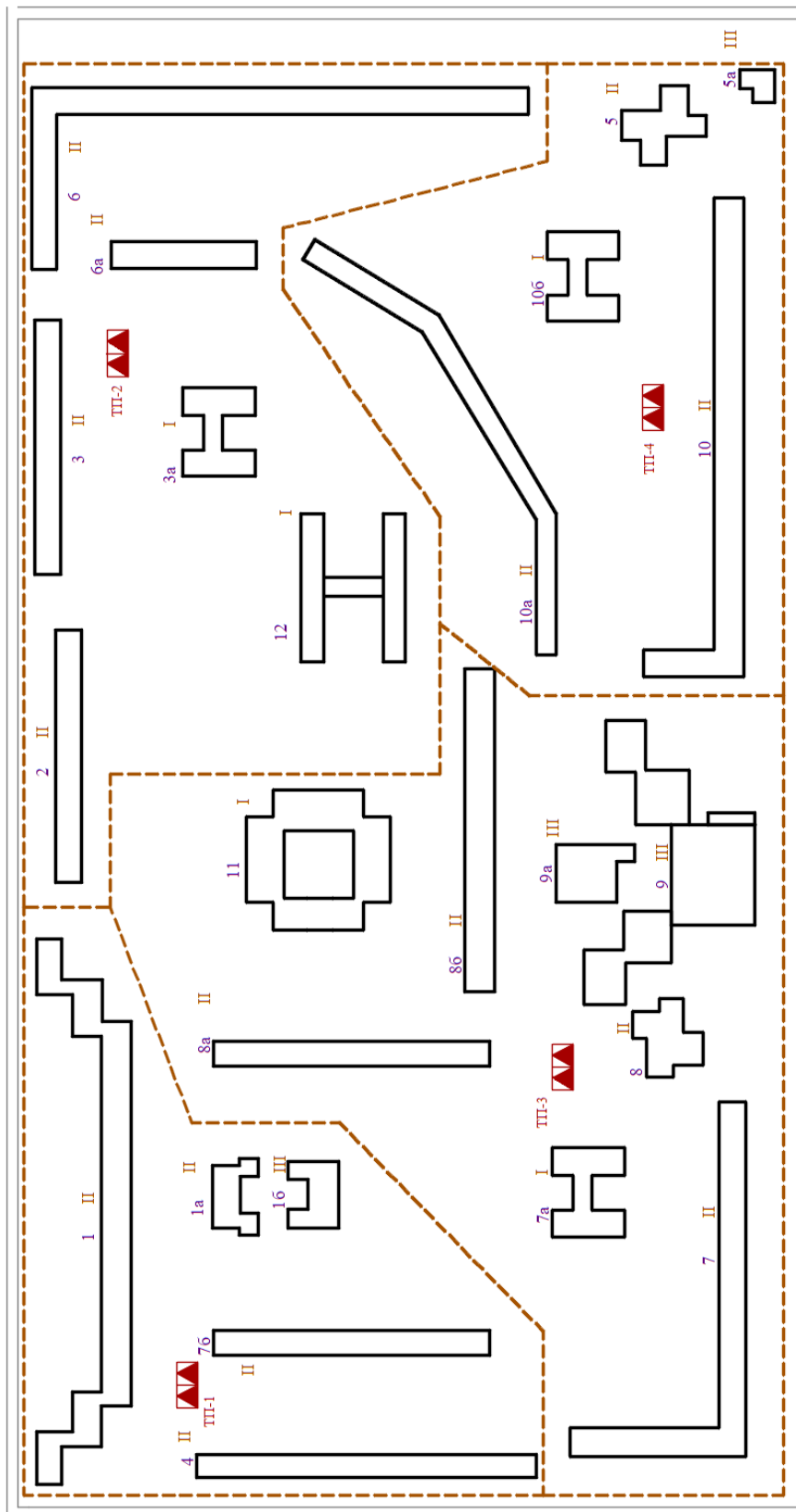
Таблица 3 – Результаты расчетов нагрузок

№	tgφ	P, кВт	Pp.л, кВт	Pc, кВт	Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
1	0,484	202,5	31,5	12,60	308,88	149,60	343,20
1a	0,567	78,65	0	2,40	83,45	47,29	95,92
1б	0,456	143	0	3,60	150,20	68,43	165,05
2	0,484	104,4	25,2	9,45	177,44	85,94	197,16
3	0,484	104,4	25,2	9,45	177,44	85,94	197,16
3a	0,426	122,4	0	2,70	125,10	53,29	135,98
4	0,484	104,4	25,2	9,45	177,44	85,94	197,16
5	0,512	272	18,9	9,45	319,25	163,56	358,71
5a	0,456	29,9	0	2,40	32,30	14,72	35,49
6	0,484	184,8	44,1	9,45	306,85	148,62	340,95
6a	0,484	76,8	18,9	9,45	133,97	64,89	148,86
7	0,484	123	31,5	9,45	215,87	104,55	239,86
7a	0,426	153	0	1,35	154,35	65,75	167,77
7б	0,484	104,4	25,2	9,45	177,44	85,94	197,16
8	0,484	85,5	18,9	9,45	143,37	69,44	159,30
8a	0,484	104,4	25,2	9,45	177,44	85,94	197,16
8б	0,484	119,52	25,2	9,45	195,30	94,59	217,00
9	0,456	726,7	6,3	2,40	735,40	335,06	808,13
9a	0,456	235,3	0	3,60	238,90	108,85	262,53
10	0,484	156	37,8	9,45	265,53	128,60	295,03
10a	0,484	132,72	44,1	9,45	257,55	124,74	286,16
10б	0,484	174	0	4,05	178,05	86,23	197,83
11	0,426	220,8	0	5,40	226,20	96,36	245,87
12	0,426	280	0	4,05	284,05	121,00	308,75
Осв. терр.	0,329	31,02	-	-	31,02	10,20	32,66
Σ	-	-	-	-	5272,82	2485,46	5830,86

Данные значения нагрузок учитываются при выборе силовых трансформаторов ТП.

## 2.2 Выбор подстанций и силовых трансформаторов

Силовые трансформаторы ТП выбираются по мощности, в зависимости от величин электрических нагрузок. Расположение действующих ТП 10/0,4 кВ и зоны охвата их электрических нагрузок показаны на рисунке 2.



▲ - Трансформаторная подстанция КТПН

I, II, III - Категория надежности электроснабжения

1,2,3,4,6,6а,7,7б,8,8а,8б,10,10а – многоквартирный жилой дом; 1а – магазин;  
 1б – офисное здание; 3а,11 – школа; 5 – общежитие; 5а,9,9а – административное здание;  
 7а – детский сад; 10б – поликлиника; 12 – интернат

Рисунок 2 – Зоны охвата нагрузок ТП

Действующая схема электрической сети по своей структуре удовлетворяет актуальным технико-эксплуатационным требованиям и при модернизации СЭС, она останется неизменной, что также сократит затраты на прокладку кабелей и подготовку траншей. Расположение ТП останется неизменным, будут установлены четыре новые комплектные подстанции 2КТПН-10/0,4, компоновка показана на рисунке 3.

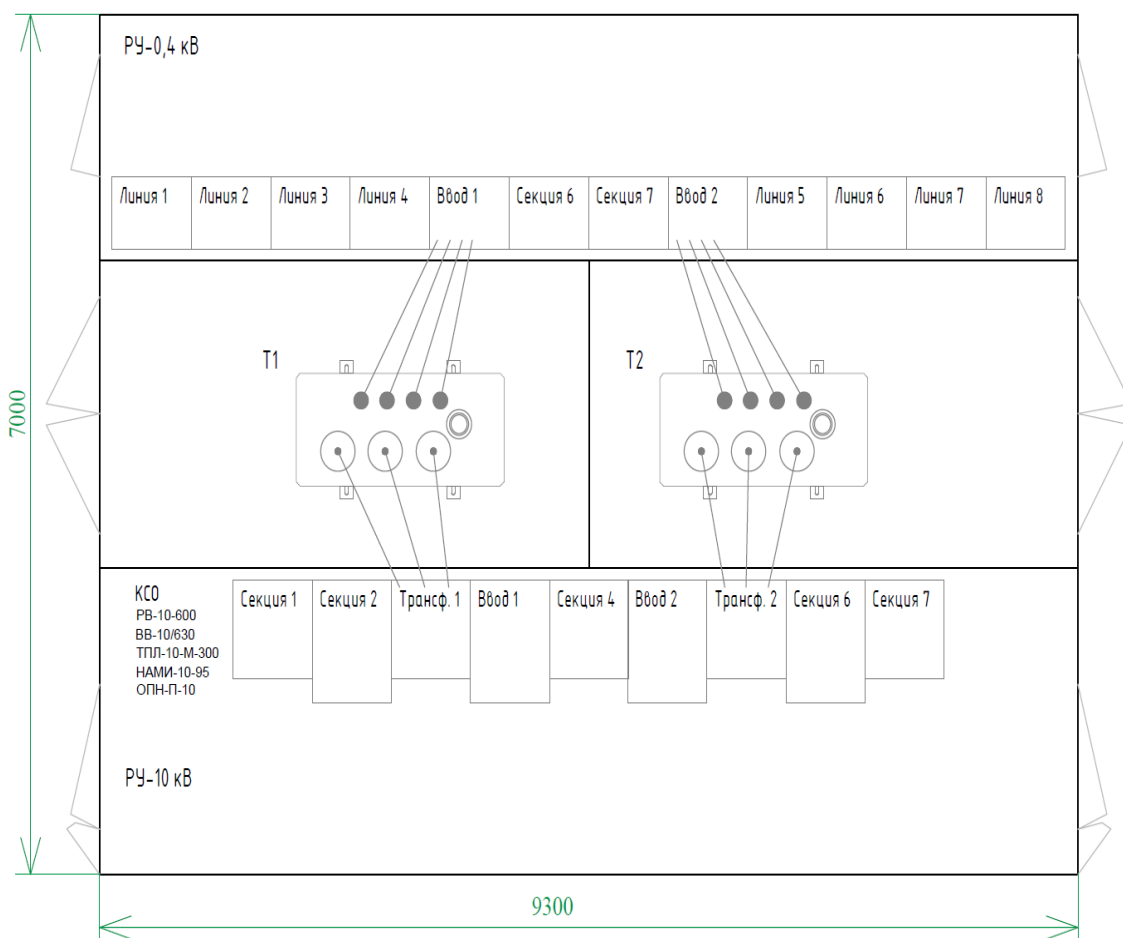


Рисунок 3 – Компоновка 2КТПН-10/0,4

«Оптимальная мощность силовых трансформаторов:

$$S_0 = \frac{S_p}{\beta \cdot N}, \quad (7)$$

где  $\beta$  – нормативный коэффициент загрузки;

$N$  – количество трансформаторов, шт;

$S_p$  – расчетная нагрузка, кВА.

Допустимая к передаче в сеть 0,4 кВ величина реактивной мощности (РМ):

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{н.м.})^2 - P_p^2}, \quad (8)$$

где  $S_{н.м.}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$P_p$  – расчетная активная нагрузка, кВт.

Требуемая для компенсации со стороны 0,4 кВ РМ:

$$Q_{0,4} = Q_p - Q_1 \quad (9)$$

При полученном отрицательном значении  $Q_{0,4}$ , либо менее 50 квар, компенсация реактивной мощности (КРМ) не требуется. Далее, в случае выбора установок КРМ, рассчитывается остаточное значение РМ согласно выражению» [15]:

$$Q_{HH} = Q_p - Q_{БК} \quad (10)$$

Для ТП-1 нагрузки, с учетом зоны охвата: 928,4 кВт; 447,4 квар; 1030,62 кВА. Проведем расчеты по (7-9).

$$S_o = \frac{1030,62}{0,7 \cdot 2} = 736,2 \text{ кВА.}$$

Будет установлена КТПН с энергоэффективными трансформаторами ТМГ12-1000/10 [6].

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 928,4^2} = 1047,85 \text{ квар},$$

$$Q_{0,4} = 447,4 - 1047,85 = -600,5 \text{ квар} < 0.$$

КРМ не требуется.

«Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме» [14]:

$$K_n = \frac{S_{p.комп.}}{S_{н.т.}}, \quad (11)$$

$$K_n = \frac{1030,62}{1000} = 1,03 \leq 1,4.$$

«Послеаварийная перегрузка менее допустимой 40 %» [14].

Для всех ТП расчеты – в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор трансформаторов

Подстанции	Sp.т, кВА	S.т, кВА	Qк, квар	Кп
Подстанция №1	736,2	1000	-600,5	1,03
Подстанция №2	904,0		-268	1,27
Подстанция №3	1598,0	1600	-7	1,39
Подстанция №4	838,0	1000	-405	1,17

«Активные и реактивные потери мощности в трансформаторах:

$$\Delta P_m = \Delta P_k / n \cdot [(P_p^2 + Q_p^2) / S_m] + n \cdot \Delta P_{xx}, \quad (12)$$

где  $\Delta P_k$  – потери КЗ, кВт;

$n$  – число трансформаторов, шт;

$S_m$  – номинальная мощность, кВА;



$\Delta P_{xx}$  – потери ХХ, кВт.

$$\Delta Q_m = (U_k / n \cdot 100) \cdot [(P_p^2 + Q_p^2) / S_m] + (n \cdot I_{xx} \cdot S_m) / 100, \quad (13)$$

где  $U_k$  – напряжение КЗ, %;

$I_{xx}$  – ток ХХ, %» [16].

Для ТП-1:

$$\Delta P_m = 11 / 2 \cdot [(928,4^2 + 447,4^2) / 1,0^2] + 2 \cdot 2,1 = 5,7 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_m = (5,5 / 2 \cdot 100) \cdot [(928,4^2 + 447,4^2) / 1,0] + (2 \cdot 1,4 \cdot 1,0) / 100 = 57,21 \text{ квар}.$$

Расчеты сведены в таблице 5.

Таблица 5 – Потери мощности в ТП и итоговые нагрузки района

Подстанции	$\Delta P$ , кВт	$\Delta Q$ , квар	$P_p + \Delta P$ , кВт	$Q_p + \Delta Q$ , квар	$S'_p$ , кВА
Подстанция №1	5,7	57,21	934,10	504,61	1061,7
Подстанция №2	6,4	72,05	1153,42	607,09	1303,4
Подстанция №3	11,0	127,63	2065,68	1012,81	2300,6
Подстанция №4	6,1	65,85	1058,77	583,69	1209,0
$\Sigma$	29,2	322,74	5211,97	2708,20	5873,6

Далее проводится расчет электрической сети, и выбираются новые кабели современных марок.

### 2.3 Расчет питающей сети 10 кВ, выбор кабелей

Питание подстанций выполнено по кольцевой электрической сети 10 кВ, что обеспечивает требуемую надежность питающей сети, а также сокращение суммарной длины кабельных линий. Действующая схема электрической сети по своей структуре удовлетворяет актуальным технико-

эксплуатационным требованиям и при модернизации СЭС, она останется неизменной, что также сократит затраты на прокладку кабелей и подготовку траншей. Однако электрическая сеть выполнена кабелями устаревшего типа, с бумажно-масляной изоляцией (марка ААБ), ввиду износа, по результатам контрольных замеров сопротивления изоляции, ее значения составляют менее предельно допустимого значения по ПУЭ [11]. Действующие кабели будут заменяться на современные аналоги с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ).

Сшитый полиэтилен – это материал, который используется для изготовления изоляции кабелей. Он обладает высокой прочностью, устойчивостью к воздействию химических веществ и температур. Кабели с изоляцией из этого материала широко используются в различных отраслях промышленности, а также в бытовых условиях. Одним из преимуществ использования кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена является их высокая надежность и долговечность. Они способны выдерживать высокие температуры и нагрузки, что делает их идеальными для использования в экстремальных условиях. Кроме того, такие кабели обладают хорошей гибкостью, что позволяет их легко устанавливать и монтировать. Они также имеют низкую степень усадки, что снижает вероятность возникновения коротких замыканий.

«Расчетный рабочий ток питающей линии:

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n), \quad (14)$$

где  $n$  – число цепей, шт» [10].

$$I_p = 5873,6 / (\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2) = 169,6 \text{ А.}$$

Аварийный ток:

$$I_{ав} = 5873,6 / (\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1) = 339,1 \text{ А.}$$

«Экономическое сечение жил:

$$F_{\text{эк}} = I_p / j_{\text{эк}}, \quad (15)$$

где  $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

$$F_{\text{эк}} = 169,6 / 1,7 = 99,7 \text{ мм}^2.$$

С поправкой на аварийный ток выбирается кабель АПвП-3х185,  $I_{\text{дон}} = 360 \text{ А}$  [17].

$$I_{\text{ав}} = 339,1 \text{ А} < I_{\text{дон}} = 360 \text{ А}.$$

«Потери напряжения в линии:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (16)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, А;

$L$  – длина линии, км;

$r_0$  и  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления кабелей, Ом/км;

$\cos \varphi$  – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузки» [10].

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 339,1 \cdot 2,71 \cdot 100}{10000} (0,167 \cdot 0,887 + 0,077 \cdot 0,461) = 2,9 \% \leq 5 \%$$

«Потери не должны превышать допустимые 5%» [10].

Результаты расчетов – в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет потерь напряжения в сети 10 кВ

Участок	$S_m$ , кВА	$I_p$ , А	$\Delta U$ , %
Подстанция №1 - Подстанция №2	5873,6	339,1	0,50
Подстанция №1 - Подстанция №3			0,34
Подстанция №2 - Подстанция №4			0,31
Подстанция №3 - Подстанция №4			0,33

Кабели АПвП-3х185 подходят по всем условиям.

## 2.4 Расчет распределительной сети 0,4 кВ, выбор кабелей

Питание зданий от подстанций выполнено по радиальной схеме электрической сети, что обеспечивает требуемую надежность питающей сети, а также возможность индивидуального отключения зданий и питающих линий. Действующая схема распределительной сети 0,4 кВ по своей структуре удовлетворяет актуальным технико-эксплуатационным требованиям и при модернизации СЭС, она останется неизменной, что также сократит затраты на прокладку кабелей и подготовку траншей. Действующие кабели будут заменяться на современные аналоги со СПЭ-изоляцией.

Используемая радиальная схема электроснабжения – это схема, в которой каждый потребитель электроэнергии (здание) подключен к источнику питания (ТП) через отдельный кабель. Это обеспечивает высокую надежность системы, так как при выходе из строя одного кабеля остальные продолжают работать.

Преимущества радиальной схемы электроснабжения:

- высокая надежность системы;
- возможность отключения отдельных потребителей без отключения остальных;
- простота монтажа и обслуживания;

– низкие потери электроэнергии.

Расчет для КЛ до МЖД №1.

Расчетный ток КЛ, по (14):

$$I_{\max} = 343,2 / (\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 1) = 495,4 \text{ А.}$$

Принимаем два параллельных кабеля АВБШв 4×120,  $I_{\text{дон}} = 550 \text{ А}$  [17].

«Индуктивным сопротивлением для сети 0,4 кВ пренебрегаем» [10].

Потери напряжения в КЛ, по (16):

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 495,4 \cdot 0,0217 \cdot 100}{400} (0,121 \cdot 0,9 + 0 \cdot 0,408) = 0,27 \% < 5 \%$$

Выбор кабелей сведен в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор кабелей распределительной сети

КЛ до, № здания	$I_p$ , А	Сечение АВБШв, мм <sup>2</sup>	$I_{\text{доп}}$ , А	$\Delta U$ ,%
1	495,4	2×120	550	0,27
1а	138,4	50	160	1,19
1б	238,2	95	240	0,80
2	284,6	150	305	0,71
3	284,6	150	305	0,13
3а	284,6	150	305	0,76
4	284,6	150	305	0,12
5	196,3	120	265	0,17
5а	492,1	2×120	550	0,37
6	214,9	95	240	0,22
6а	354,9	240	440	0,57

Продолжение таблицы 7

КЛ до, № здания	Ip, А	Сечение АВБШв, мм <sup>2</sup>	Idоп, А	ΔU,%
7	346,2	240	440	0,28
7а	242,2	120	265	0,26
7б	229,9	95	240	0,33
8	284,6	150	305	0,15
8а	313,2	185	345	0,28
8б	1166,4	3×240	1320	0,13
9	378,9	240	440	0,32
9а	445,6	2×95	480	0,25
10	517,8	2×120	550	0,80
10а	51,2	10	65	2,38
10б	425,8	240	440	0,12
11	413,0	240	440	0,33
12	285,5	150	305	0,26

Преимущества выбранных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена:

- высокая прочность и устойчивость к механическим воздействиям.
- устойчивость к химическим воздействиям и коррозии.
- высокая гибкость, что облегчает монтаж и установку.
- низкая степень усадки, что снижает риск коротких замыканий.
- высокая степень изоляции, что обеспечивает безопасность эксплуатации.
- длительный срок службы, до 50 лет.
- экологичность, не содержат вредных веществ, не выделяют опасных газов при горении.

Трассы кабельных линий показаны на рисунке 4.



С учетом новых выбранных кабелей определяются токи короткого замыкания в электрической сети.

## 2.5 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) проводится для определения необходимых параметров устройств релейной защиты и автоматики (РЗА).

Схема замещения сети показана на рисунке 5.

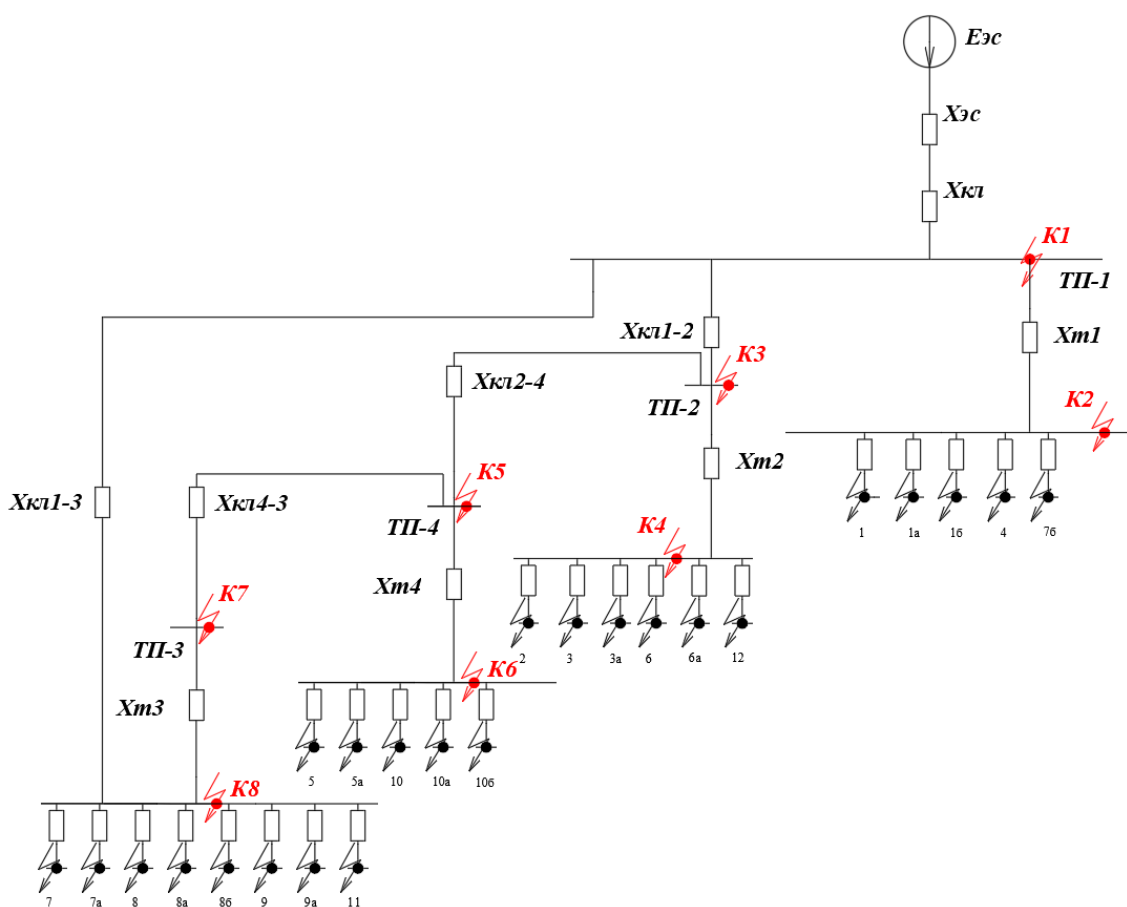


Рисунок 5 – Схема замещения сети

«Полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{\sum r^2 + \sum x^2}, \quad (18)$$



где  $\Sigma r$ ,  $\Sigma x$  – активное и индуктивное сопротивление цепи, Ом.

Приведенное сопротивление участков:

$$x^o = x \cdot \left( \frac{U_{\delta}}{U_n} \right)^2, \quad (17)$$

где  $x$  – действительное сопротивление участка, Ом;

$U_{\delta}$  – базисное напряжение, кВ;

$U_n$  – номинальное напряжение, кВ.

Для трансформатора:

$$x_m^o = \frac{U_{\kappa} \%}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{нм}}}, \quad (18)$$

Приведенное сопротивление электрических линий:

$$x_l^o = x_0 \cdot l \cdot \left( \frac{U_{\delta}}{U_n} \right)^2, \quad (19)$$

где  $x_0$  – удельное сопротивление, Ом/км;

$l$  – длина линии, км.

Периодическая слагающая трехфазного тока КЗ» [12]:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3z}}, \quad (20)$$

«Ударный ток КЗ:

$$I_y = I_{кз}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (\kappa_y - 1)^2}, \quad (21)$$

где  $\kappa_y$  – ударный коэффициент;

$T_a$  – постоянная затухания апериодической слагающей тока.

$$\kappa_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (22)$$

$$T_a = \sum R / 314 \cdot \sum X, \quad (23)$$

Токи двухфазного и однофазного КЗ:

$$I_{кз}^{(2)} = I_{кз}^{(3)} \cdot \sqrt{3} / 2, \quad (24)$$

$$I_{кз}^{(1)} = 0,55 \cdot I_{кз}^{(3)}, \quad (25)$$

Переходное сопротивление в местах присоединения низковольтных проводов учитывается добавкой активного сопротивления 15 мОм и индуктивного 5 мОм» [12].

Расчет для участка ТП-1– здание №1.

Сопротивления КЛ 0,4 кВ с учетом сопротивлений контактов:

$$R_{кЛ0,4} = 1,31 + 15 = 16,31 \text{ мОм},$$

$$X_{кЛ0,4} = 0,33 + 5 = 5,33 \text{ мОм}.$$

С учетом сопротивлений трансформатора, КЛ 10 кВ и энергосистемы, эквивалентные сопротивления цепи:

$$R_{\Sigma} = 16,31 + 0,018 + 2,57 + 9,05 = 27,949 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma} = 5,33 + 5 + 0,088 + 0,64 + 2,26 + 66,68 = 74,916 \text{ мОм},$$

$$z = \sqrt{27,949^2 + 74,916^2} = 82,359 \text{ мОм}.$$

Расчет токов КЗ, по (20–25):

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 82,359} = 2,888 \text{ кА},$$

$$T_a = 27,949 / (314 \cdot 74,916) = 0,0118,$$

$$\kappa_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0118}} = 1,45,$$

$$I_y = 2,888 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,45 - 1)^2} = 3,426 \text{ кА},$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = 2,888 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 2,967 \text{ кА},$$

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = 0,55 \cdot 2,888 = 1,589 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов сведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчетов токов КЗ

№ участка / точки КЗ	$I_{\text{кз}}^{(3)}$ , кА	$I_y$ , кА	$I_{\text{кз}}^{(2)}$ , кА	$I_{\text{кз}}^{(1)}$ , кА
К1	2,954	3,391	2,936	-
К2	2,953	3,390	2,935	1,624
К3	2,889	3,402	2,946	-
К4	2,889	3,401	2,945	1,589
К5	2,413	3,223	2,791	-
К6	2,413	3,223	2,791	1,327
К7	2,378	3,197	2,768	-
К8	2,378	3,196	2,768	1,308
1	2,888	3,426	2,967	1,589
1а	2,433	3,247	2,812	1,338
1б	2,494	3,211	2,781	1,372
2	2,506	3,227	2,795	1,378
3	2,516	3,230	2,797	1,384

Продолжение таблицы 8

№ участка / точки КЗ	$I^{(3)}_{кз}, \text{кА}$	$I_y, \text{кА}$	$I^{(2)}_{кз}, \text{кА}$	$I^{(1)}_{кз}, \text{кА}$
3а	2,531	3,259	2,822	1,392
4	2,119	2,952	2,556	1,165
5	2,117	2,949	2,554	1,164
5а	2,100	2,926	2,534	1,155
6	2,094	2,917	2,526	1,152
6а	2,115	2,946	2,551	1,163
7	2,120	2,953	2,558	1,166
7а	2,078	2,894	2,506	1,143
7б	2,558	3,243	2,809	1,407
8	2,560	3,247	2,812	1,408
8а	2,576	3,267	2,829	1,417
8б	2,571	3,260	2,823	1,414
9	2,574	3,265	2,827	1,416
9а	2,603	3,301	2,859	1,432
10	2,573	3,263	2,826	1,415
10а	2,301	3,184	2,757	1,266
10б	2,028	2,838	2,458	1,116
11	2,063	2,887	2,500	1,135
12	2,091	2,926	2,534	1,150

Линий и оборудование СЭС будут защищаться релейной защитой и автоматикой и автоматическими выключателями.

## 2.6 Выбор аппаратов защиты линий

Автоматический выключатель - это устройство, которое автоматически отключает питание в случае перегрузки или короткого замыкания. Он также может быть использован для ручного отключения питания.

«Для защиты линий распределительной сети 0,4 кВ требуется выбрать автоматические выключатели (АВ), условия выбора:

– по напряжению:

$$U_{ном} \geq U_c, \quad (26)$$

– по предельной коммутационной способности (ПКС):

$$ПКС > i_y, \quad (27)$$

– отстройка уставки теплового расцепителя:

$$I_{m.p.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (28)$$

– проверка чувствительности» [18]:

$$K_q = \frac{I_k^{(1)}}{I_{эм.р.}} > 1,1. \quad (29)$$

АВ для защиты КЛ к зданию №1 выбираем марки ВА-52-39/630.

Проверка по (26-29):

$$U_{ном} = 400 \geq 400 \text{ В},$$

$$1,1 \cdot 495,37 = 544,9 \text{ А},$$

$$I_{m.p.} = 630 > 544,9 \text{ А},$$

$$K_q = \frac{1,59}{0,63} = 1,87 > 1,1,$$

$$ПКС = 36 > 3,43 \text{ кА}.$$

Выбор и проверка АВ марки ВА-52-39 приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор и проверка автоматов

№ здания	$1,1 \cdot I_p, A$	$I_{ном}, A$	$I_{т.р.}, кА$	Кч
1	544,9	630	0,63	1,87
1а	152,3	160	0,16	6,20
1б	262,1	320	0,32	3,17
2	313,0	320	0,32	3,19
3	313,0	320	0,32	3,20
3а	313,0	320	0,32	3,22
4	313,0	320	0,32	2,70
5	215,9	250	0,25	3,45
5а	541,3	630	0,63	1,36
6	236,3	250	0,25	3,41
6а	390,4	400	0,40	2,15
7	380,8	400	0,40	2,16
7а	266,4	320	0,32	2,65
7б	252,9	320	0,32	3,26
8	313,0	320	0,32	3,26
8а	344,5	400	0,40	2,62
8б	1283,1	1600	1,60	1,13
9	416,8	630	0,63	1,66
9а	490,2	630	0,63	1,68
10	569,5	630	0,63	1,66
10а	56,4	63	0,06	14,88
10б	468,4	500	0,50	1,65
11	454,3	500	0,50	1,68
12	314,1	320	0,32	2,66

Все выбранные АВ подходят по всем параметрам.

## 2.7 Модернизация релейной защиты и автоматики

Модернизация РЗА необходима для повышения надежности и эффективности ее работы. Она включает в себя замену устаревших устройств на новые, более совершенные, а также оптимизацию настроек и параметров системы. Действующая устаревшая и изношенная РЗА на электромеханических реле будет заменена на современную микропроцессорную. Микропроцессорная релейная защита и автоматика (МПРЗА) – это система управления и защиты энергосистем, основанная на использовании микропроцессорных технологий. Она обеспечивает более высокую точность и быстродействие по сравнению с традиционными системами, а также позволяет использовать более сложные алгоритмы управления и защиты.

Микропроцессорные терминалы Сириус-2МЛ-02 обеспечат защиту питающей линии 10 кВ, внешний вид терминала показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Терминал Сириус-2МЛ-02

Определяются уставки защит.

«Токовая отсечка (ТО):

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (30)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки» [3].

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,1696 = 0,848 \text{ кА.}$$

«МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{р.макс} , \quad (31)$$

где  $I_{р.макс}$  – расчетный ток КЛ, А» [3].

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 169,6 = 235,44 \text{ А.}$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T} , \quad (32)$$

где  $k_{cx}$ ,  $n_T$  – коэффициенты схемы подключения и трансформации для ТТ.

Коэффициент чувствительности защиты» [8]:

$$k_u = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}} , \quad (33)$$

$$I_{CP} = 235,44 \cdot \frac{1}{200/5} = 5,886 \text{ А,}$$



$$k_u = \frac{2936}{235,44} = 12,5 \geq 1,5.$$

«Защита от замыканий на землю (ЗНЗ).

Ток срабатывания:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C, \quad (34)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки;

$k_B$  – коэффициент броска ёмкостного тока;

$I_C$  – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (35)$$

где  $I_{CO}$  – ёмкостный ток кабеля, А/км;

$L$  – длина линии, км» [8].

$$I_C = 1,16 \cdot 2,71 = 3,144 \text{ А},$$

$$I_{C.з.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 3,144 = 9,431 \text{ А}.$$

АВР – это устройство автоматического ввода резерва, которое обеспечивает бесперебойное электроснабжение потребителей путем переключения на резервный источник питания в случае отключения основного источника. Микропроцессорный АВР (АВРМ) – это устройство автоматического ввода резерва, выполненное на базе микропроцессорной техники. Он обеспечивает более высокую надежность и быстродействие по сравнению с аналоговыми АВР, а также позволяет реализовать более сложные алгоритмы работы.

«АВР на шинах вводных РП 0,4 кВ потребителей 1 категории выполняется на микропроцессорном терминале Сириус-АВР, внешний вид терминала показан на рисунке 7» [8].



$$t_{C.P.ABP} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с.}$$

Микропроцессорный АВР обеспечит надежный и быстрый ввод резерва питания.

## 2.8 Расчет заземляющего устройства подстанций

Заземляющее устройство (ЗУ) подстанции предназначено для обеспечения безопасности персонала и оборудования при возникновении аварийных ситуаций, таких как короткое замыкание или грозовой разряд. Оно состоит из заземлителя (металлических стержней или труб, вбитых в землю) и заземляющих проводников, которые соединяют заземлитель с электрооборудованием. Заземляющее устройство должно быть выполнено в соответствии с требованиями нормативных документов и обеспечивать необходимое сопротивление заземления. Действующие ЗУ подстанций критически изношены и имеют сопротивления более предельно допустимых по ПУЭ 4 Ом, ввиду чего при модернизации СЭС будут смонтированы новые ЗУ для всех ТП. «Удельное сопротивление грунта для вертикальных (ВЭ) и горизонтальных (ГЭ) электродов:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (39)$$

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

$K_c$  – коэффициент сезонности» [4].

$$\rho_{pв} = 500 \cdot 1,1 = 550 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{pг} = 500 \cdot 1,4 = 700 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Для ВЭ используем угловую сталь 50x50 мм, для ГЭ используем полосовую сталь 50x5 мм. Сопротивление растеканию для одного ВЭ:

$$R_{\text{овэ}} = \frac{\rho_{\text{пв}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad (40)$$

где  $l$  – длина ВЭ, м;

$d$  – приведенный диаметр, м;

$t$  – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (41)$$

где  $b$  – ширина уголка, м» [4].

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м,}$$

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м,}$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{550}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 62,195 \text{ Ом.}$$

«Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{\text{овэ}} / R_n, \quad (42)$$

где  $R_n$  – наибольшее допустимое сопротивление ЗУ, Ом» [4].

$$n' = 62,195 / 4 \approx 16 \text{ шт.}$$

«Длина ГЭ:

$$l_g = 1,05 \cdot a \cdot n', \quad (43)$$

где  $a$  – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n', \quad (44)$$

где  $l_{\text{пер}}$  – периметр здания ТП, м» [4].

$$l_{пер} = 2 \cdot (9,3 + 7) = 32,6 \text{ м,}$$

$$a = 32,6 / 16 = 2,04 \text{ м,}$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 2,04 \cdot 16 = 34,27 \text{ м.}$$

План заземления ТП показан на рисунке 8.

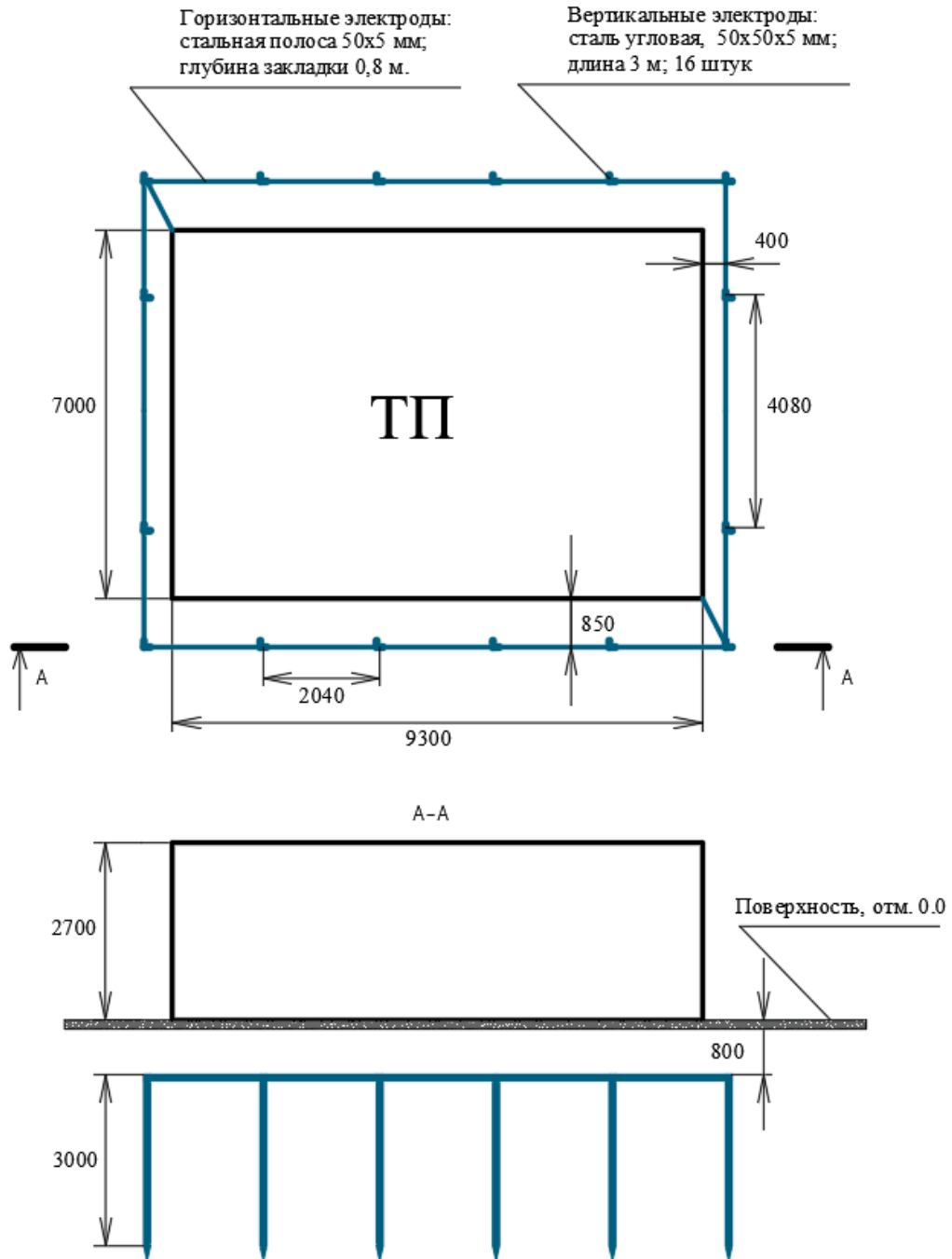


Рисунок 8 – План заземления ТП

«Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{\text{эз}} = \frac{\rho_{\text{pz}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{d \cdot t} \right), \quad (45)$$

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (46)$$

где  $b$  – ширина полосы, м» [4].

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м},$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м},$$

$$R_{\text{эз}} = \frac{700}{2 \cdot 3,14 \cdot 34,27} \cdot \ln \left( \frac{34,27^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,624 \text{ Ом}.$$

«Эквивалентное сопротивление ЗУ:

$$R_{\text{зр}} = \frac{R_{\text{овз}} \cdot R_{\text{эз}}}{R_{\text{овз}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n + R_{\text{эз}} \cdot \eta_{\text{г}}}, \quad (47)$$

где  $\eta_{\text{в}}$ ,  $\eta_{\text{г}}$  – коэффициенты использования ВЭ и ГЭ» [4].

$$R_{\text{зр}} = \frac{62,195 \cdot 2,625}{62,195 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,624 \cdot 0,3} = 3,805 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

Расчетное сопротивление ЗУ менее предельно допустимого, надежная защита людей и оборудования будет обеспечиваться.

## **2.9 Совершенствование учета электроэнергии, реализация современной АИИСКУЭ**

Автоматизированная информационно-измерительная система учёта электроэнергии (АИИСКУЭ) представляет собой комплекс аппаратных и

программных средств, предназначенный для измерения, сбора, обработки, хранения и передачи информации об электропотреблении. Система позволяет осуществлять контроль и учёт потребления электроэнергии на различных уровнях, от отдельных потребителей до целых регионов и стран. АИИСКУЭ играет важную роль в оптимизации энергопотребления и повышении эффективности работы энергосистем. Она позволяет контролировать расход электроэнергии, выявлять несанкционированные подключения и определять потери энергии. Кроме того, система обеспечивает автоматизированный сбор данных об энергопотреблении, что упрощает процесс учёта электроэнергии и снижает затраты на его проведение. Современная АИИСКУЭ является современным и эффективным инструментом для управления энергосистемами и контроля за потреблением электроэнергии. Её внедрение позволяет повысить надёжность и безопасность энергоснабжения, а также снизить затраты на электроэнергию за счёт оптимизации её потребления [1].

В СЭС микрорайона АИИСКУЭ будет реализована на основе оборудования от АО «Энергомера» [20]. «Учет электроэнергии и подключение потребителей ТП к системе АСТУЭ осуществляется счетчиками Энергомера СЕ 303, установленными на фидерах 10 и 0,4 кВ ТП и подключенными к устройствам сбора и передачи данных (УСПД) СЕ805М через концентраторы RS-485 по протоколу Modbus. УСПД и концентраторы установлены на каждой секции шин 10 кВ и 0,4 кВ.

Вместо аналоговых стрелочных измерительных приборов принимаются к установке цифровые многофункциональные измерительные приборы (МИП) (MFU на рисунках) sm-963e, обеспечивающие передачу данных (напряжения, токи, мощности и т.д.) по интерфейсу RS-485 в общую цифровую сеть предприятия. Подключение приборов sm-963e осуществляется к УСПД через концентраторы RS-485 по протоколу Modbus. МИП является цифровым программируемым устройством, предназначенным для измерения параметров трехфазных 3-х или 4-х проводных сетей с

симметричной и несимметричной нагрузкой с одновременным отображением измеряемых величин и цифровой передачей данных. Прибор дает возможность управления, анализа и оптимизации работы энергетического оборудования, систем и промышленных цепей.

Схема сбора и передачи данных с шин 10 кВ ТП на диспетчерский пункт приведена на рисунке 9.

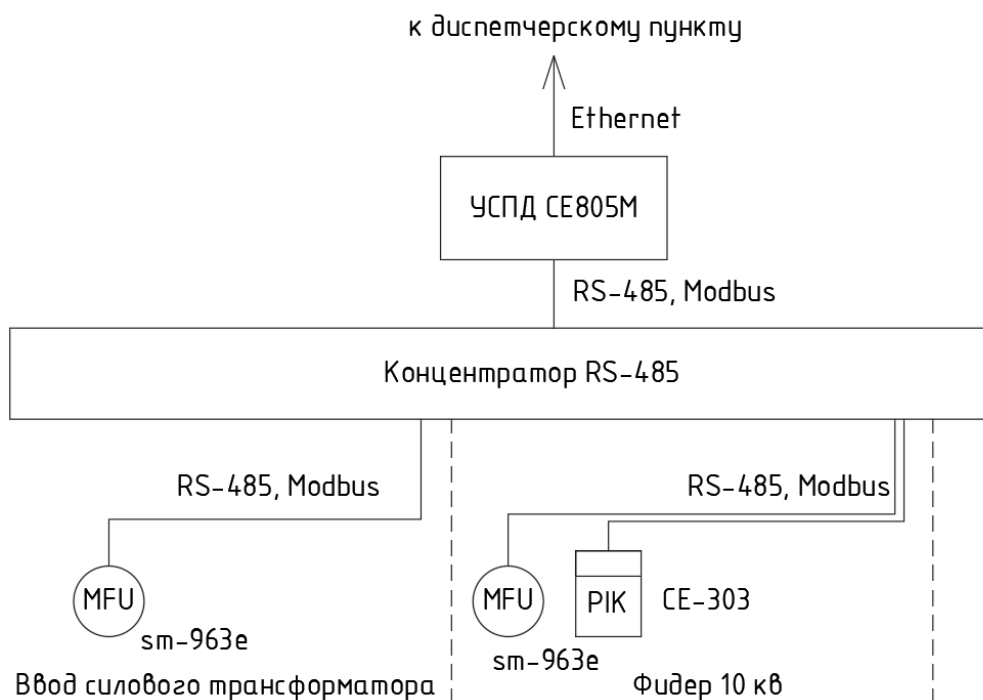


Рисунок 9 – Схема сбора и передачи данных с шин 10 кВ ТП

Концентратор разъемов RS-485 необходим для подключения необходимого количества счетчиков и МИП к УСПД. УСПД обеспечивает систематизацию данных и их передачу на диспетчерский пункт.

На вводах силовых трансформаторов также будут установлены МИП sm-963e для наглядной цифровой индикации параметров питания трансформаторов на месте, передачи данных в цифровую сеть предприятия.

Схема сбора и передачи данных с шин 0,4 кВ ТП приведена на рисунке 10.



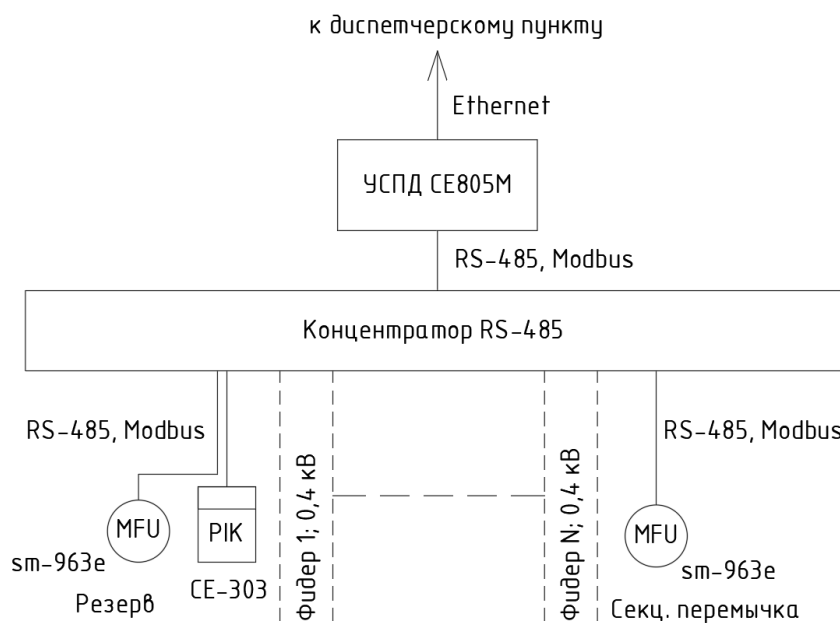


Рисунок 10 – Схема сбора и передачи данных с шин 0,4 кВ ТП

На фидерах 0,4 кВ ТП также устанавливаются счетчики CE 303 и МИП sm-963e, контролирующие режимы электроснабжения питаемых электроприемников. По результатам анализа данных счетчиков и МИП, установленных на шинах ВН и НН ТП, АИИСКУЭ будет контролировать баланс прихода и отдачи активной, реактивной и полной мощности и электроэнергии, выявляя непредусмотренные и излишние потери мощности и электроэнергии» [9]. Учет электроэнергии в жилых домах и других зданиях будет осуществляться счетчиками CE 303, установленными во вводных РП зданий и счетчиками CE 201, установленными в квартирах.

Выводы по разделу.

Проведена разработка мероприятий по модернизации системы электроснабжения микрорайона. С учетом актуальных нагрузок выбрано новое оборудование. Установка энергоэффективных силовых трансформаторов и реализация АИИСКУЭ снизят потери электроэнергии, исключат возможность долговременных хищений электроэнергии. Микропроцессорная РЗА повысит надежность электроснабжения и уровень защиты электрооборудования.

## Заключение

Проведена разработка мероприятий по модернизации системы электроснабжения микрорайона.

Решены задачи:

- приведена характеристика жилого микрорайона, систематизированы исходные данные;
- выполнен анализ современных систем электроснабжения городских районов, их отличительных особенностей и требований к ним, выделены основные требуемые критерии проведения модернизации для рассматриваемого района;
- проведен анализ действующей СЭС микрорайона, обоснована необходимость ее модернизации и повышения качества учета электроэнергии, которые вызваны, в первую очередь, критическим износом и устареванием оборудования, ростом электрических нагрузок, учащением несанкционированных подключений к сети и хищений электроэнергии;
- определены актуальные электрические нагрузки, которые в целом для рассматриваемого района составили 5272,82 кВт; 2485,46 квар; 5830,86 кВА;
- выбраны новые комплектные ТП и энергоэффективные силовые трансформаторы марки ТМГ12;
- проведены расчеты электрических сетей, согласно актуальным нагрузкам и рабочим токам линий выбраны новые кабели с изоляцией из СПЭ, действующая схема электрической сети по своей структуре удовлетворяет актуальным технико-эксплуатационным требованиям и при модернизации СЭС, она останется неизменной, что также сократит затраты на прокладку кабелей и подготовку траншей;

- выбраны аппараты защиты линий, современные автоматические выключатели обеспечат надежную защиту и быстрое отключение при перегрузках и КЗ;
- рассмотрена модернизация релейной защиты и автоматики, действующая устаревшая и изношенная РЗА на электромеханических реле будет заменена на современную микропроцессорную. выбраны микропроцессорные терминалы, определены уставки защит;
- проведен расчет заземляющего устройства подстанций, действующие ЗУ подстанций критически изношены и имеют недопустимо высокие сопротивления, ввиду чего при модернизации СЭС будут смонтированы новые ЗУ для всех ТП;
- рассмотрены совершенствование учета электроэнергии, реализация современной АИИСКУЭ, установка оборудования от АО «Энергомера» снизит потери электроэнергии, исключит возможность долговременных хищений электроэнергии.

Практическая значимость проведения модернизации СЭС микрорайона состоит в том, что она позволит повысить надежность и стабильность электроснабжения, что особенно важно для жилых районов. Также модернизация приведет к снижению потерь электроэнергии, что в свою очередь снизит затраты на электроэнергию. Повысится качество электроэнергии, приведет к улучшению работы электроприборов и снижению риска их поломок. Наконец, модернизация повысит безопасность и надежность электроснабжения, уменьшая вероятность аварий и отключений электроэнергии. Очевидна обоснованность и необходимость проведения модернизации системы электроснабжения жилого микрорайона «Западный» г. Краснодара, предложенные мероприятия планируются к реализации в ближайшее время.

## Список используемых источников

1. Андрианов Д.П. Оптимизационные задачи электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 156 с.
2. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 415 с.
3. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
4. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
5. Головатый С. Е. Охрана окружающей среды и энергосбережение : учебное пособие. Минск : РИПО, 2021. 304 с.
6. Кобозев В.А. Качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 356 с.
7. Комков В. А. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве : учебное пособие. – 2-е изд. М. : ИНФРА-М, 2022. 204 с.
8. Куксин А. В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. 200 с.
9. Любарский Ю. Я. Интеллектуальные электрические сети: компьютерная поддержка диспетчерских решений : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2022. 160 с.
10. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
11. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
12. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания. М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2002. 149 с.

13. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.elec.ru/viewer?url=/library/rd/rd\\_34\\_20\\_185-94.pdf](https://www.elec.ru/viewer?url=/library/rd/rd_34_20_185-94.pdf) (дата обращения 22.03.2024).

14. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.

15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.

16. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учебное пособие. – 3-е изд., испр. М. : ИНФРА-М, 2023. 214 с.

17. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.

18. Щербаков, Е. Ф. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 303 с.

19. Школа для электрика. [Сайт]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 16.03.2024).

20. Энергомера. [Сайт]. – <http://www.energomera.ru/> (дата обращения: 18.03.2024).