

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: Проектирование системы электроснабжения многоэтажного дома бизнес-класса
в г. Краснодар

Обучающийся	<u>М.В. Кузнецов</u> (инициалы, фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
Руководитель	<u>к.т.н., доцент Д.А. Кретов</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), инициалы, фамилия)	<u>_____</u>
Консультант	<u>к.п.н., доцент, доцент кафедры теории и практики перевода А.В. Егорова</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), инициалы, фамилия)	<u>_____</u>

Тольятти 2024

Аннотация

Бакалаврская работа по проектированию системы электроснабжения многоэтажного жилого здания бизнес-класса в Краснодаре содержит текст на 71 страницах и шесть чертежей формата А1.

Бакалаврская работа направлена на разработку внутренней электросети для престижного десятиэтажного комплекса, ориентируясь на его бизнес-уровень. Работа включает расчет электрических нагрузок здания и анализ необходимых спецификаций для сети, в том числе подбор наилучших напряжений и характеристик для трансформаторов. Производится отбор соответствующих кабелей, а также составляется перечень качественных электроприборов и устройств для защиты и управления электроснабжением. В работу входит разрабатывание плана групповых и основных распределительных сетей, а также продумывание системы освещения с выбором подходящих источников света, выключателей и проектирование сети освещения.

Цель ВКР – проектирование системы внутреннего электроснабжения для модернизируемого жилищного комплекса элит-класса в Краснодаре, удовлетворяющей все современные требования.

Работа содержит несколько разделов, начиная с введения и заканчивая экономической оценкой выбранных решений и обоснованием их эффективности. Это включает в себя анализ исходных данных, составление концепции электроснабжения, расчеты нагрузок, потенциальных кратковременных перегрузок, а также подробный выбор и верификацию функциональности трансформаторов и другого электрооборудования.

Abstract

The graduation project is focused on the design of an electric supply network for a high-rise residential building of business class located in Krasnodar.

The diploma consists of an introductory section, six main content parts, a concluding section, tables, a bibliography that includes international literature, and a set of six A1 format engineering drawings.

The primary objective of this thesis is to engineer an efficient internal electric supply network for a residential complex in Krasnodar.

The objective of this research is to design a reliable electrical infrastructure for a high-end residential complex, ensuring residents benefit from an uninterrupted and dependable electricity supply.

The dissertation is methodically organized into distinct yet interconnected sections, which include an introductory overview; an analysis of the underlying information established prior to the study; formulating methods for electrical circuit design; calculating the electrical demand and potential short-circuit intensities; evaluating and deciding upon suitable power transformers; selecting the right cables, hardware, and the economic justifications for these choices.

It's critical to emphasize the thorough methodology applied in calculating the electrical requirements: determining the necessary number and types of transformers, selecting the right calibers of cables and electrical conduits, and choosing the accurate electrical equipment including protective, switching, and measuring devices. Furthermore, the strategic planning for the installation of main service panels and the precise mapping of both group and distribution networks have been carefully considered and outlined.

In conclusion, it should be stated that while this research targets a specific building complex, its findings and methodologies hold significance for the optimization of electric systems across other residential properties in Russia.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных	8
2 Выбор схемных решений	10
3 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания	13
4 Выбор и проверка силовых трансформаторов	26
5 Выбор и проверка проводников и аппаратов	29
6 Экономическое обоснование принятых решений	62
Заключение	67
Список используемых источников	69

Введение

Система электроснабжения - это сеть из различных устройств, которые занимаются производством электроэнергии и ее доставкой к потребителю.

В связи с увеличением потребления электричества, инфраструктура электросетей усложняется, что видно в промышленности, жилых кварталах и бизнес-центрах. Надежность электроснабжения становится ключевым фактором: поддержание бесперебойной подачи энергии при стабильном напряжении и соблюдении частоты тока важно для всех. Чтобы повысить энергоэффективность и снизить вред окружающей среде, системы и регуляции энергоснабжения обновляются и улучшаются со временем.

«Системы электроснабжения жилых домов создаются для обеспечения питания электроэнергией бытовых приемников электрической энергии, к которым относятся электродвигатели различной бытовой техники, электрические печи (духовые шкафы), осветительные установки и другие бытовые приемники электроэнергии» [1].

«С точки зрения возникающих последствий при перерывах электроснабжения потребителей решающую роль играет внезапность возникновения этих перерывов. Последнее определяется характером работоспособности электрооборудования, используемого в системах электроснабжения. Невзирая на профилактические меры по поддержанию работоспособного состояния электрооборудования и наличия предупредительной сигнализации в процессе эксплуатации систем электроснабжения, возникают внезапные отказы электроснабжения и отключения части или системы целиком. Возникающий при этом перерыв электроснабжения касается соответствующего круга потребителей, связанного с рассматриваемой системой электроснабжения. Продолжительность перерывов зависит от особенностей повредившегося оборудования, определяющих время, необходимое для восстановления его работоспособного состояния или его замены» [4].

Помимо риска прерываний электроснабжения, домовладельцы рискуют испортить бытовую электронику из-за неожиданных перепадов напряжения, но это лишь верхушка айсберга в целом комплексе проблем. Сложные гармонические искажения тока и напряжения начинают проявляться в сети в результате подключения приборов с нелинейными характеристиками источников питания, к числу которых относятся компьютеры, микроволновые печи, а также осветительные приборы с люминесцентными и светодиодными лампами, приводя к дестабилизации электросетей и потенциальным поломкам. Они могут привести к дополнительным поломкам оборудования и требуют особых инженерных решений для их устранения. Эти гармоники могут вызывать лишние потери энергии, перегрев проводов, неполадки в работе устройств и даже возгорание. Чтобы электроэнергия была качественной, а оборудование служило долго и без сбоев, важно контролировать гармоники и принимать меры для уменьшения их негативного влияния.

В многоквартирных домах использование приборов, питающихся от одной фазы, может вызвать неодинаковую загрузку по разным фазам электросети. Такое явление, как несимметричность распределения тока по фазам, может серьезно затруднить функционирование трехфазной техники в пределах одного строения, включая приводы лифтовых механизмов. Для предотвращения подобных проблем, крайне важно предусматривать риски фазовой асимметрии уже при разработке электротехнической концепции объекта. Диссертационный проект посвящен анализу систем электроснабжения в рамках жилых комплексов, с акцентом на электрическую инфраструктуру конкретного многоквартирного дома.

Мой бакалаврский проект – это создание стабильной системы электроснабжения для непрерывного и экономически выгодного подачи электричества в жилой небоскреб премиум-класса в Краснодаре, что обеспечит равномерное использование электроэнергии его жителями.

Для достижения поставленной цели необходимо решить основные задачи ВКР:

- анализ исходных данных;
- выбор схемных решений;
- расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания;
- выбор и проверка силовых трансформаторов;
- выбор и проверка проводников и аппаратов;
- экономическое обоснование принятых решений.

Методы исследования: анализ, синтез, абстрагирование и обобщение.

Результаты выпускной квалификационной работы имеют значение не только для разработанного жилого комплекса, но также могут быть применимы и для других многоквартирных домов в России.

1 Анализ исходных данных

Инфраструктура электроснабжения жилых зон рассчитана на непрерывное снабжение электроэнергией необходимых в быту устройств, включая работу домашних электродвигателей, кухонных плит, освещения и многих других устройств, потребляющих электричество. С появлением усовершенствованных электронных гаджетов и систем обогрева жилых помещений спрос на электричество увеличивается, вызывая необходимость в развитии более продвинутых, надежных и экономичных системах распределения электрической энергии. В выпускной квалификационной работе разработан проект внутридомовой электрической сети для нового многоквартирного жилого комплекса. Цель – разработка надежной и безопасной системы электроснабжения, отвечающей всем потребностям будущих жильцов.

В новостройке города Краснодар на проспекте В.Н. Мачуги, дом 166 (рисунок 1), располагается многоквартирный дом высотой в десять этажей, разбитый на две секции, вмещающий 80 апартаментов - по 40 в каждой части. Структура этажей представлена двумя однокомнатными и двумя двухкомнатными квартирами. Этот объект является составляющей обширного жилищного проекта "Сказка Град". Здание снабжено газом и подсоединено к центральной системе отопления. Электроснабжение обеспечено категорией III, что означает устойчивость к сбоям в подаче электричества. Для критически важных элементов инфраструктуры здания, в том числе лифтового оборудования и системы аварийного освещения, предназначена система электроснабжения высшей степени надежности категории I. Распределение тока осуществляется через две отдельные кабельные линии для систем обеспечения различной категории надежности: одна резервирует другую в экстренных ситуациях. У входа в электросеть жилого комплекса установлены счетчики, позволяющие точно мониторить потребление электроэнергии всеми жителями.

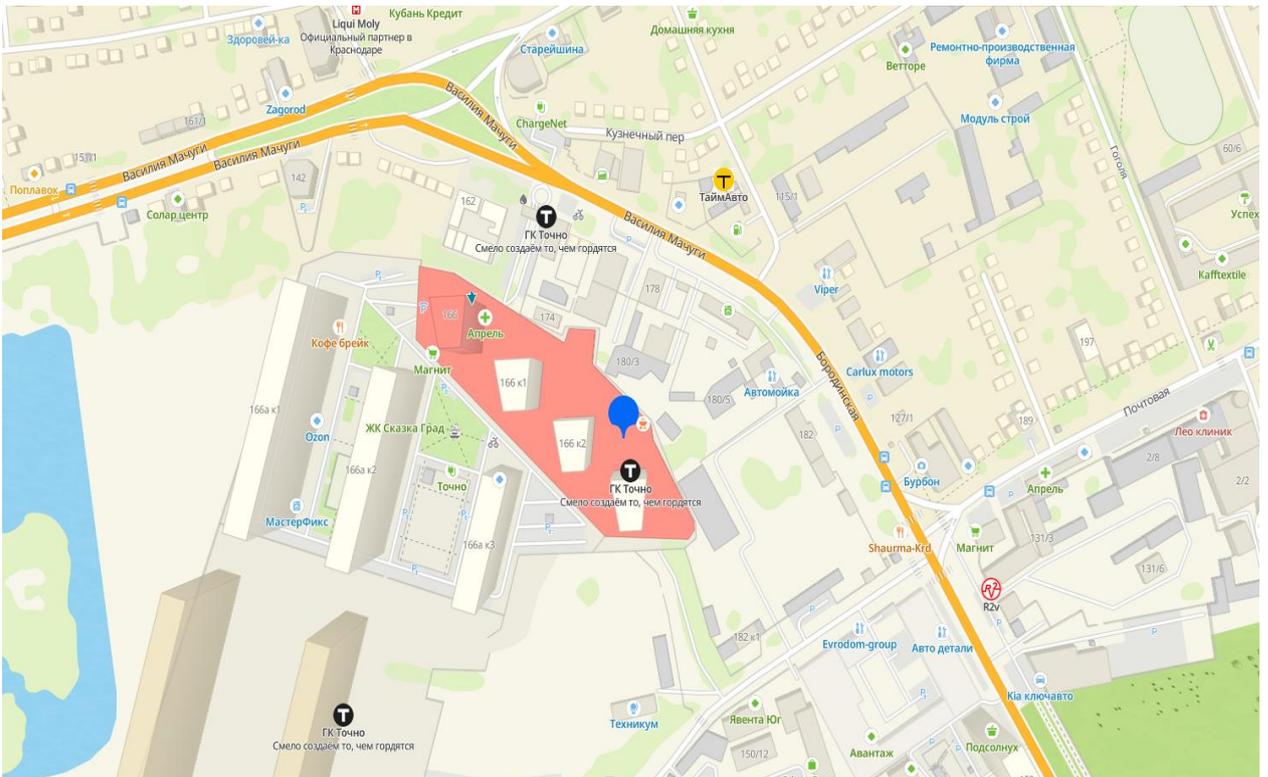


Рисунок 1 – Месторасположение проектируемого дома

Принципиальная схема групповых и распределительных сетей дома показана в графической части ВКР.

Вывод по разделу.

Важным аспектом разработки проекта электрической сети для многоквартирного жилого комплекса является обеспечение энергоэффективности. В современном мире большое внимание уделяется экономии ресурсов и снижению нагрузки на окружающую среду, в том числе и в области энергопотребления. Поэтому при проектировании сети необходимо учитывать возможности использования энергосберегающих технологий, таких как LED освещение, системы управления энергопотреблением и другие.

Результатом такой работы должна стать надежная, безопасная и энергоэффективная система электроснабжения, способная обеспечить комфорт и безопасность жильцов жилого комплекса на протяжении многих лет.

2 Выбор схемных решений

«Обычно, для обеспечения домов электроэнергией используется либо главный распределительный щит (ГРЩ), либо вводно-распределительное устройство (ВРУ), как показано на рисунке 2. Все электрические устройства и системы в таких зданиях функционируют за счет электросети с параметрами 220/380 В и системой заземления TN-C-S. В арсенал ГРЩ входят автоматические выключатели и управляющие элементы, позволяющие индивидуально регулировать подачу электроэнергии к различным потребителям» [3].

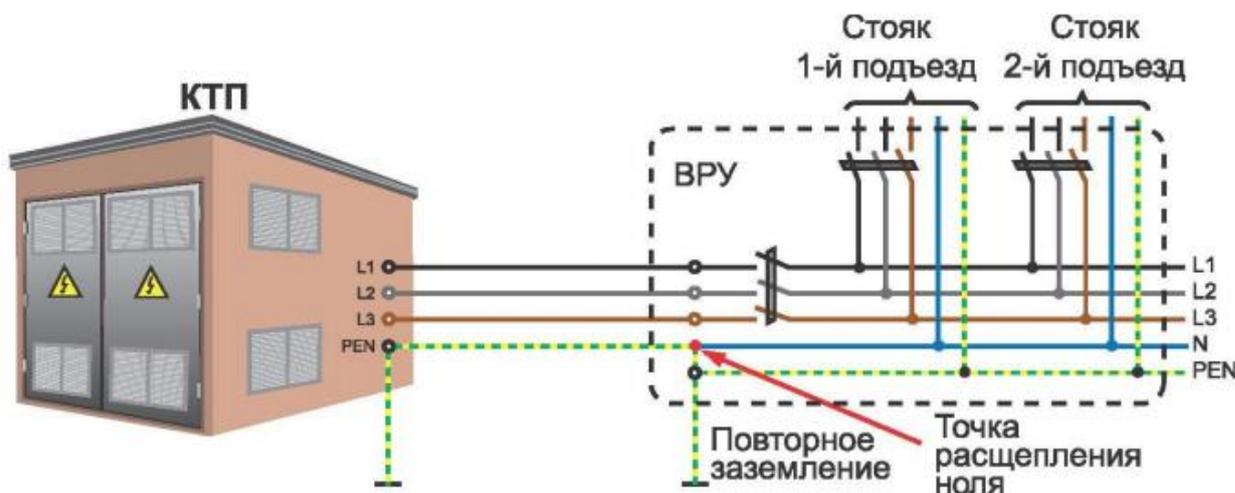


Рисунок 2 – Общая схема электроснабжения жилого комплекса

В главных распределительных щитах (ГРЩ) электроэнергия делится на группы для разных пользователей: освещения в лестничных клетках, подвале и на чердаке, для лифтов, противопожарных систем и оборудования, предназначенного для чрезвычайных ситуаций, а также для квартир и других жилых помещений. Чтобы доставить электричество в квартиры, используются вертикальные каналы, называемые стояками, с устройствами защитного отключения (УЗО), которые защищают от коротких замыканий и прочих

аварий. К стоякам подключаются этажные распределительные щиты, которые образуют электросеть внутри здания.

«Электроснабжение трансформаторных подстанций реализуется через двухлучевую систему подключения» [6]. Сущность данной системы заключается в том, что каждая подстанция получает электроэнергию от двух отдельных источников питания. Для каждого трансформатора в подстанции осуществляется подача электроэнергии через отдельную линию. На низковольтной стороне каждого трансформатора установлен контактор - это специализированный аппарат, предназначенный для управления электрическими цепями. Этот контактор способен автоматически перераспределять электрическую нагрузку между несколькими трансформаторами в случае, если у одного из них возникнут проблемы с подачей напряжения. Благодаря такому распределению, один контактор может управлять подключением к электросети сразу 3-5 трансформаторов, что значительно повышает общую надежность системы распределения электроэнергии (отсылая к рисунку 3 для наглядности).

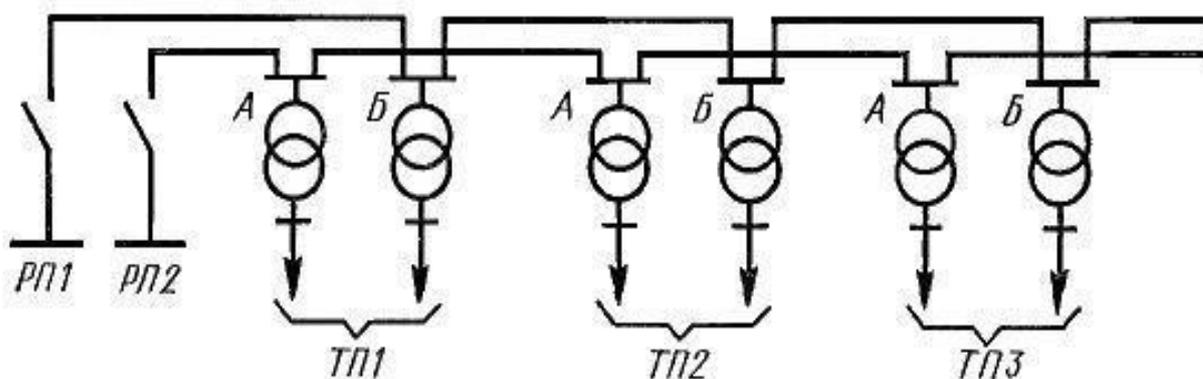


Рисунок 3 – Двухлучевая схема распределительной сети

По последней редакции Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [1], жилые здания относятся к объектам с третьей категорией электропитания, что указывает на умеренную важность бесперебойности электроснабжения. Это означает, что жилым домам может быть достаточно одного источника

питания, но при этом важно, чтобы любой перерыв в подаче электричества, вызванный необходимостью ремонта или замены какой-либо части системы, не длился более одних суток.

Рассмотрим два варианта электроснабжения жилого дома (рисунок 4).

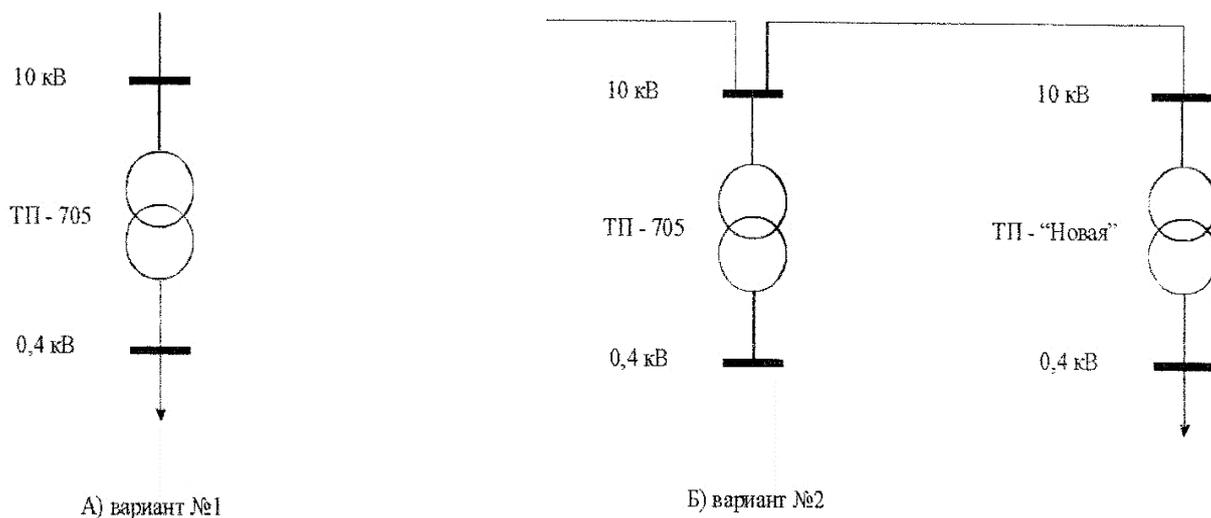


Рисунок 4 – Два варианта электроснабжения жилого дома

Вывод по разделу.

Для обеспечения энергетическими ресурсами здания используется трансформаторная подстанция с обозначением ТП-705. От неё в направлении объекта проложены под землей два кабельных канала с напряжением 0,4 кВ, что включает в себя обновление и техническое усовершенствование распределительного оборудования на самой ТП-705. В альтернативном варианте по соседству с жилым комплексом возведена новая трансформаторная подстанция, которая получает электроэнергию по двум линиям высокого напряжения 10 кВ от старой подстанции ТП-705. Из новой подстанции для электроснабжения дома проложены два кабельных маршрута с напряжением 0,4 кВ.

3 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания

3.1 Расчёт электрических нагрузок

«Первым этапом проведем расчет электрической нагрузки жилого комплекса, для чего необходимо определить расчетную электрическую нагрузку квартир и расчетную электрическую нагрузку силовых электроприемников». [2]

«Расчетная электрическая нагрузка квартир, приведенная к вводу жилого комплекса, определяется по формуле:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n \quad (1)$$

где $P_{\text{кв.уд}} = 0,95$ кВт/кв – удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий; определено по [13, таблица 6.1] (для домов с числом квартир между 60 ($P_{\text{кв.уд}} = 1,05$ кВт/кв) и 100 ($P_{\text{кв.уд}} = 0,85$ кВт/кв), с плитами на природном газе);

$n = 80$ – число квартир в доме.

$$P_{\text{кв}} = 0,95 \cdot 80 = 76,0 \text{ кВт}$$

«Определение предполагаемой потребности в электроэнергии силовых установок, нормированной к месту подключения жилого комплекса, производится по формуле:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{л.у}} + P_{\text{ст.у}} \quad (2)$$

где $P_{\text{л.у}}$ – мощность лифтовых установок, кВт» [2]; в проектируемом многоквартирном доме 2 лифта, каждый лифт имеет электропривод по 4,0 кВт:

$$P_{Л.у} = k'_C \cdot \sum_1^n P_{Л.у} \quad (3)$$

где $k'_C = 0,8$ – коэффициент спроса лифтовых установок; принимаем согласно [13, таблица 7.4] (для жилого дома этажностью до 12 этажей включительно, с количеством лифтов 2...3).

$$P_{Л.у} = 0,8 \cdot 4,0 \cdot 2 = 6,4 \text{ кВт}$$

где $P_{СТ.у}$ – мощность электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и иных санитарно-технических устройств:

$$P_{СТ.у} = k''_C \cdot \sum_1^n P_{СТ.у} \quad (4)$$

где $k''_C = 0,75$ – коэффициент спроса электродвигателей санитарно-технических приборов, принимаем для восьми электродвигателей (по одному электродвигателю на десять квартир) по [13, таблица 7.5].

$$P_{СТ.у} = 0,75 \cdot 8,0 = 6,0 \text{ кВт}$$

Следовательно:

$$P_C = 6,4 + 6,0 = 12,4 \text{ кВт}$$

Расчетная электрическая нагрузка жилого комплекса (квартир и силовых электроприемников):

$$P_{Р.ж.д} = P_{КВ} + k_y \cdot P_C \quad (5)$$

$$P_{Р.ж.д.№1} = 76,0 + 0,9 \cdot 12,4 = 87,16 \text{ кВт}$$

Полная мощность нагрузки жилого комплекса и питающей его линии:

$$S_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{Р.Ж.Д}}}{\cos\varphi} \quad (6)$$

$$S_{\text{расч.№1}} = \frac{87,16}{0,98} = 88,93 \text{ кВА}$$

Расчетные значения силы тока:

$$I = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Н}}} \quad (7)$$

$$I_{\text{№1}} = \frac{88,93}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 128,3 \text{ А}$$

Полученные значения вносим в таблицу 1» [2].

Таблица 1 – Результаты подсчет электрических нагрузок

Наименование	n	$P_{\text{уд}}$, кВт	$P_{\text{расч}}$, кВт	$\cos\varphi$	$S_{\text{расч}}$, кВА	I, А
Жилой многоквартирный комплекс	80	0,95	87,16	0,98	88,93	128,3

В заключении к разделу заметим, что при подборе оборудования для электроснабжения исходите из общего электрического потребления жилого комплекса, которое равно 88,4 кВт. Это охватывает потребление первого узла подключения в 76 кВт, второго — 12,4 кВт. В расчет необходимо также включить предполагаемые энергетические убытки в линиях передачи, которые в данном проекте могут достигать порядка 2,04 процентов от общего объема.

3.2 Расчеты токов трехфазного короткого замыкания

«В системах электроснабжения возможны короткие замыкания различного рода, что приводит к мгновенному росту тока. Следовательно, электрические аппараты и элементы, интегрированные в эти системы, должны выдерживать кратковременные перегрузки, вызванные коротким замыканием, и их подбор следует осуществлять, принимая во внимание эти параметры.

Оборудование, кабели и устройства, которые при номинальных условиях эксплуатации способны выдерживать нагрузки от токов короткого замыкания без потери функциональности через электрическое, механическое и иное повреждение или искажение, гарантируют свою долгосрочную и надежную работу» [7].

«При анализе аварийных режимов в электросетях высокого напряжения (свыше 1000 В) принимают во внимание индуктивности электродвигателей, трансформаторных агрегатов и линий передачи (воздушных и кабельных).

Активные сопротивления элементов системы электроснабжения не учитываются, если выполняется условие:

$$r_{\Sigma} < \frac{x_{\Sigma}}{3} \quad (8)$$

где r_{Σ} и x_{Σ} – соответственно, суммарные активные и индуктивные сопротивления деталей системы электроснабжения до точки короткого замыкания, Ом» [2].

«При расчете токов короткого замыкания создается упрощенная модель (расчетная схема) системы электроснабжения и на ее основе – схема замещения. Эта процедура включает в себя разработку однолинейной схемы с отображением всех ключевых элементов и параметров системы электропитания, необходимых для точного расчета токов короткого замыкания» [2].

При выборе расчетной схемы исходят из нормальных, предусматриваемых для данной установки, условий длительной ее работы и не считаются с кратковременными видоизменениями схемы этой электроустановки, которые не предусмотрены для длительной эксплуатации, например, послеаварийные режимы.

Схема для расчета токов трехфазного КЗ показана на рисунке 5.

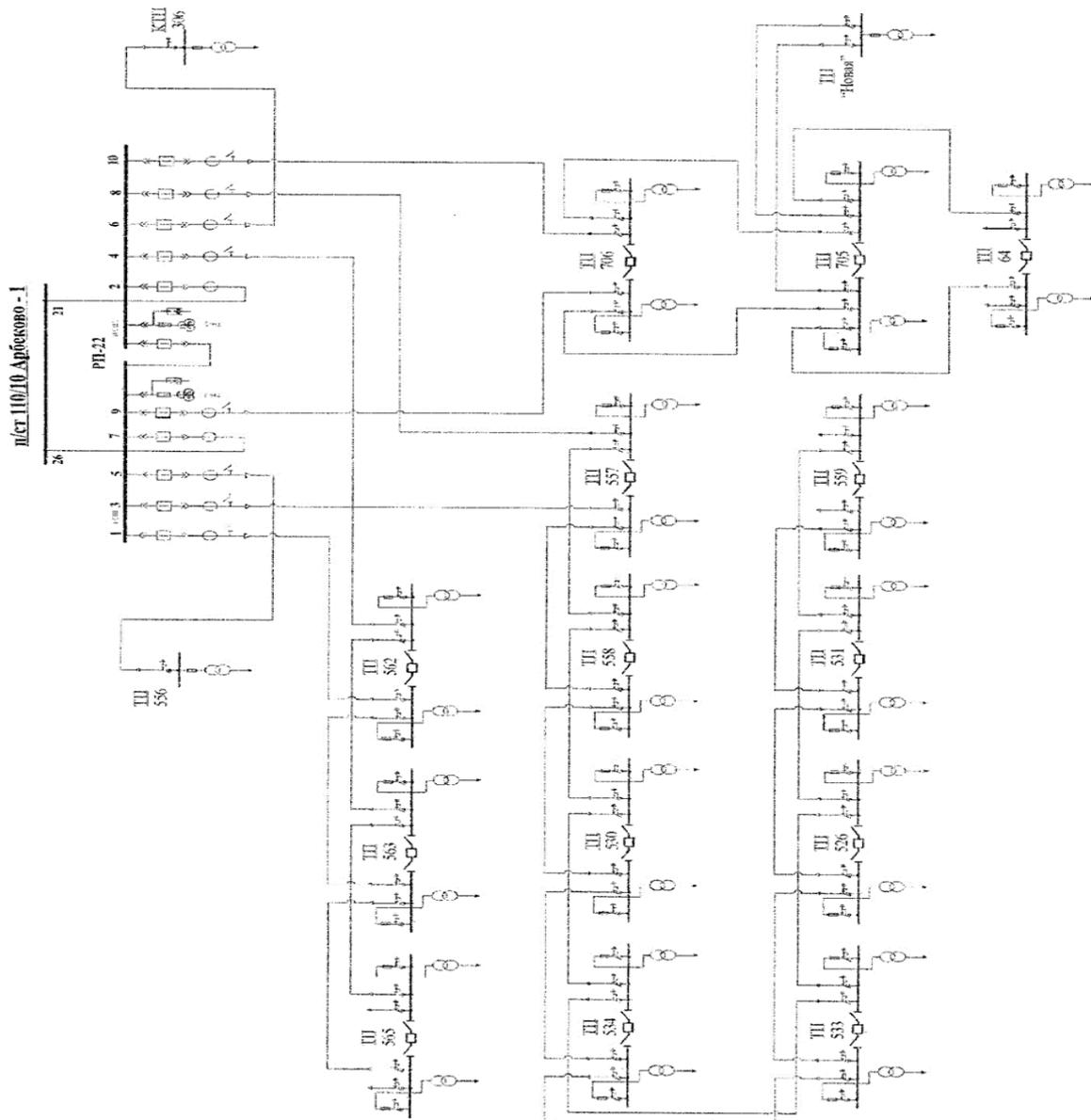


Рисунок 5 – Схема для расчёта токов трёхфазного КЗ

«Ток трехфазного КЗ определяется по выражению:

$$I''_k = \frac{E''_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} \quad (9)$$

где E''_{Σ} – линейное значение эквивалентной ЭДС схемы замещения, кВ;
 X_{Σ} – суммарное равнозначное сопротивление, Ом» [2].

Для определения тока короткого замыкания будем использовать именованные единицы. Это требует пересчета всех электрических параметров к уровню напряжения той ступени, где происходит короткое замыкание.

При расчётах с использованием стандартных мер измерения, величина эквивалентной электродвижущей силы оказывается аналогична номинальному значению напряжения в системе ($U_{ср.ном}$), что допускает замену вычисления эквивалентной ЭДС на использование установленного номинального напряжения для упрощения процесса. Таким образом, выражение (9) преобразуется для отражения данных изменений.

$$I''_k = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} \quad (10)$$

Составим эквивалентную схему (рисунок 6) и присвоим номера ее компонентам, следуя от источника питания к точкам короткого замыкания.

Расчетная схема системы электроснабжения

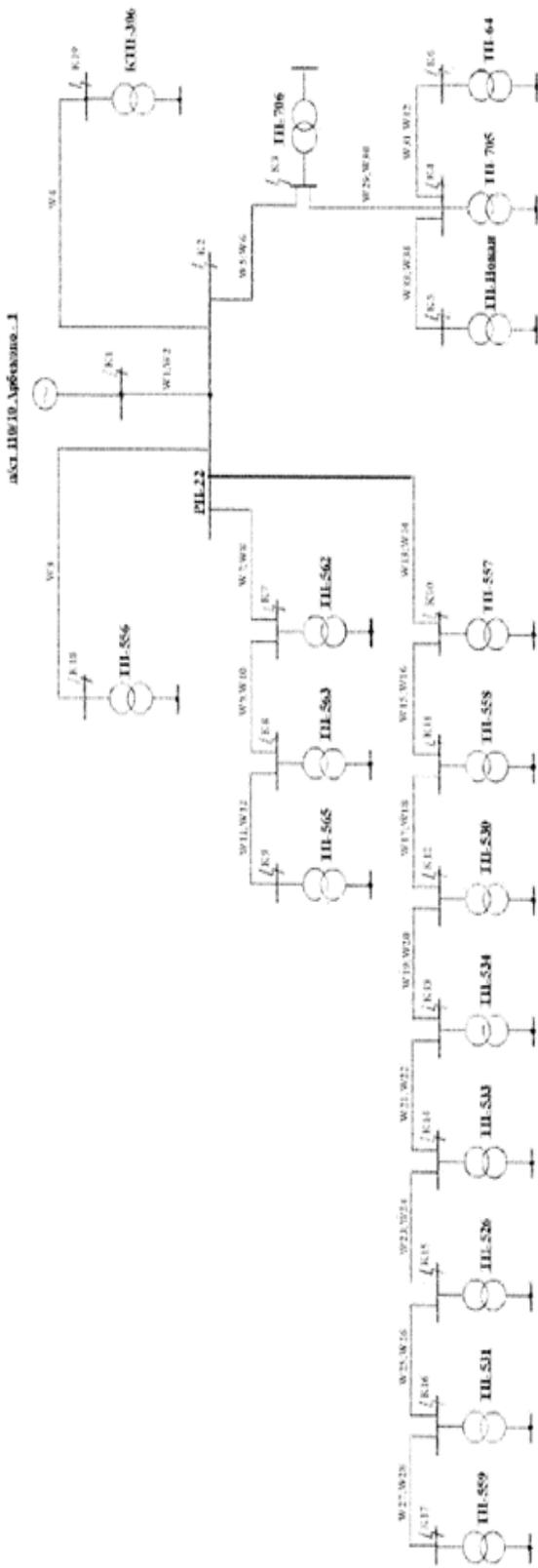


Схема замещения

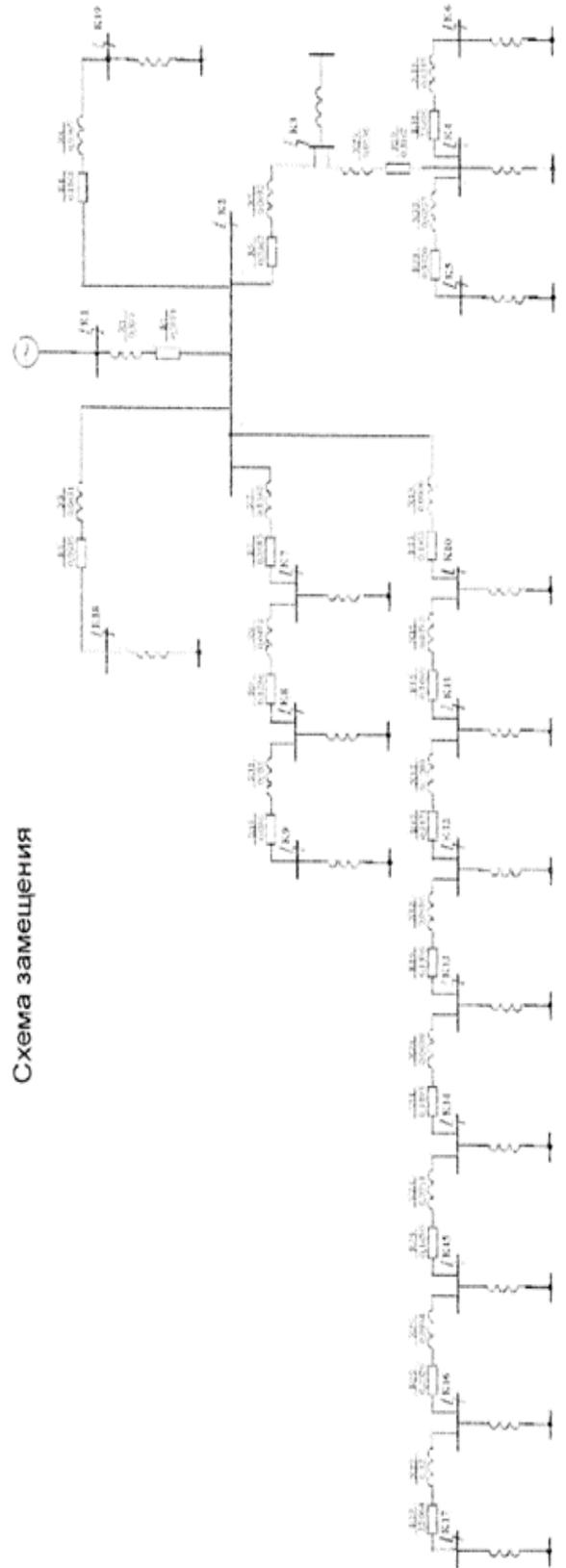


Рисунок 6 – Схема замещения

Исходные данные для расчета сопротивлений элементов схемы замещения сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Исходные условия для расчета сопротивлений элементов схемы замещения

Кабельная линия	Тип кабеля	Длина кабельной линии, км	Удельное сопротивление кабельных линий 10 кВ, Ом/км	
			активное	индуктивное
W1; W2	АСБЗ×240	4,520	0,129	0,075
W3	ААШВЗ×185	0,560	0,167	0,077
W4	ААБЗ×120	0,450	0,258	0,081
W5; W6	АСБЗ×120	1,150	0,258	0,081
W7; W8	ААШВЗ×240	2,050	0,129	0,075
W9; W10	ААШВЗ×150	0,600	0,206	0,079
W11; W12	ААБлуЗ×185	0,455	0,167	0,077
W13; W14	АСБЗ×240	1,075	0,129	0,075
W15; W16	АСБЗ×185	1,011	0,167	0,077
W17; W18	ААШВЗ×185	1,300	0,167	0,077
W19; W20	АСБЗ×185	0,800	0,167	0,077
W21; W22	АСБЗ×185	0,894	0,167	0,077
W23; W24	АСБЗ×185	0,988	0,167	0,077
W25; W26	АСБЗ×185	1,213	0,167	0,077
W27; W28	АСБЗ×240	1,600	0,129	0,075
W29; W30	ААШВЗ×185	0,696	0,167	0,077
W31; W32	ЦАСБуЗ×120	1,500	0,258	0,081
W33; W34	ААБЗ×25	0,300	1,240	0,099

Сопротивление источника питания определим из выражения:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к1}}} \quad (11)$$

где $I_{\text{к1}}$ – ток трехфазного КЗ в точке К1, А; «этот параметр вычисляется в процессе анализа токов короткого замыкания для адаптации временных настроек защиты максимального тока второй ступени реле, при этом принимается во внимание критерий отклика на состояние короткого замыкания, возникшее за пределами трансформатора на подстанции «Арбеково-1», на линиях электропередачи напряжением 10 кВ» [2].

$$x_c = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8028} = 0,755 \text{ Ом}$$

«Индуктивные и активные сопротивления кабельных линий (КЛ)» [3]:

$$\begin{aligned}x_1 &= x_2 = x_{уд} \cdot l_1 = 0.075 \cdot 4.52 = 0.339 \text{ Ом}, \\r_1 &= r_2 = r_{уд} \cdot l_1 = 0.129 \cdot 4.52 = 0.5831 \text{ Ом}, \\x_3 &= x_{уд} \cdot l_3 = 0.077 \cdot 0.56 = 0.0431 \text{ Ом}, \\r_3 &= r_{уд} \cdot l_3 = 0.167 \cdot 0.56 = 0.0935 \text{ Ом}, \\x_4 &= x_{уд} \cdot l_4 = 0.081 \cdot 0.45 = 0.0365 \text{ Ом}, \\r_4 &= r_{уд} \cdot l_4 = 0.258 \cdot 0.45 = 0.1161 \text{ Ом}, \\x_5 &= x_6 = x_{уд} \cdot l_5 = 0.081 \cdot 1.15 = 0.0932 \text{ Ом}, \\r_5 &= r_6 = r_{уд} \cdot l_5 = 0.258 \cdot 1.15 = 0.2967 \text{ Ом}, \\x_7 &= x_8 = x_{уд} \cdot l_7 = 0.075 \cdot 2.05 = 0.1538 \text{ Ом}, \\r_7 &= r_8 = r_{уд} \cdot l_7 = 0.129 \cdot 2.05 = 0.2645 \text{ Ом}, \\x_9 &= x_{10} = x_{уд} \cdot l_9 = 0.079 \cdot 0.6 = 0.0474 \text{ Ом}, \\r_9 &= r_{10} = r_{уд} \cdot l_9 = 0.206 \cdot 0.6 = 0.1236 \text{ Ом}, \\x_{11} &= x_{12} = x_{уд} \cdot l_{12} = 0.077 \cdot 0.455 = 0.035 \text{ Ом}, \\r_{11} &= r_{12} = r_{уд} \cdot l_{12} = 0.167 \cdot 0.455 = 0.0760 \text{ Ом}, \\x_{13} &= x_{14} = x_{уд} \cdot l_{14} = 0.075 \cdot 1.075 = 0.0806 \text{ Ом}, \\r_{13} &= r_{14} = r_{уд} \cdot l_{14} = 0.129 \cdot 1.075 = 0.1387 \text{ Ом}, \\x_{15} &= x_{16} = x_{уд} \cdot l_{15} = 0.077 \cdot 1.011 = 0.0778 \text{ Ом}, \\r_{15} &= r_{16} = r_{уд} \cdot l_{15} = 0.167 \cdot 1.011 = 0.1688 \text{ Ом}, \\x_{17} &= x_{18} = x_{уд} \cdot l_{17} = 0.077 \cdot 1.3 = 0.1001 \text{ Ом}, \\r_{17} &= r_{18} = r_{уд} \cdot l_{17} = 0.167 \cdot 1.3 = 0.2171 \text{ Ом}, \\x_{19} &= x_{20} = x_{уд} \cdot l_{19} = 0.077 \cdot 0.8 = 0.0616 \text{ Ом}, \\r_{19} &= r_{20} = r_{уд} \cdot l_{19} = 0.167 \cdot 0.8 = 0.1336 \text{ Ом}, \\x_{21} &= x_{22} = x_{уд} \cdot l_{21} = 0.077 \cdot 0.894 = 0.0688 \text{ Ом}, \\r_{21} &= r_{22} = r_{уд} \cdot l_{21} = 0.167 \cdot 0.894 = 0.1493 \text{ Ом}, \\x_{23} &= x_{24} = x_{уд} \cdot l_{23} = 0.077 \cdot 0.988 = 0.0761 \text{ Ом},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
r_{23} &= r_{24} = r_{уд} \cdot l_{23} = 0.167 \cdot 0.988 = 0.1650 \text{ Ом}, \\
x_{25} &= x_{26} = x_{уд} \cdot l_{25} = 0.077 \cdot 1.213 = 0.0934 \text{ Ом}, \\
r_{25} &= r_{26} = r_{уд} \cdot l_{25} = 0.167 \cdot 1.213 = 0.2026 \text{ Ом}, \\
x_{27} &= x_{28} = x_{уд} \cdot l_{27} = 0.075 \cdot 1.6 = 0.12 \text{ Ом}, \\
r_{27} &= r_{28} = r_{уд} \cdot l_{27} = 0.129 \cdot 1.6 = 0.2064 \text{ Ом}, \\
x_{29} &= x_{30} = x_{уд} \cdot l_{29} = 0.077 \cdot 0.696 = 0.0536 \text{ Ом}, \\
r_{29} &= r_{30} = r_{уд} \cdot l_{29} = 0.167 \cdot 0.696 = 0.1162 \text{ Ом}, \\
x_{31} &= x_{32} = x_{уд} \cdot l_{31} = 0.081 \cdot 1.5 = 0.1215 \text{ Ом}, \\
r_{31} &= r_{32} = r_{уд} \cdot l_{31} = 0.258 \cdot 1.5 = 0.3870 \text{ Ом}, \\
x_{33} &= x_{34} = x_{уд} \cdot l_{33} = 0.099 \cdot 0.3 = 0.0297 \text{ Ом}, \\
r_{33} &= r_{34} = r_{уд} \cdot l_{33} = 1.24 \cdot 0.3 = 0.3720 \text{ Ом},
\end{aligned}$$

Суммарное сопротивление до точки К2:

$$\begin{aligned}
x_{2\Sigma} &= x_c + x_2 & (12) \\
x_{2\Sigma} &= 0,755 + 0,339 = 1,094 \text{ Ом} \\
r_{2\Sigma} &= r_2 = 0,5831 \text{ Ом} \\
\frac{x_{2\Sigma}}{3} &= \frac{1,094}{3} = 0,3647 \text{ Ом} \\
r_{2\Sigma} &= 0,5831 \text{ Ом} > \frac{x_{2\Sigma}}{3} = 0,3647 \text{ Ом}
\end{aligned}$$

Условие неравенства (8) не выполняется.

В процессе исследования трехфазного тока короткого замыкания, когда рассматривается узел К2, критически важно учитывать активное сопротивление кабельных линий. Суммарное сопротивление кабельных маршрутов до точки возникновения короткого замыкания равно:

$$\begin{aligned}
x_{3\Sigma} &= x_c + x_2 + x_5 & (13) \\
x_{3\Sigma} &= 0,755 + 0,339 + 0,0932 = 1,1872 \text{ Ом}
\end{aligned}$$

$$r_{3\Sigma} = r_2 + r_5 \quad (14)$$

$$r_{3\Sigma} = 0,5831 + 0,2967 = 0,8798 \text{ Ом}$$

$$\frac{x_{3\Sigma}}{3} = \frac{1,1872}{3} = 0,3957 \text{ Ом}$$

$$r_{3\Sigma} = 0,8798 \text{ Ом} > \frac{x_{3\Sigma}}{3} = 0,3957 \text{ Ом}$$

Пункт (8) нарушается. В процессе рассмотрения ситуации короткого замыкания трехфазного потока электрического тока вместе с коротким замыканием следует принимать в расчет активное сопротивление проводниковых путей.

Точно так же вычисляются общие значения сопротивления к различным точкам короткого замыкания, результаты которых представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Суммарное сопротивление тока до точек КЗ

Точка КЗ	Суммарные сопротивления, Ом		Полное суммарное сопротивление до точки КЗ, Ом $z_{i\Sigma} = \sqrt{r_{i\Sigma}^2 + x_{i\Sigma}^2}$
	активное	индуктивное	
1	-	$x_c = 0,755$	0,755
2	$r_{2\Sigma} = r_2 = 0,5831$	$x_{2\Sigma} = x_c + x_2 = 1,094$	1,240
3	$r_{3\Sigma} = r_2 + r_5 = 0,8798$	$x_{2\Sigma} = x_c + x_2 + x_5 = 1,1872$	1,478
4	$r_{4\Sigma} = r_{3\Sigma} + r_{29} = 0,996$	$x_{4\Sigma} = x_{3\Sigma} + x_{29} = 1,2408$	1,591
5	$r_{5\Sigma} = r_{4\Sigma} + r_{33} = 1,368$	$x_{5\Sigma} = x_{4\Sigma} + x_{33} = 1,2705$	1,867
6	$r_{6\Sigma} = r_{4\Sigma} + r_{31} = 1,383$	$x_{6\Sigma} = x_{4\Sigma} + x_{31} = 1,3623$	1,941
7	$r_{7\Sigma} = r_{2\Sigma} + r_7 = 0,8476$	$x_{7\Sigma} = x_{2\Sigma} + x_7 = 1,2478$	1,508
8	$r_{8\Sigma} = r_{7\Sigma} + r_9 = 0,9712$	$x_{8\Sigma} = x_{7\Sigma} + x_9 = 1,2952$	1,619
9	$r_{9\Sigma} = r_{8\Sigma} + r_{11} = 1,0472$	$x_{9\Sigma} = x_{8\Sigma} + x_{11} = 1,3302$	1,693
10	$r_{10\Sigma} = r_{2\Sigma} + r_{13} = 0,7626$	$x_{10\Sigma} = x_{2\Sigma} + x_{13} = 1,1768$	1,402
11	$r_{11\Sigma} = r_{10\Sigma} + r_{15} = 0,9314$	$x_{11\Sigma} = x_{10\Sigma} + x_{15} = 1,2546$	1,563
12	$r_{12\Sigma} = r_{11\Sigma} + r_{17} = 1,1485$	$x_{12\Sigma} = x_{11\Sigma} + x_{17} = 1,3547$	1,776
15	$r_{15\Sigma} = r_{14\Sigma} + r_{23} = 1,5964$	$x_{15\Sigma} = x_{14\Sigma} + x_{23} = 1,5612$	1,105
16	$r_{16\Sigma} = r_{15\Sigma} + r_{25} = 1,799$	$x_{16\Sigma} = x_{15\Sigma} + x_{25} = 1,6546$	2,444
17	$r_{17\Sigma} = r_{16\Sigma} + r_{27} = 2,0054$	$x_{17\Sigma} = x_{16\Sigma} + x_{27} = 1,7746$	2,678
18	$r_{18\Sigma} = r_{2\Sigma} + r_3 = 0,6766$	$x_{18\Sigma} = x_{2\Sigma} + x_3 = 1,1371$	1,323
19	$r_{19\Sigma} = r_{2\Sigma} + r_4 = 0,6992$	$x_{19\Sigma} = x_{2\Sigma} + x_4 = 1,1305$	1,329

Ток трехфазного КЗ в рассматриваемых точках, рассчитывается по выражению (10):

– точка К2:

$$I_{K2} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,240} = 4888 \text{ A}$$

– точка К3:

$$I_{K3} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,478} = 4102 \text{ A}$$

Точно так же происходит вычисление тока короткого замыкания для трехфазной системы в различных местах, включая расчет ударного тока и мощности короткого замыкания на основе формул, представленных в таблице 4. Результаты этих расчетов собраны и представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчёт токов короткого замыкания

Точка КЗ	Шины 10 кВ ТП	Значение тока трехфазного КЗ, А	Ударный ток КЗ, кА $I_y = I'' \cdot \sqrt{2} \cdot k_{уд}$	Мощность КЗ, МВА $S_{КЗ} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''$
1	ПС-110/10 кВ «Арбеково-1»	8028	11531	146001
2	РП-22	4888	8209	88896
3	ТП-706	4102	6367	74601
4	ТП-705	3810	5388	69291
5	ТП-«Новая»	3247	4748	59051
6	ТП-64	3123	4599	56797
7	ТП-562	4020	6358	73110
8	ТП-563	3744	5798	68090
9	ТП-565	3581	5492	65126
10	ТП-557	4324	6914	78639
11	ТП-558	3879	6019	70546
12	ТП-530	3413	5164	62071
13	ТП-534	3174	6895	57724
14	ТП-533	2939	4346	53450
15	ТП-526	2715	3994	49376
16	ТП-531	2480	3623	45103

Продолжение таблицы 4

Точка КЗ	Шины 10 кВ ТП	Значение тока трехфазного КЗ, А	Ударный ток КЗ, кА $I_y = I'' \cdot \sqrt{2} \cdot k_{уд}$	Мощность КЗ, МВА $S_{КЗ} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''$
17	ТП-559	2264	3294	41174
18	ТП-556	4582	7480	83331
19	КТП-306	4561	7375	82949

Вывод по разделу.

Для проведения расчетов токов трехфазного короткого замыкания в электрических сетях необходимо учитывать ряд параметров, таких как значения напряжения на шинах сети, характеристики трансформаторов, параметры линий передачи, активное и реактивное сопротивления элементов сети и другие факторы. Эти расчеты позволяют оценить величину тока короткого замыкания, который может возникнуть при неполадках в системе.

Важно правильно учитывать данные параметры при расчетах, чтобы обеспечить надежное функционирование электрических сетей и обеспечить безопасность оборудования и персонала. Результаты расчетов токов короткого замыкания свели в таблицу 4.

4 Выбор и проверка силовых трансформаторов

Поскольку некоторые потребители электроэнергии относятся к первой категории по надежности – это самые важные потребители, для которых перебои в электроснабжении недопустимы – лучшим выбором будет установка двух трансформаторов на электроподстанции. Чтобы трансформаторы работали надежно и эффективно, рекомендуется настраивать их на 70% от максимальной мощности. Это соответствует коэффициенту загрузки в 0,7.

«Произведем ориентировочный выбор числа и мощности трансформаторов по удельной плотности нагрузки:

$$\sigma_H = \frac{S_{\text{НАГР}}}{F}, \frac{\text{кВ} \cdot \text{А}}{\text{м}^2} \quad (15)$$

где $S_{\text{НАГР}} = 88,93$ кВА – расчетная нагрузка;

$F = 5018$ м² – площадь всех этажей здания.

$$\sigma_H = \frac{88,93}{5018} = 0,0177 \frac{\text{кВ} \cdot \text{А}}{\text{м}^2}$$

Опираясь на подробные характеристики конкретной нагрузочной плотности, было определено, что максимальная номинальная мощность трансформаторов, которые будут использоваться в данном проекте, не должна превышать 1000 кВА, как указано в исходных данных». [13, таблица 7.1] Будем стремиться к выбору соответствующих моделей трансформаторов для установки на ТП.

«Расчетная номинальная мощность трансформатора:

$$S_{\text{Т.НОМ.расч}} = \frac{S_{\text{НАГР}}}{n \cdot k_3}, \text{ кВА} \quad (16)$$

где $n = 2$ – количество трансформаторов на ТП» [23];

$k_3 = 0,7$ – «показатель загрузки трансформаторов» [9]

$$S_{T.HOM.расч} = \frac{88,93}{2 \cdot 0,7} = 62,5 \text{ кВА}$$

Исходя из нужной нам расчетной мощности $S_{T.HOM.расч.}$, наша задача – подобрать трансформатор, способность которого соответствует или превышает требуемый показатель. Среди имеющихся опций наилучшим выбором оказывается трансформатор, имеющий характеристики в 63,0 кВА. Детальную информацию об этом оборудовании можно уточнить, обратившись к данным таблицы 5 и схематическому изображению, представленному на рисунке 7.

Таблица 5 – Данные выбора трансформатора

Наименование	$S_{НАГР}$, кВА	$S_{ТНОМрасч.}$, кВА	$S_{ТНОМ}$, кВА	Тип трансформатора	Потери ХХ	Потери КЗ	Ток ХХ, %	Ток КЗ, %
Жилой дом	88,93	62,5	63,0	ТМГ-63-10/0,4	230	1200	2,8	4,5

«Для потребителей жилых и общественных зданий микрорайона в соответствии с СП 25613258002016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» компенсация реактивной нагрузки не требуется» [13].



Рисунок 7 – Трансформатор ТМГ-63-10/0,4

Заключение раздела: ключевую роль играют два масляных силовых трансформатора типа ТМГ-63-10/0,4. «Электрораспределение построено на основе четырехпроводной двухветвистой сетевой структуры с напряжением 220/380 В и использованием системы заземления TN-C-S с надежно заземленной нейтралью для повышения безопасности» [12]. Суммарная мощность потребления внутри комплекса — 88,93 кВА. Здание подключено к электросетям через вводно-распределительное устройство (ВРУ), которое защищено различными элементами безопасности. В апартаментах установлены устройство дифференциального тока.

5 Выбор и проверка проводников и аппаратов

5.1 Расчет кабельных линий

«Трансформаторная подстанция в двухлучевой конфигурации получает электроэнергию от понижающей подстанции, находящейся на расстоянии двух километров.

Проведем расчет для КЛ, питающей ТП» [5].

Определим расчетный ток в линии:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{НАГР}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \text{ А} \quad (17)$$

где n – «количество КЛ, по которым осуществляется электроснабжение объекта с полной мощностью $S_{\text{НАГР}}$ при номинальном напряжении $U_{\text{НОМ}}$ » [5].

$$I_{\text{расч}} = \frac{88,93}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 2,57 \text{ А}$$

Определим ток в линии при аварийном режиме:

$$I_{\text{АП}} = \frac{S_{\text{НАГР}}}{(n - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \text{ А} \quad (18)$$
$$I_{\text{АП}} = \frac{88,93}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 5,13 \text{ А}$$

Определим длительно допустимую токовую нагрузку:

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_{\text{АП}}}{k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{сн}} \cdot k'}, \text{ А} \quad (19)$$

где $k_{\text{пер}} = 1,13$ – коэффициент перегрузки;

$k_{сн} = 0,93$ – коэффициент снижения;

$k = 0,92$ – поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле [3, таблица 13]

$$I_{доп} = \frac{5,13}{1,13 \cdot 0,93 \cdot 0,92} = 5,3 \text{ А}$$

Опираясь на данные из [13, прил. А] об оптимальной нагрузке, производим выбор кабеля с подходящим сечением в соответствии с допустимым длительным током. Эту информацию включаем в таблицу 6. Учитывая, что кабель будет прокладываться подземным способом, отдаем предпочтение кабелю, предназначенному для земляных работ – это кабель марки ПвБП. Этот кабель выделяется за счет применения вулканизированного полиэтилена для изоляции каждой жилы и наличия внешней оболочки из того же материала, а также двойной стальной ленты, служащей защитным барьером. Для придания дополнительной прочности в центре кабеля присутствует наполнитель из жгута.

Таблица 6 – Выбор кабельной линии (КЛ)

Участок	$S_{нагр}$, кВА	n	$I_{расч}$, А	I_{AP} , А	$I_{доп}$, А	Кабель
ПС-ТП	88,93	2	2,57	5,13	5,30	ПвБП-3×10

«Проверка КЛ на участке ПС-ТП по потере напряжения» [9].

В нормальном и аварийном режимах потеря напряжения определяется по формулам:

$$\Delta U_H = \sqrt{3} \cdot I_{расч} \cdot \frac{l}{1000} \cdot (r_{уд} \cdot \cos \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \sin \varphi) \quad (20)$$

где $l = 2000$ м – длина кабельной линии;

$r_{уд} = 3,12$ Ом/км – активное сопротивление кабеля при 20°C (по [13, приложения Б]);

$x_{уд} = 0,122 \text{ Ом/км}$ – реактивное сопротивление кабеля при 20°C (по [13, приложения Б])» [14].

$$\Delta U_H = \sqrt{3} \cdot 2,57 \cdot \frac{2000}{1000} \cdot (3,12 \cdot 0,9 + 0,122 \cdot 0,436) = 50,47 \text{ В}$$

$$\Delta U_{AP} = \sqrt{3} \cdot I_{AP} \cdot \frac{l}{1000} \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi) \quad (21)$$

$$\Delta U_{AP} = \sqrt{3} \cdot 5,13 \cdot \frac{2000}{1000} \cdot (3,12 \cdot 0,9 + 0,122 \cdot 0,436) = 100,74 \text{ В}$$

Таблица 7 – «Потери напряжения в силовой линии» [22]

Участок	$I_{расч}, \text{ А}$	$I_{AP}, \text{ А}$	$L, \text{ м}$	$r_{уд}, \text{ Ом/км}$	$x_{уд}, \text{ Ом/км}$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\Delta U_H, \text{ В}$	$\Delta U_{AP}, \text{ В}$
ПС-ТП	2,57	5,13	2000	3,12	0,122	0,90	0,436	50,47	100,74

Согласно стандарту, ГОСТ 32144-2013, «разброс параметров напряжения – как в положительную, так и отрицательную сторону, – на узле электропередачи не должен выходить за пределы 10% от установленного или согласованного уровня напряжения на протяжении всего времени недельного периода» [10].

Вывод по разделу.

Анализируя варианты, приходим к тому, что кабель типа ПвБП-3×10 оптимален для укладки в землю или траншеи. Он эффективно поддерживает напряжение в рамках допустимого предела на длине до 2000 метров.

5.2 Выбор и аргументация электрооборудования

Перечень электротехнического оборудования многоквартирного проектируемого жилого комплекса в городе Краснодар представлен в таблицы 8.

Таблица 8 – Спецификация электрооборудования и материалов многоквартирного комплекса Секция №1

Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Ед. изм.	Кол-во
Кабель с медными жилами, напряжением 660 В, сечением:	ГОСТ 16442-80	-	-
2×1,5 мм ²	ВВГнг	м	2000
3×1,5 мм ²	ВВГнг	м	6500
4×1,5 мм ²	ВВГнг	м	500
3×2,5 мм ²	ВВГнг	м	2000
1×4,0 мм ²	ВВГнг	м	1500
Провод с медной жилой, напряжением 660 В, сечением:	ГОСТ 6323-79	-	-
1×1,5 мм ² белого цвета	ПВ-1	м	70
1×1,5 мм ² голубого расцветки	ПВ-1	м	70
1×1,5 мм ² зелено-желтого цвета	ПВ-1	м	70
1×2,5 мм ² зелено-желтого цвета	ПВ-1	м	400
1×6 мм ² белого расцветки	ПВ-1	м	30
1×6 мм ² зелено-желтого цвета	ПВ-1	м	10
Провод с алюминиевой жилой, напряжением до 1000 В, сечением:	ГОСТ 6323-79	-	-
1×16 мм ² белого расцветки	АПВ	м	210
1×16 мм ² голубого цвета	АПВ	м	70
1×16 мм ² (25) мм ² зелено-желтого цвета	АПВ	м	70 (50)
1×50 мм ² белого цвета	АПВ	м	150
1×50 мм ² голубого цвета	АПВ	м	50
1×70 мм ² белого цвета	АПВ	м	15
Светильник настенный влагозащищенный	НББ 64-60-047-А1	шт.	56
Светильник потолочный влагозащищенный	НПО-21-100-014	шт.	2
Светильник потолочный с люминесцентной лампой	ЛПО 46-1×40-001	шт.	2
Светильник стенной с люминесцентной лампой	ЛПБ 67-1×40-002	шт.	20
Светильник пылезащищенный со светодиодной лампой	НПП 03-100У3	шт.	20
Лампа светодиодная, 220 В, 6 Вт	LED6w4KE27	шт.	29
Лампа светодиодная, 220 В, 9 Вт	LED9w4KE27	шт.	4
Лампа светодиодная, 220 В, 18 Вт	LED18w4KE27	шт.	2
Стартер	80С-220	шт.	56
Выключатель непроизвольный с выдержкой времени для кратковременного включения освещения	АВ-01-25/220	шт.	9

Продолжение таблицы 8

Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Ед. изм.	Кол-во
Устройство защитного отключения $I_n = 15 \text{ A}$, $I_y = 30 \text{ mA}$	УЗО 22-16-2-030	шт.	5
Счетчик трехфазный кабель прямого включения 5(50) А, класс точности – 1,0	«Меркурий» 230AR-01CL	шт.	2
Щиты	ВРУ-1	комплект	1
Вводно-распределительное аппарат, электроустройство, состоящее из двух панелей ВРУ-1С-225-12В-УХЛ4 и ВРУ-1С-300+300-225-УХЛ4	ВРУ-1	комплект	1
Щит этажный учетно-распределительно-группа, встраиваемый в нишу условного номера на четыре квартиры В щите монтируется: –на вводе аппарат, электроустройство защитного отключения УЗО-40-2-100Е, $I_n = 40 \text{ A}$, $I_y = 100 \text{ mA}$ – 4 шт.; –счетчик однофазный «Меркурий» 20004, 5(50) А, класс точности 1,0 – 4 шт.; –однополярный выключатель с расцепителем 16 А – 12 шт.; –устройство защитного отключения УЗО-22-16-3-030УЗ, $I_n = 16 \text{ A}$, $I_y = 30 \text{ mA}$ – 4 шт.; –устройство защитного отключения УЗО-22-25-3-030УЗ, $I_n = 25 \text{ A}$, $I_y = 30 \text{ mA}$ – 4 шт.	ЩЭУГ2-4×40Д (100)/Сч/5/2УХЛ4	шт.	10
Установочные изделия	С1В1	шт.	100
Выключатель однополюсный 10 А, 250 В для сокрытой установки	С1В1	шт.	100
Выключатель двухполюсный 10 А, 250 В для скрытой установки	С1В2	шт.	50
Выключатель двухполярный герметичный 10 А, 250 В для открытой установки	№6807-50	шт.	11
Выключатель двухполюсный 10 А, 250 В для спрятанной установки	С1В5	шт.	83
Розетка штепсельная двухполюсная с третьим заземляющим контактом и защитными шторками 16 А, 250 В, для спрятанной установки	С1Р4	шт.	600
Розетка штепсельная двухполюсная с третьим заземляющим контактом 10 А, 250 В, для спрятанной установки, брызгозащищенная IP-44	№867-25	шт.	40

Рассмотрим подробнее основное выбранное электротехническое оборудование.

«Устройство защитного отключения УЗО-22-16-2-030 (рисунок 8) предназначено для:

- обеспечения защиты людей от электрошока при нечаянном контакте с частями электрической установки, электризованными вследствие пробоя изоляционного материала, а также при касании к одним из проводящих электричество частей;
- повышение пожарной безопасности при выходе из строя изоляции, электропроводки и электрооборудования;
- защитное отключение защищаемой цепи от продолжительного перенапряжения в ЛЭП;
- защита цепей переменного тока 230 В и 50 Гц от перегрузок и коротких замыканий;
- оперативное включение / выключение электрических цепей» [16].

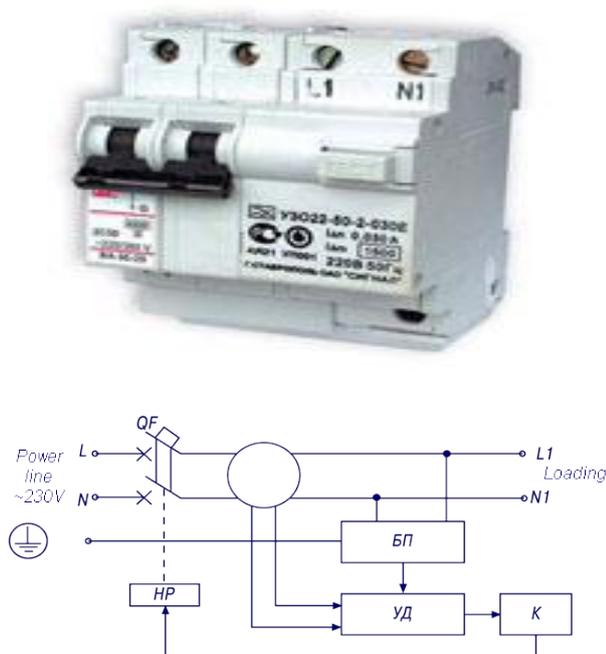


Рисунок 8 – Внешний вид и функциональная схема УЗО серии 22

«Применяются для комплектации модульных и настенных панелей, светотехнического оборудования и систем распределения электроэнергии, а также для установки в распределительные шкафы в помещениях офисного, жилого и общественного назначения, на производственных площадках, в частных жилых объектах, автомобильных сервисах, на садово-огородных участках, в передвижных сооружениях и др., обеспечивая при этом защиту для конечных потребителей электрической энергии» [3].

«Особенностью серии 22 является то, что УЗО сохраняют работоспособность:

- при понижении напряжения в защищаемой цепи до 50 В;
- при повышении напряжения в защищаемой цепи до 246 В;
- после обрыва нулевого провода N (для 3-х проводного исполнения);
- после воздействия интерфейсного напряжения 380 В» [16].

Основные технические параметры УЗО серии 22 представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Основные технические параметры УЗО серии 22

Характеристика	Исполнение		
	УЗО-22	УЗО-22Э	УЗО-22С
Рабочее напряжение, В	220	220	220
Мощность холостого хода, ВА	0,28	0,28	0,28
Рабочий наивысший ток коммутации, I _m , А	2900, 4400	2900, 4400	2900, 4400
Рабочий максимальный ток коммутации по дифференциальному току, I _{Δm} , А	2900, 4400	2900, 4400	2900, 4400
Время срабатывания по дифференциальному току, T _n , с	0,04	0,04	0,04
Ширина тока отключения/подключения на тепловой характеристике, дюйм/дюйм	1,12/1,44	1,12/1,44	1,12/1,44
Ширина тока отключения/подключения на электромагнитной характеристике, дюйм/дюйм	3/5	3/5	3/5
Допуск поперечного сечения линейных проводов, мм ²	1-11	1-24	1-24
Размеры: долгота × ширина × высота, мм	59×93×64	69×89×72	71×94×74
Масса, кг	0,31	0,36	0,36
Защита от влаги	IP-20	IP-20	IP-20

«Модель счетчика электроэнергии «Меркурий», относящаяся к серии 230, разработана для точного измерения не только одно- и многотарифной активной и реактивной мощности в направлениях потребления и выдачи, но и для оценки активных, реактивных, а также полных показателей мощности, расчета коэффициентов использования мощности, определения частоты, уровней напряжения и силы переменного тока. Это устройство также служит для точного контроля параметров качества электроэнергии (ПКЭ) в сетях переменного тока с трех- и четырехпроводной схемой подключения и стандартной частотой в 50 Гц» [14].

Счетчик электрической энергии предназначен для точного учета и хранения информации о потребленной электроэнергии и предлагает возможность использовать четыре различных тарифа для подсчета расходов. Он способен автоматически суммировать общий расход электричества с момента введения в эксплуатацию. Смена тарифов происходит непрерывно и без человеческого вмешательства за счет внедренного механизма тарификации.

Модели электрических счетчиков разнообразны и дифференцируются по таким критериям, как предельное напряжение, область рабочих токов, пиковая токовая нагрузка, степень измерительной точности и наличием уникальных опций. Последние высокотехнологичные возможности обеспечиваются благодаря внедрению интеллектуального ПО, не оказывающего эффекта на метрологическую достоверность показаний прибора.

Данный измерительный инструмент пройден необходимую сертификацию, что подтверждается соответствующими актами, обозначенными кодом АВЛГ.411152.021-ФО. Оборудован он LCD-экраном, где демонстрируются данные о количестве использованной электроэнергии, выраженные в кВт·ч для активной и квар·ч для реактивной энергии. Дисплей располагает восемью позициями, где шесть цифр отображают целую часть расхода, а две после запятой - доли, чтоб обеспечить точность информации до

сотых долей. Потребитель может получить данные о потреблении напрямую с экрана или же через уже установленный коммуникационный интерфейс.

«При передаче активной энергии в прямом направлении фазовые углы сдвига между током и напряжением находятся в диапазоне от 0 до 90 градусов и от 270 до 360 градусов, в то время как для передачи реактивной энергии эти углы составляют от 0 до 90 градусов и от 90 до 180 градусов. В случае обратного направления передачи, активная энергия имеет фазовые углы сдвига от 90 до 180 градусов и от 180 до 270 градусов, а для реактивной энергии – от 180 до 270 градусов и от 270 до 360 градусов» [14].

«В серии счетчиков электроэнергии «Меркурий-230», выбор пал на модель «Меркурий 230AR-01CL», где: 230 – серия, однонаправленный; А – учет активной энергии; R – учет реактивной энергии; 01 – класс точности; С – наличие встроенного интерфейса CAN; L – наличие встроенного интерфейса PLC» [14].

Внешний вид электросчетчика показаны на рисунке 9.



Рисунок 9 – Счетчик электрической энергии «Меркурий 230AR-01CL»

«Основные функциональные возможности:

- регистрация активной и реактивной электроэнергии по четырем возможным тарифам;
- фиксация среднего значения силы переменного тока;
- регистрация нарастающего итога активной, реактивной, полной мощности;
- регистрация $\cos\varphi$ и частоты переменного тока» [14].

«Измерительное устройство «Меркурий 230AR-01CL», выполняющее функции сложного электронного прибора, требует детальной настройки для полноценного использования его возможностей, что достигается через применение сопутствующего программного обеспечения для конфигурации параметров.

Чтобы начать взаимодействие с счетчиками, на ПК должен быть установлен «Универсальный конфигуратор», который можно бесплатно загрузить с официального сайта изготовителя» [14].

Для подключения компьютера к измерительному аппарату, применяется соединительный USB-кабель. Активация программного обеспечения на ПК приводит к отображению ее интерфейса на мониторе, как это демонстрируется на рисунке 10.

«Настройка программы учета электроэнергии начинается с определения модели электронного учетного устройства на странице выбора устройства. Далее, в специализированном поле для конфигурации, вводится уникальный сетевой идентификатор устройства, который по умолчанию совпадает с последними тремя числами серийного номера изготовленного измерительного инструмента. В исключительных ситуациях, когда серийный номер оборудования оканчивается на три нуля, используется предустановленное значение идентификатора, равное единице» [17].

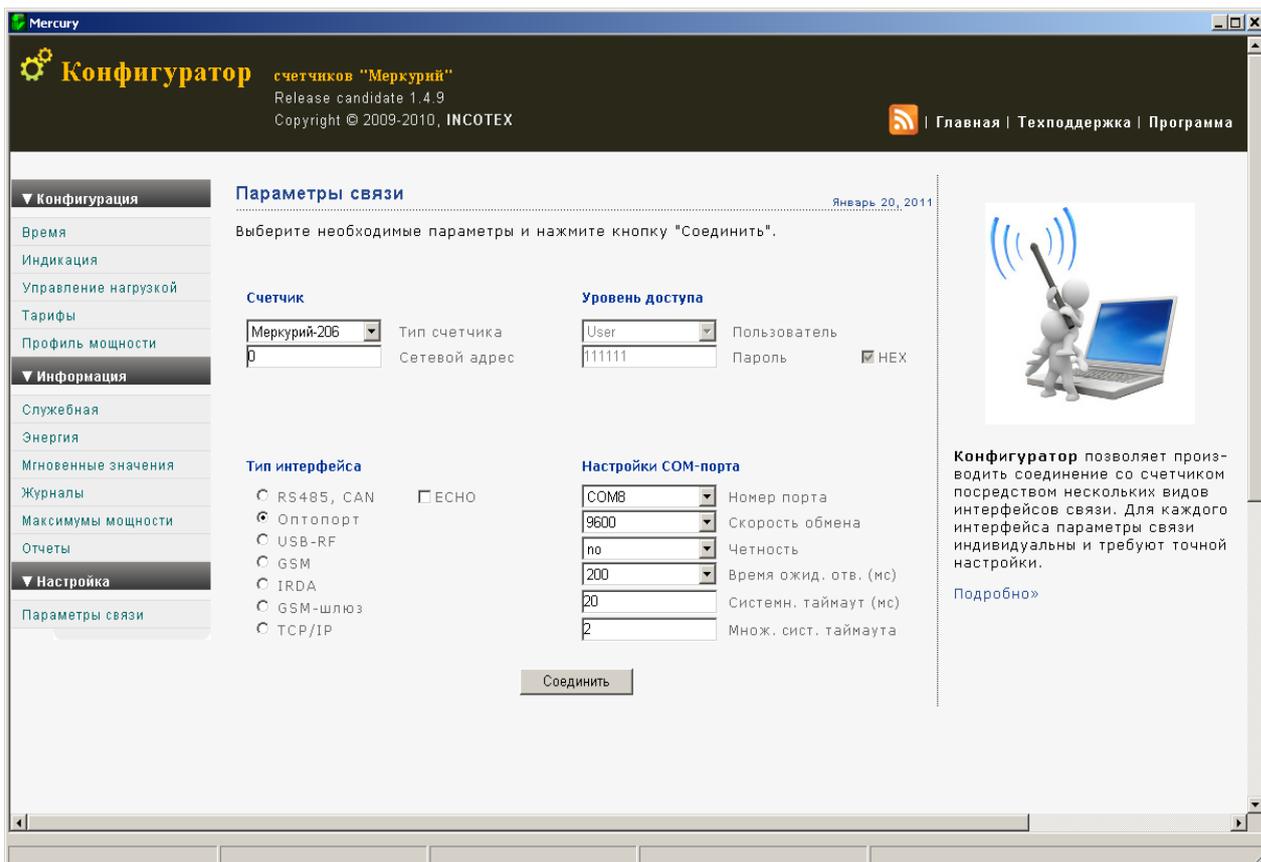


Рисунок 10 – Главная страница конфигуратора счетчика

«Затем заполняется поле «Уровень доступа». Заводскими настройками являются:

- для уровня «User» пароль «111111»;
- для уровня «Admin» пароль «222222».

Чтобы улучшить защиту устройства и предотвратить несанкционированный сетевой доступ, необходимо менять предустановленные производителем пароли» [17].

«Затем происходит заполнение поля, обозначающего «Тип интерфейса». В большинстве случаев используются интерфейсы RS485 и CAN» [17]. Далее настраиваются параметры порта на компьютере:

- выбирается номер порта;
- выбирается скорость обмена информацией;
- время ожидания отклика и системный таймаут и др.

«По завершении заполнения всех разделов интерфейса программы активируется команда «Соединить», расположенная в нижнем сегменте рабочего окна. В процессе синхронизации ПК с учетным прибором для электроэнергии автоматически открывается раздел «Служебная информация» (рисунок 11), предоставляющий доступ к данным об устройстве электросчетчика, включая:

- наименование программного обеспечения (ПО);
- идентификационное наименование ПО;
- номер версии ПО;
- цифровой идентификатор ПО;
- модель электросчетчика;
- заводской номер электросчетчика;
- дата ввода счетчика в эксплуатацию и др.» [14, 17].

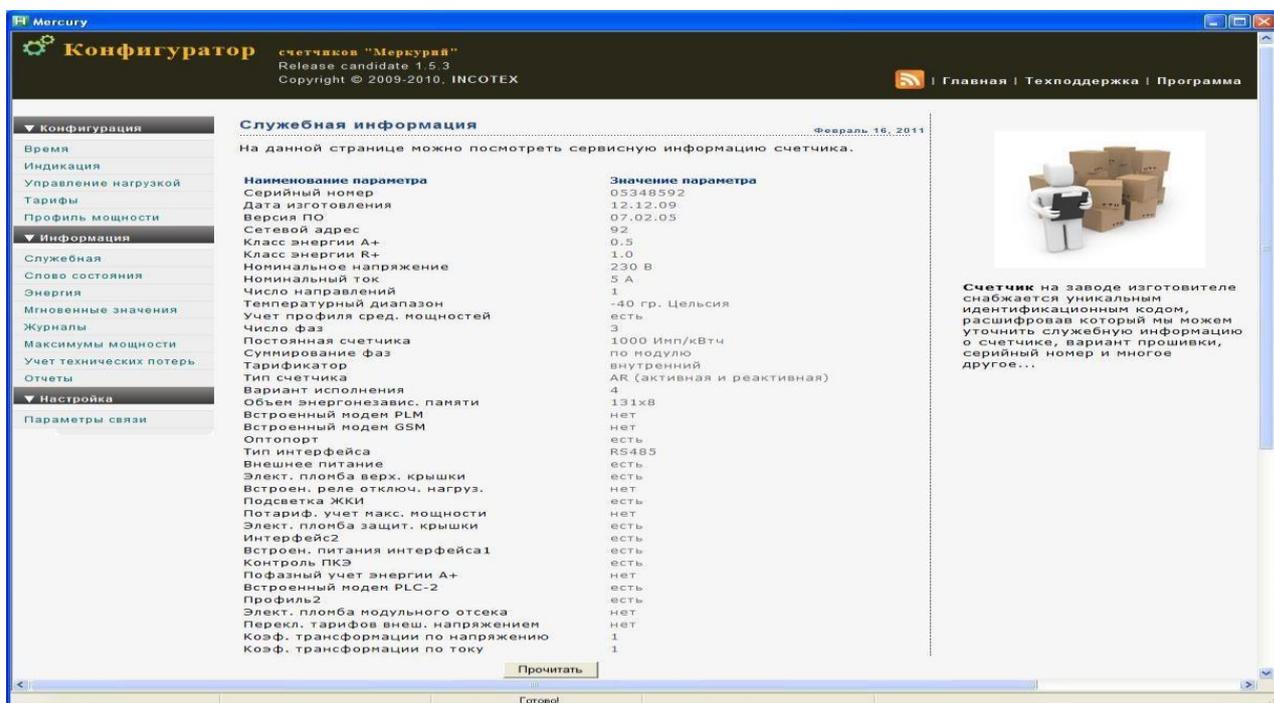


Рисунок 11 – Вкладка «Служебная носитель информации»

«Модель счетчиков электроэнергии «Меркурий 230AR-01CL» поддерживает множество вариантов монтажа в электросеть:

- прямое подключение – используется для непосредственного определения потребления электричества в отдельных квартирах (рисунок 12);
- с использованием трех токовых трансформаторов – применение в общедомовых входных электросчетчиках (рисунок 13);
- с использованием как тока, так и напряжения трансформаторов, в количестве от двух до трех единиц каждого типа» [17].

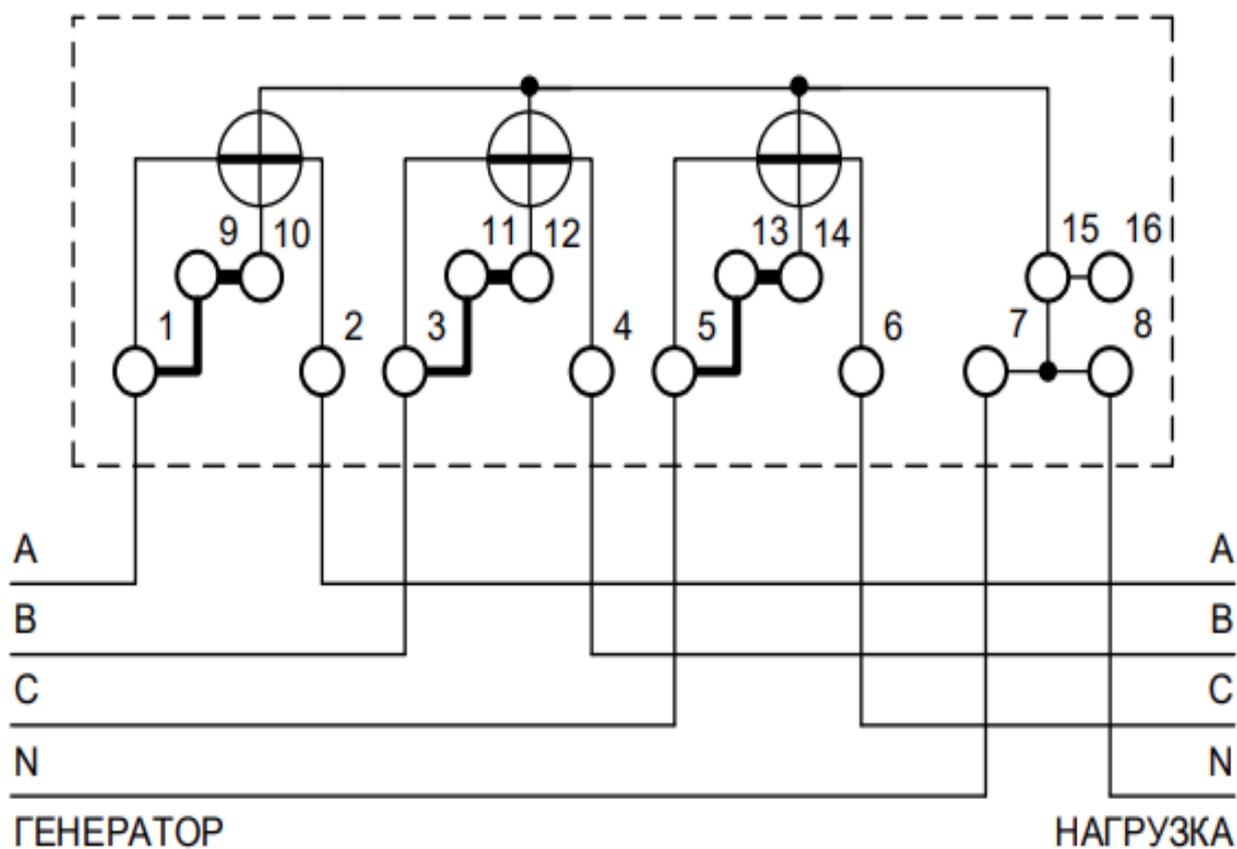


Рисунок 12 – Схема непосредственного (прямого) макровключения счетчика

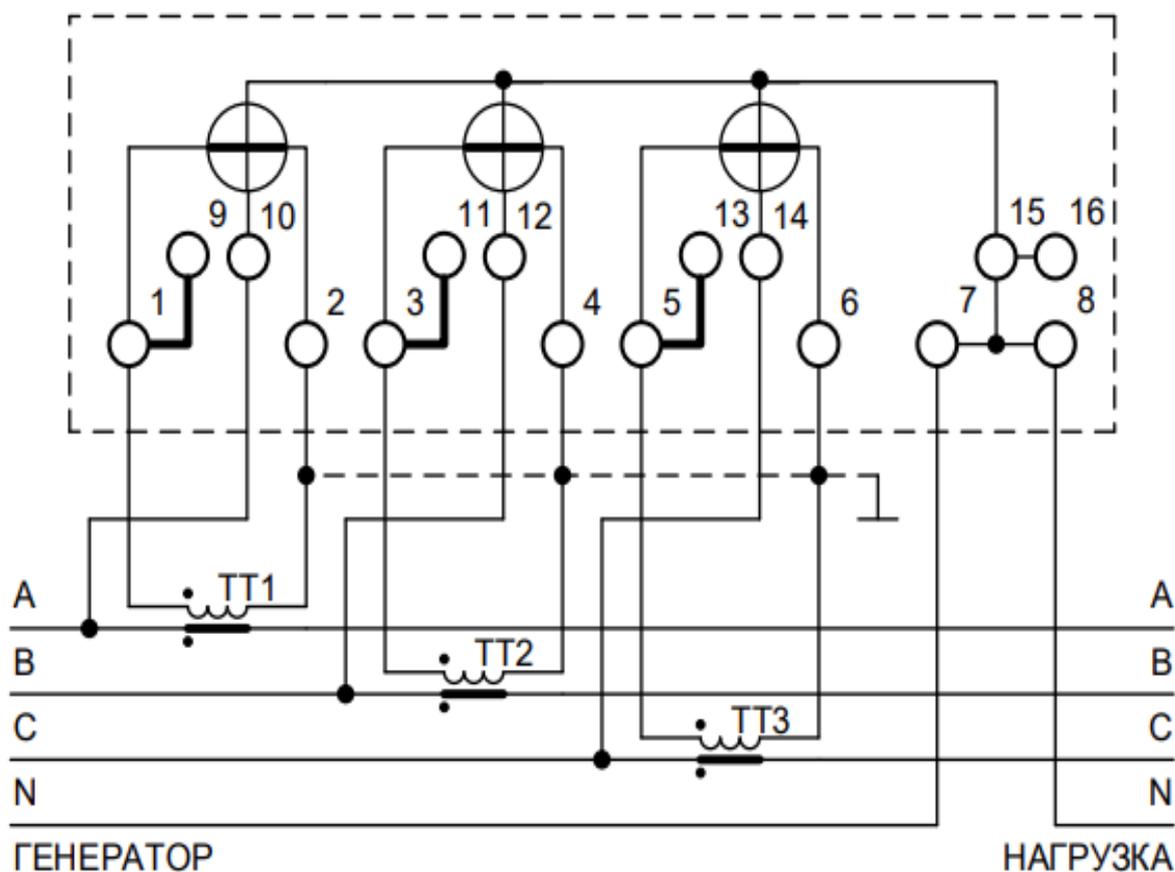


Рисунок 13 – Схема включения электросчетчика с помощью три трансформаторов тока

«Вводно-распределительные устройства серии ВРУ1-23-56 класса защиты УХЛ4, применяемые в объектах жилищно-коммунального и общественного назначения, обеспечивают прием, распределение электроэнергии и ее учет при рабочем напряжении 380/220 В (номинальный ток 250 А, без интегрированного электросчетчика)» [2] (рисунок 14).



Рисунок 14 – Вводно-распределительное устройство ВРУ1-23-56-УХЛ4

Идентификация ВРУ охватывает несколько ключевых аспектов:

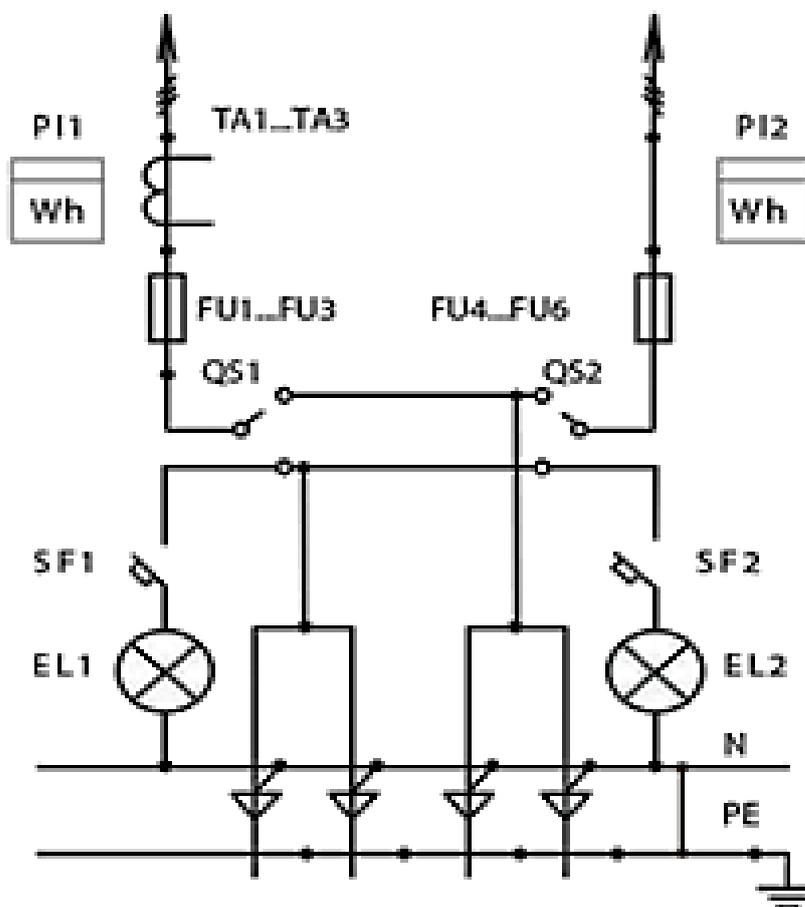
- обозначение используемого типа (марки) ВРУ;
- данные о встроенном модуле для ручного регулирования осветительных приборов;
- атрибуты панелей: они разработаны для передачи и равномерного распределения электроэнергии, созданы с возможностью напольного размещения и предназначены для обслуживания с одной стороны;
- присутствие входного автоматического выключателя с рабочим током на 250 ампер;

«Особенности конструктивного исполнения:

- степень защиты по ГОСТ 14254-96: IP-31;
- ввод питающих кабелей производится снизу;
- для трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью;
- для защиты линий при перегрузках и коротких замыканиях;

– для коммутации входящей линии питания». [19]

Принципиальная блок-схема ВРУ показана на рисунке 15.



Токовые трансформаторы с обозначениями от ТА1 до ТА3 имеют параметры обмоток в пределах 50/5 до 250/5 ампер; Плавкие предохранители с маркировками от FU1 до FU6 относятся к серии ППН35 и используются для защиты цепей с токами от 16 до 250 ампер; Коды PI1 и PI2 отведены для приборов учета электроэнергии, например счетчиков; QS1 и QS2 обозначают коммутационные аппараты, рассчитанные на ток в 250 ампер; Обозначения SF1 и SF2 используются для механических разъединителей; EL1 и EL2 указывают на светильники и другие осветительные устройства.

Рисунок 15 – Принципиальная схема ВРУ

Этажные распределительные щиты играют важную роль в доставке электроэнергии прямо в квартиры и офисы. Для таких нужд хорошо подходит модель ЩЭУГ 2-4×40Д(100)/Сч/5/2 УХЛ4, что демонстрируется на рисунках 16 и 17.



Рисунок 16 – Щиток этажный ЩЭУГ 2-4×40Д(100)/Сч/5/2 УХЛ4

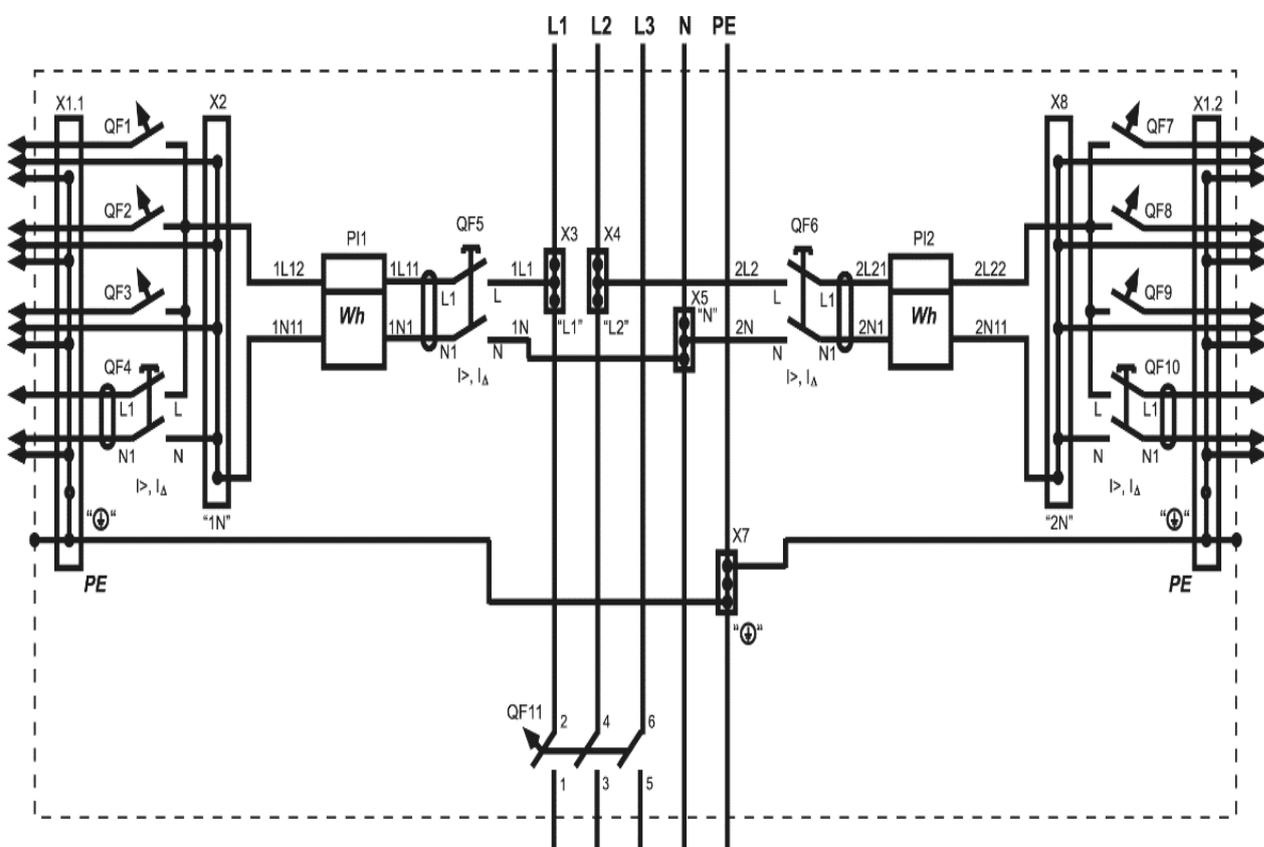


Рисунок 17 – Щиток этажный – схема электрическая принципиальная

«Параметры и мощность устройств в цепях общего пользования на жилое помещение составляют 2 устройства на 16 А и 1 – на 25 А, плюс одно устройство защитного отключения на 16 А. Электросхема обозначена как №6.

Особенности конструкции щитка этажного ЩЭУГ 2-4×40Д(100)/Сч/5/2 УХЛ4» [20].

Этажный электрический шкаф с однофазным исполнением, объединяющий функции учета, распределения и группового управления, оснащенный дополнительной секцией для размещения слаботочных устройств, предназначен для монтажа в специально отведенные для этого углубления конструкций здания. «В его силовой части предусмотрена возможность установки до 60 однополюсных аппаратов защиты. Эта система расчета и распределения электроэнергии может обслуживать от 2 до 4 квартир, обеспечивая их необходимым электроснабжением» [18].

Конструкция обеспечивает:

- «подключение к проводам стояка питающей сети сечением до 70 мм²» [11, 16];
- «вывод отходящих проводников скрытой проводки сечением от 1,5 до 16 мм²» [11, 16];
- «степень защиты – IP-31» [11, 16];
- «щиток включает в себя специализированную секцию для установки оборудования телефонной связи, радиовещательных и телевизионных систем» [11, 16];
- «щитки, встраиваемые в нишу, имеют обрамления, закрывающие края ниш» [11, 16];
- «встраиваемый элемент щитков выполняет функцию пропускания проводов питающей сети (стояка) и их подключения к самим щиткам» [11, 16];
- «в конструкции распределительных щитов заложена возможность установки вводных внешних кабелей и обеспечения их удобной фиксации к оборудованию и контактными зажимам» [11, 16];

- «в конструкции щитов предусмотрены двери, которые открываются под определённым углом, гарантируя достаточно удобный доступ к оборудованию для его установки и технического обслуживания, при этом этот угол составляет не менее 95° » [11, 16];
- «за дверью распределительного щита находится монтажная панель, содержащая элементы управления аппаратуры, которая в комплексе с остальными конструкционными деталями щита предотвращает доступ к его электропроводящим компонентам» [11, 16];
- «двери электрических щитов блокируются ключом; для доступа к оборудованию, отвечающему за распределение электроэнергии и защиту цепей внутри учетно-распределительных щитов, предусмотрена специальная дверца, закрываемая без ключа, обеспечивающая доступ к управляющим элементам вводных устройств жилищ и защитных механизмов для групповых линий» [11, 16];
- «дверные элементы, оборудованные механизмами блокировки без использования ключа, оснащены устройствами, предотвращающими их несанкционированное раскрытие» [11, 16];
- «в распределительных щитах предусмотрен отсек низкого напряжения, предназначенный для установки аппаратуры связи, включая телефонную, радиовещательную, телевидение и другие системы передачи данных. Этот отсек физически изолирован от отделения высокого напряжения посредством непрерывных металлических барьеров, что обеспечивает эффективную защиту от электромагнитных помех и служит превентивной мерой против возгораний» [11, 16];
- «слаботочный отсек имеет отдельную дверцу, запираемую на ключ с собственным секретом» [11, 16];
- «в распределительных щитках с установленными электросчетчиками для предотвращения несанкционированного

доступа к участкам электросети, простирающимся от точки подключения щитка до самого счетчика, интегрируются специальные конструктивные решения, обеспечивающие возможность пломбирования данных элементов как в одной, так и, при необходимости, в нескольких локациях» [11, 16];

- «в дверцах распределительных щитов с электросчётчиками встроены прозрачные окошки, предназначенные для визуального контроля и записи показаний приборов учета» [11, 16];
- «конструкция щитков обеспечивает без их демонтажа возможность замены аппаратов и счетчиков» [11, 16];
- «в устройствах распределения электроэнергии, таких как учетно-распределительно-групповые щиты, реализована систематизация маркировки защитных устройств, относящихся к групповым электрическим цепям, посредством использования серийных номеров для каждого жилого помещения. Конструкция этих устройств включает специально выделенные зоны для занесения информации о назначении каждого защитного аппарата. Данные маркировки могут быть аккуратно оформлены в виде таблиц, которые, в свою очередь, удобно располагаются на внутренних поверхностях дверей щитов, обеспечивая легкость в идентификации и последующем обслуживании» [11, 16];
- «клеммы для подключения проводов в электрическую сеть предназначены для соединения как медных, так и алюминиевых проводов, включая однопроволочные и многожильные варианты, без необходимости их предварительного разделения на части» [11, 16];
- «каждый нулевой рабочий проводник N и нулевой защитный проводник PE оборудованы индивидуальным клеммником» [11, 16];
- «клеммы нейтральных рабочих проводов (N) защищены от электропроводящего корпуса подобно фазным проводникам, в то

время как клеммы нейтральных защитных проводов (РЕ) находятся в электрическом контакте с корпусом» [11, 16].

В заключении можно отметить, что современные здания оборудованы продвинутыми системами контроля и защиты электросетей для безопасной работы электрических приборов:

- устройство ВРУ1-23-56-УХЛ4 обеспечивает безопасное распределение электроэнергии и защищено автоматами от перегрузок и коротких замыканий;
- многофункциональная панель ЩЭУГ 2-4×40Д(100)/Сч/5/2 УХЛ4 является узлом управления электроснабжением, оснащенной счетчиками и элементами защиты;
- счетчик «Меркурий 230AR-01CL» обеспечивает точный учет потребляемой энергии и возможность удаленного мониторинга;
- устройство защитного отключения УЗО-22-16-2-030 увеличивает безопасность, мгновенно реагируя на утечки тока.

5.3 Электросеть распределительная и групповая

Этажные щиты электроснабжения оснащаются рядом важных элементов для измерения используемого электричества и обеспечения безопасности:

- счетчики электроэнергии служат для точного учета расхода тока;
- автоматические выключатели обеспечивают защиту электрических цепей путем автоматического отключения в случае перегрузок или коротких замыканий;
- устройства защитного отключения (УЗО) предупреждают риск поражения электрическим током, быстро реагируя на утечки тока в заземление.

Каждому выключателю в распределительном щите присваивается уникальная группа электролиний — например, для осветительных приборов, электрических розеток или для работы кухонной аппаратуры. Такая

систематизация обеспечивает точечное управление и индивидуальную защиту для каждой категории линий.

«В помещениях, где размещены механизмы лифтов, монтируются розетки для подсоединения лифтового низковольтного комплектного оборудования.

Элементы освещения, такие как светильники, переключатели и розетки, устанавливаются по завершении работ по отделке помещений» [16]. Для прокладки кабеля дверного звонка используется кабель типа ВВГнг(LS) с сечением жил $2 \times 1,5 \text{ мм}^2$, который обладает свойством не поддерживать горение. Схема подключения звонка и распределение электроэнергии по квартире подробно представлены на электрических схемах рисунок 18 и 19.

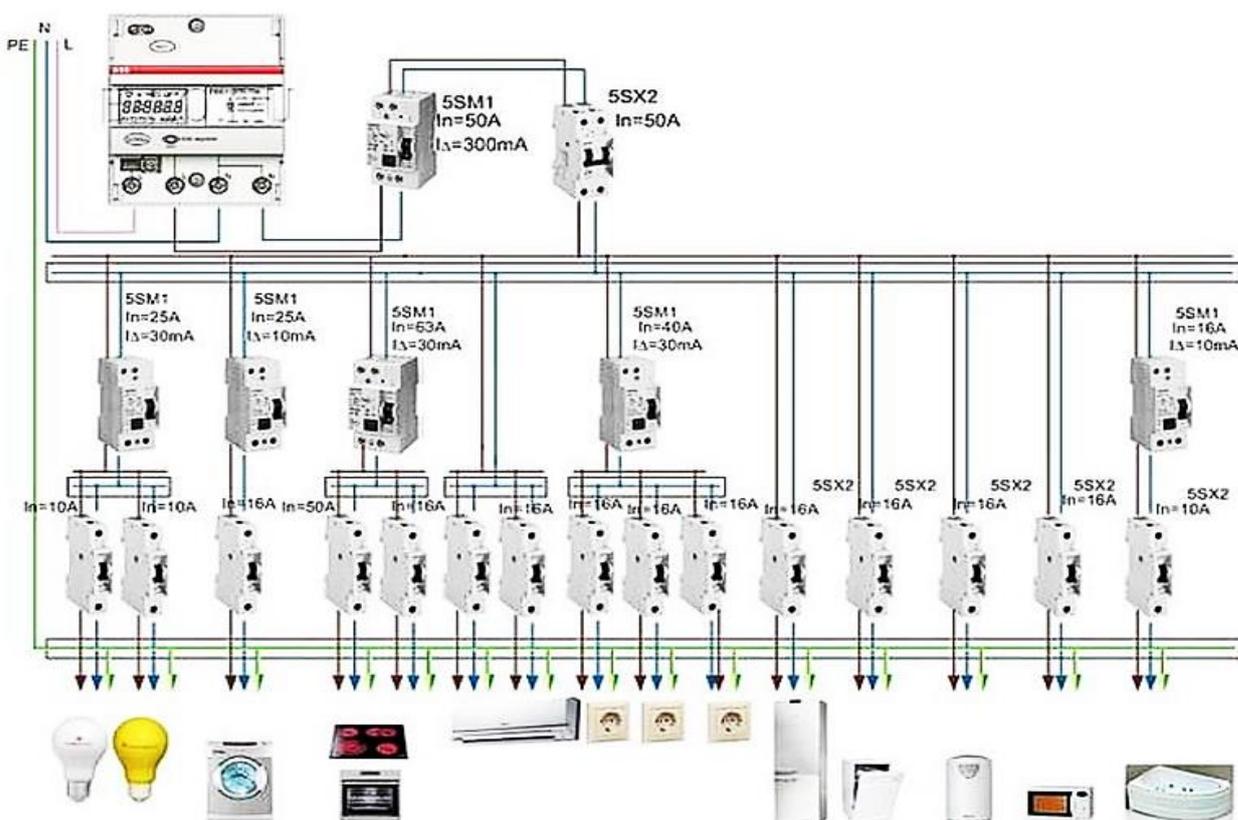


Рисунок 18 – Пример включения квартирных электропотребителей к подъездному распределительному устройству

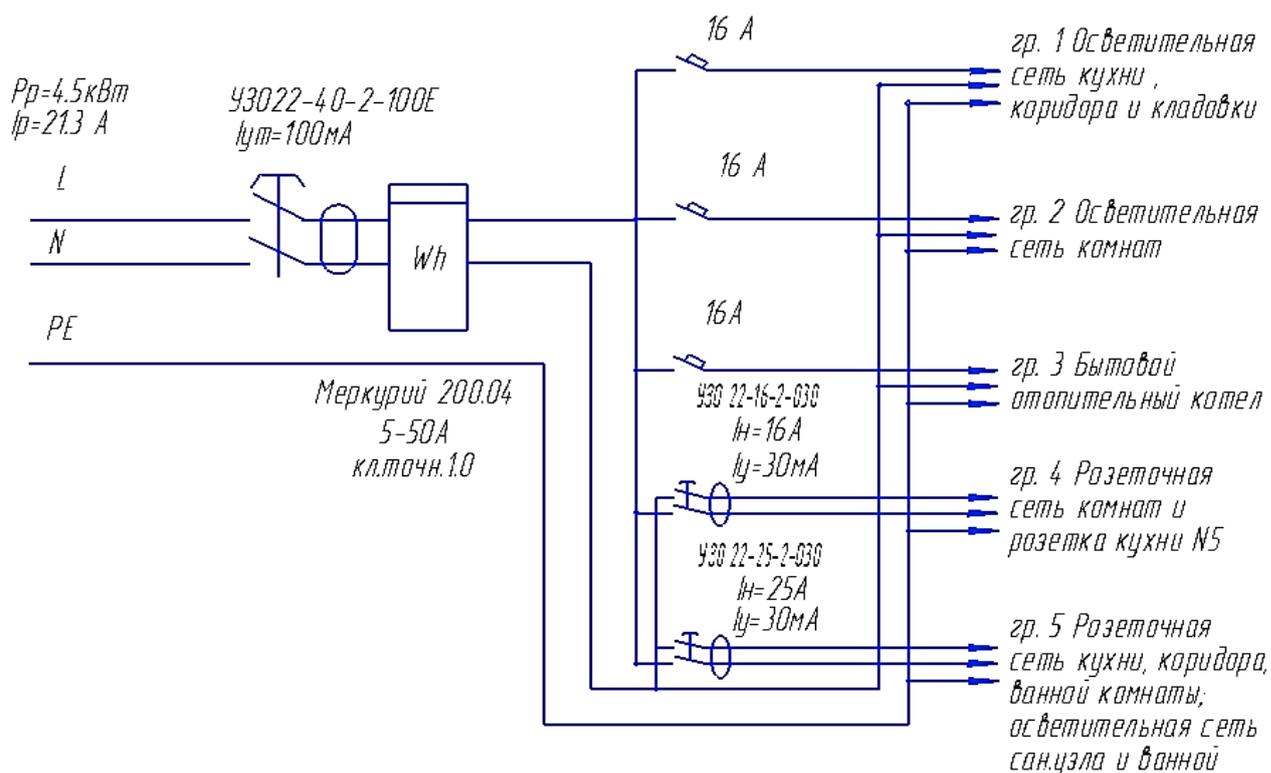


Рисунок 19 – Схема электроснабжения квартиры

«Назначение групповых линий квартиры с указанием выбранных кабельных линий:

- гр. 1 – осветительная сеть кухни, коридора и кладовки – ВВГнг сечением $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$;
- гр. 2 – осветительная сеть комнат – ВВГнг сечением $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$;
- гр. 3 – духовой шкаф – ВВГнг сечением $3 \times 4,0 \text{ мм}^2$;
- гр. 4 – розеточная сеть комнат и розетка кухни N5 – ВВГнг сечением $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$;
- гр. 5 включает в себя освещение санитарных помещений и ванной комнаты, а также розеточные сети кухни, коридора и ванной комнаты. Для этих целей используется кабель ВВГнг с сечением жил $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$.

Назначение розеток в квартире:

- N1 – воздухоочиститель $h = 2,3 \text{ м}$ (на 1-ом этаже $h = 1,1 \text{ м}$);
- N2 – бытовые приборы мощностью до 2,2 кВт (2 шт.), $h = 1,1 \text{ м}$;

- N3 – электророзжиг плиты $h = 0,2$ м;
- N4 – холодильник $h = 0,3$ м;
- N5 – телевизор, компьютер $h = 0,3$ м;
- N6 – духовой шкаф $h = 0,2$ м;
- N7 – розетка в ванной комнате $h = 1,1$ м.

Высота установки от пола:

- выключателей – 0,8 м;
- штепсельных розеток в комнатах и прихожих – 0,3 м» [21].

В жилых помещениях осветительные системы часто обустраивают, используя негорючий кабельный продукт ВВГнг, который способствует повышению пожарной безопасности. Такие кабели типично монтируют внутрь стен под защитным слоем отделки, пропускают сквозь предусмотренные отверстия в перекрытиях, а также прокладываются через пол и потолок. Архитектурные проекты зданий включают в себя детализированную схему расположения источников света и вспомогательных элементов осветительной системы.

Для подключения светильников к электросети используют горизонтальные кабельные короба, которые ведут провода к вертикальным распределительным шахтам. Внутри стен рядом с лестничными маршами заранее делают каналы для вертикальной прокладки кабелей.

В домах распределительные кабели кладут наружным путем или прячут в технических зазорах под стенами и потолком, чтобы к ним легко можно было добраться для ремонта или техобслуживания.

Электроснабжение современных зданий включает множество особых электрических проводов и кабелей для разных нужд. Вот дополнительные детали о каждом из ключевых элементов системы:

- коридорное освещение: используются светодиодные лампы с высоким КПД и низким потреблением энергии, что позволяет сократить расходы на электричество и обеспечить достаточное освещение на всех этажах;

- подключение ТВ усилителей: кабели обладают высокой пропускной способностью, чтобы обеспечить качественный телевизионный сигнал даже в удаленных уголках здания;
- лифтовые шахты: освещение обеспечивается долговечными лампами, рассчитанными на постоянную эксплуатацию, а система аварийного питания гарантирует их работу в случае отключения основного источника питания;
- лестничные клетки: светильники здесь устойчивы к механическим воздействиям и оснащены автоматикой для реагирования на движение, что позволяет снизить энергопотребление;
- техническое подземное пространство: здесь используются лампы с повышенной степенью защиты от пыли и влаги, так как эти помещения часто подвергаются воздействию неблагоприятных условий;
- комната электрощитов: Осветительные устройства здесь интегрированы с системой автоматического контроля, что позволяет обеспечить сбалансированное освещение в соответствии с рабочими требованиями;
- аварийное освещение: система оснащена батареями для бесперебойной работы и автоматически активируется при сбоях в электроснабжении, обеспечивая безопасность на путях эвакуации;
- зоны с электрощитами и механические помещения: Защищены системами аварийного освещения и специальными кабелями, рассчитанными на работу в условиях повышенной влажности и температуры;
- системы отопления и водосчетчики: питание для контроллера отопления и водных счетчиков осуществляется через отдельные кабельные линии с возможностью дистанционного управления и мониторинга, что повышает эффективность управления ресурсами.

Каждая из этих зон спроектирована с учетом специфических требований и стандартов безопасности, что обеспечивает надежную и эффективную работу системы электроснабжения в здании. Принципиальная схема групповой сети показана рисунке 20.

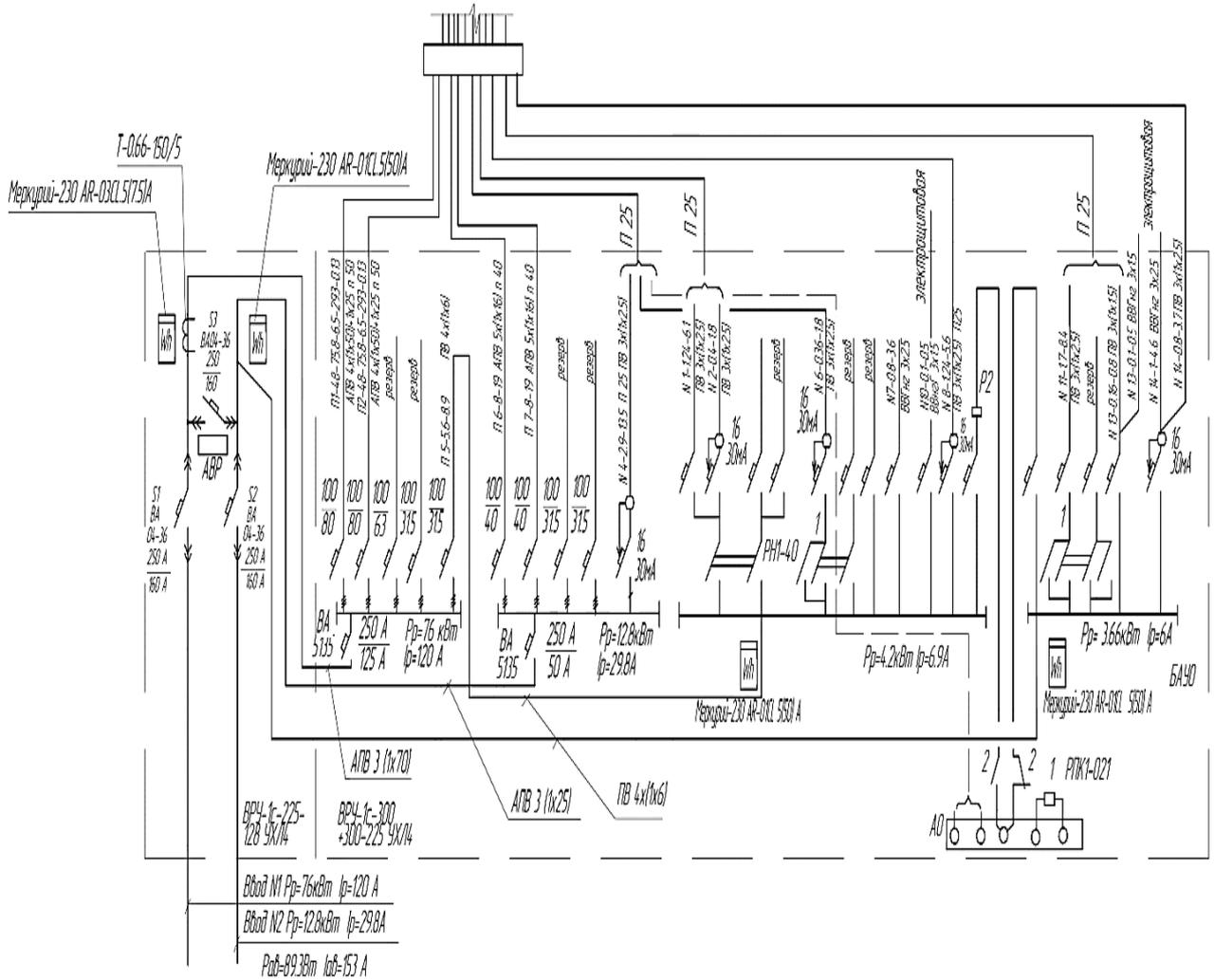


Рисунок 20 – Принципиальная схема групповой сети

Вывод по разделу.

Чтобы обеспечить надежную защиту от токовых аварий в секциях №№ 4, 2, 6, 8, 14, следует монтировать устройства защитного отключения марки УЗО-22-16-2-030. Данные устройства характеризуются ключевыми параметрами: рабочий ток составляет 16 ампер, а ток утечки - 30 миллиампер.

В электрическую сеть здания производится распределение посредством алюминиевых проводников типа АПВ, которые защищены внешней ПВХ-изоляцией. Линии получают питание через стойку группы №4 с помощью кабеля ВВГнг с негорючей оболочкой и токопроводящими жилами сечением $3 \times 2,5$ мм², что гарантирует безопасность и стабильность электроснабжения.

5.4 Электроосвещение

При проектировании систем искусственного освещения для использования в многоквартирных жилищных комплексах ключевым руководством служит стандарт СП 256.1325800.2016 [13]. Упомянутый регламент определяет базовые уровни освещенности для различных типов помещений, обеспечивая достаточность света для комфорта и безопасности жильцов.

Подсветка технических зон, таких как электрощитовая, помещение лифтового оборудования, вентиляционные комнаты и другие служебные пространства, должна достигать отметки в 30 люкс.

Для маршрутов в технических подпольях, чердачных помещениях и подвалах устанавливается норма освещения в 10 люкс.

Лестничные клетки и межкомнатные коридоры должны освещаться с силой света в 10 люкс.

Зона входа в лифт обязана иметь освещение не менее 20 люкс.

Шахты лифтов можно освещать светом силой в 5 люкс для обеспечения минимального уровня видимости и безопасности.

Автоматизация освещения в подъездах и у входов жилых комплексов осуществляется благодаря внедрению фотоэлектрического реле. Данное фотореле интегрировано в конструкцию щита учета и распределения электроэнергии, что подтверждает рисунок 21. Для повышения удобства использования осветительных систем на каждом этаже монтируются

времязадающие автоматические выключатели модели АВ-01, облегчая повседневное пользование освещением.

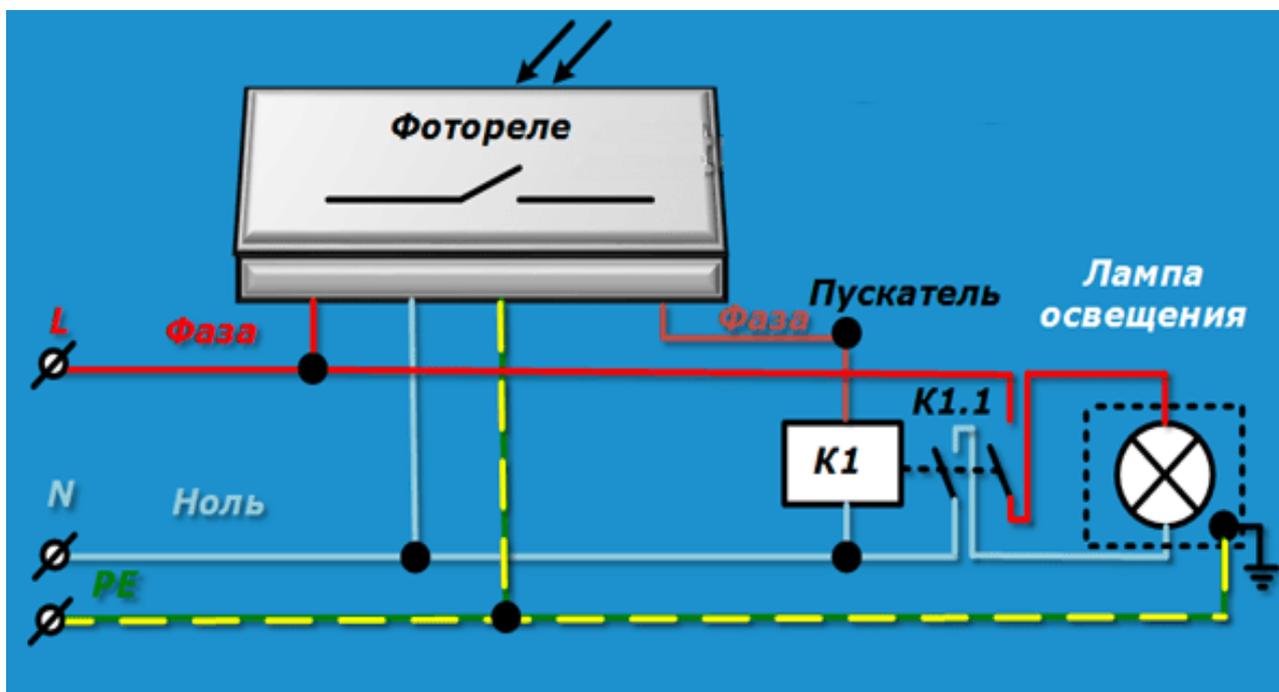


Рисунок 21 – Схема включения лампы освещения подъезда через фотореле и пускатель (контактор)

«Для повышения эффективности снижения энергопотребления рекомендуется применять осветительные устройства, оборудованные модулями для обнаружения движения (рисунок 22). Принцип экономии заключается в активации освещения исключительно в моменты присутствия людей в определенных зонах, таких как подъезды или зоны у лифтов, что подтверждается источником» [15]. С учетом цены, качества и продолжительности работы, светодиодные лампы являются самым экономически выгодным выбором.

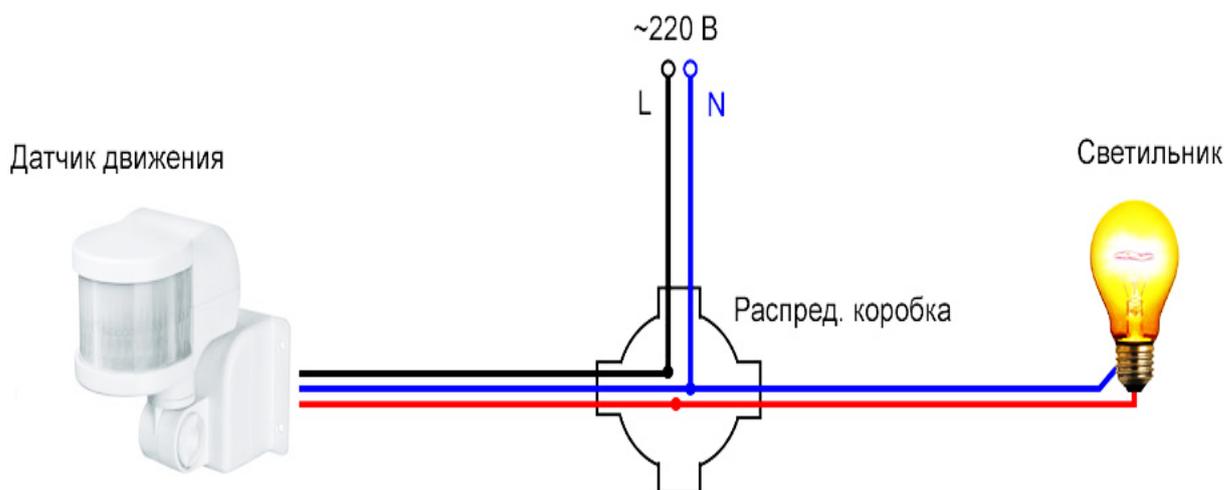


Рисунок 22 – Схема включения светильника с индивидуальным датчиком движения

«В настоящее время рынок освещения предлагает обширный ассортимент фонарей с датчиками движения, отличающихся производителем, размером, формой и адаптированных для разнообразных условий применения, позволяя пользователю выбрать оптимальный вариант. Особенностью всех моделей является единый механизм функционирования» [16].

Детализируя упомянутые стратегии снижения энергопотребления:

- энергоэффективность класса А+: в коридорах устанавливаются лампы с самым высоким классом энергосбережения А+. Эти лампы потребляют меньше электричества и имеют более длительный срок службы по сравнению с традиционными осветительными приборами. Светодиоды, используемые в таких лампах, не только снижают потребление энергии, но и дают мягкий, равномерный свет, который меньше утомляет глаза;
- интеллектуальное управление освещением: системы автоматизации включают в себя датчики движения, которые активируют освещение при появлении людей в зоне детектирования и выключают его при отсутствии активности. Сенсорные устройства могут регулировать интенсивность света в зависимости от естественного освещения, таким образом, днём свет будет тусклее, если в помещении

достаточно солнечного света. Видеосенсоры способны анализировать видеопоток в реальном времени, детектируя изменения и адаптируя освещение в ответ на конкретные ситуации.

Обе эти технологии вместе создают систему, оптимизирующую использование энергии, повышая эффективность электроснабжения здания и способствующую созданию более устойчивого и экологически чистого жилья.

5.5 Электробезопасность

«Каждый металлический компонент электроприборов, не участвующий в проведении электрического тока, должен быть электрически связан с землей через металлическую связь с защитным нулевым проводником электросети» [16].

Системы управления общим освещением и сетью розеток созданы по однофазной схеме с применением кабеля с тремя жилами. В этом кабеле есть одна жила для заземления, которая соединяется с коммутационным оборудованием, находящимся на различных этажах здания.

В системах распределения электроэнергии используются трехфазные, пятипроводные магистрали, где вдобавок к трем фазным линиям и общему нейтральному проводнику предусматривается отдельный провод заземления. Эта конфигурация начинается непосредственно от распределительной панели.

«Для достижения равномерности электрических потенциалов в электрическом щите устанавливают главную заземляющую шину (ГЗШ). В подполе пролегает главная магистраль заземления, которая функционирует как продолжение ГЗШ. К этой системе подключаются все металлические коммуникации, поступающие в здание, включая системы водоснабжения и отопления, а также заземлители для повторного заземления нейтрального проводника. Для соединений применяется стальная полоса с поперечным сечением 25×4 мм. И ГЗШ, и главная заземляющая магистраль изготавливаются из стальной ленты размером 8×50 мм.

В электрических щитах распределительных устройств, щитах управления и защиты, а также в распределительных устройствах лифтов монтируются шины РЕ из меди марки ПМТ с размером сечения 3×16 мм. Детализированная схема для обеспечения равенства потенциалов представлена на рисунке 23.

В помещениях с повышенной влажностью, таких как ванные комнаты, требуется реализация комплексной системы уравнивания потенциалов. Эта система включает в себя подключение всех внешних проводниковых элементов (рисунок 24 и 25). Для осуществления таких соединений используется кабель типа ВВГнг с сечением жилы 1×4 мм². В начале системы устанавливается специализированное устройство для реализации дополнительного заземления нейтрального провода» [16].

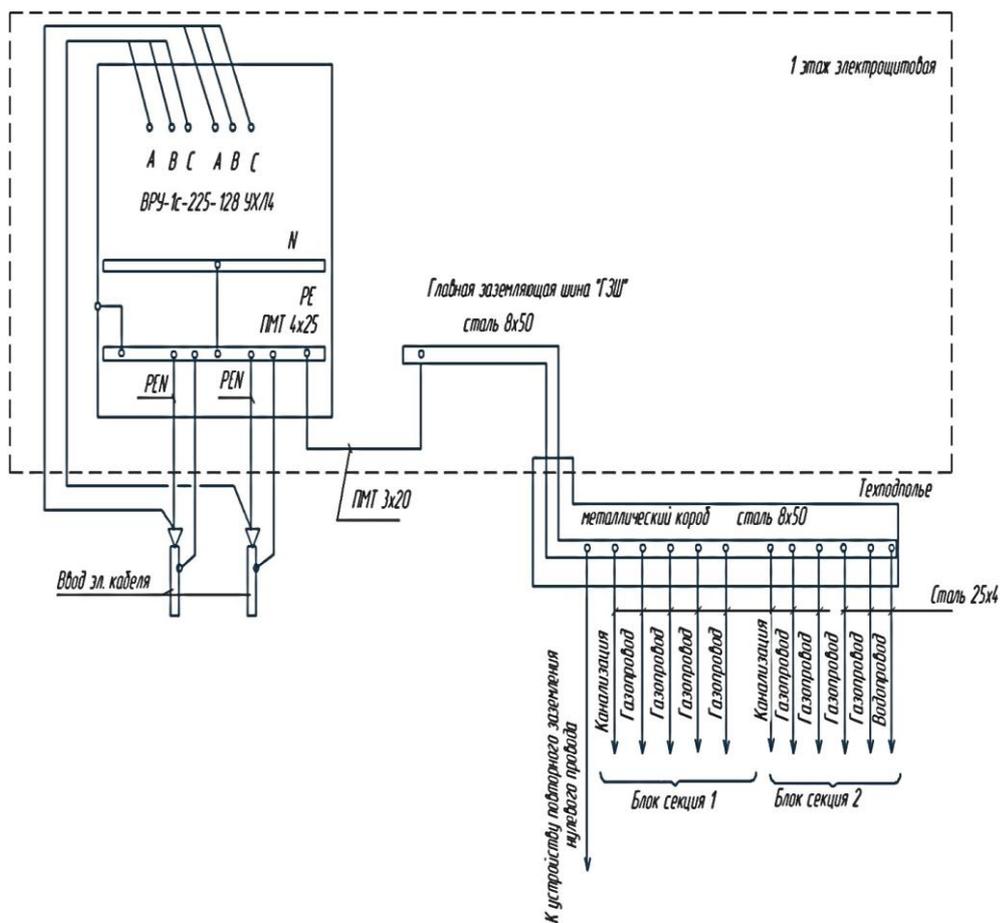


Рисунок 23 – Схема основной системы уравнивания потенциалов

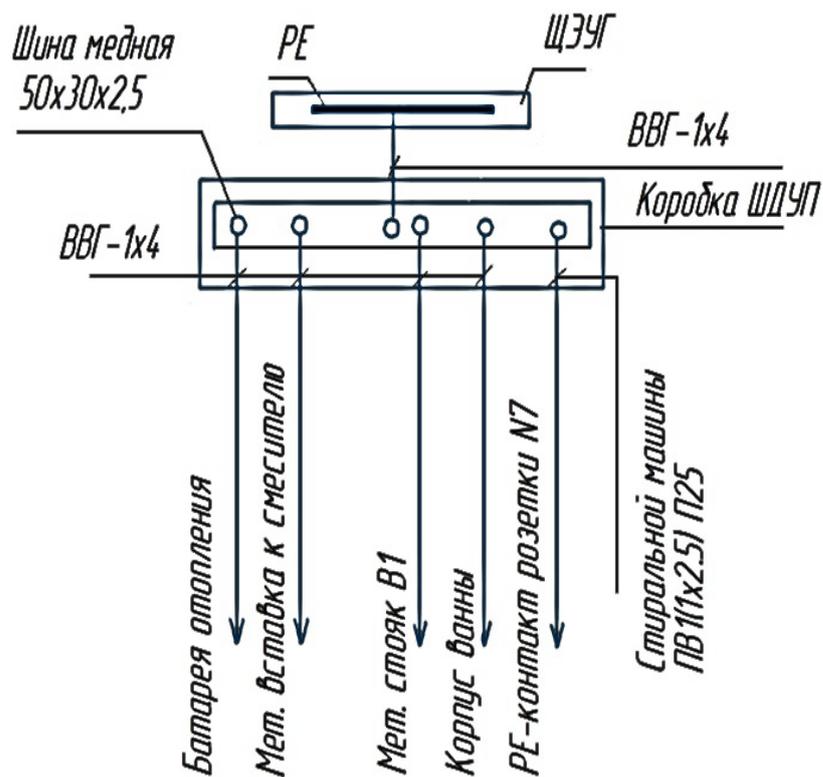


Рисунок 24 – Схема №1 дополнительной системы уравнивания потенциалов
ванных комнат

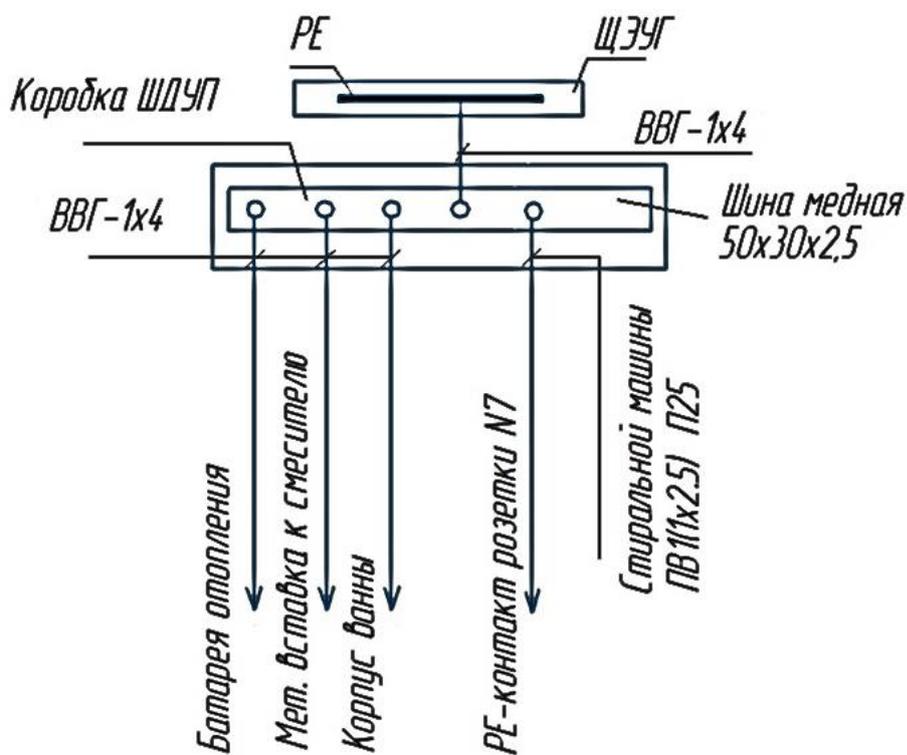


Рисунок 25 – Схема №2 добавочной системы уравнивания потенциалов
ванных комнат

Вывод по разделу.

Электробезопасность - это важное понятие в области электротехники, которое означает соблюдение мер и правил для обеспечения безопасности людей при работе с электрическим оборудованием и электрическими сетями. Соблюдение электробезопасности необходимо как для профессионалов, работающих с электротехникой, так и для обычных пользователей, которые могут столкнуться с опасными ситуациями. В данной разработке особое внимание уделяется обеспечению электробезопасности для жильцов. Все неактивные металлические элементы электрических устройств подключены к земле через металлическую связь с защитным заземляющим проводником энергосистемы. Проект включает в себя как первичную, так и вторичную системы уравнивания потенциалов для обеспечения дополнительной безопасности в помещениях с высокой влажностью.

6 Экономическое обоснование принятых решений

6.1 Расчет затрат на основные и вспомогательные материалы

При установке системы электроснабжения, важно учесть все расходы, связанные с планированием и реализацией данных задач.

В ходе выполнения электротехнических работ организации, специализирующейся на электромонтаже, обязательно следует руководствоваться нормативным документом – Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года №903н, который устанавливает Правила по обеспечению безопасных условий труда при работе с электроустановками.

Согласно НЦС 81-02-01-2024 (Укрупненные нормативы цены строительства Сборник №01 Жилые здания) [8]:

Трансформаторная подстанция:

- материалы и оборудование на ЭМР и СМР: $C_{\text{ЭМР/СМР}} = 51129$ руб;
- материалы, не учтенные расценками: $C_{\text{неучт}} = 56759$ руб;
- оборудование: $C_{\text{оборуд}} = 8042658$ руб;
- общие затраты на главные и вспомогательные материалы для трансформаторной подстанции:

$$C_{\text{общ ТП}} = C_{\text{ЭМР/СМР}} + C_{\text{неучт}} + C_{\text{оборуд}} \quad (22)$$

$$C_{\text{общ ТП}} = 51129 + 56759 + 8042658 = 8150546 \text{ руб}$$

Здание многоквартирного дома:

- материалы и оборудование на ЭМР и СМР: $C_{\text{ЭМР/СМР}} = 1123083$ руб;
- материалы, не учтенные расценками: $C_{\text{неучт}} = 1257801$ руб;
- оборудование: $C_{\text{оборуд}} = 1132925$ руб;

- общие затраты на основные и вспомогательные материалы для многоквартирного дома (МКД):

$$C_{\text{общ МКД}} = C_{\text{ЭМР/СМР}} + C_{\text{неучт}} + C_{\text{оборуд}} \quad (23)$$

$$C_{\text{общ МКД}} = 1123083 + 1257801 + 1132925 = 3513809 \text{ руб}$$

Общие затраты на основные и вспомогательные материалы составят:

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{общ ТП}} + C_{\text{общ МКД}} \quad (24)$$

$$C_{\text{общ}} = 8150546 + 3513809 = 11664355 \text{ руб}$$

Далее произведем расчет заработной платы.

6.2 Расчет заработной платы

При расчете оплаты труда рабочих, задействованных в электромонтажных работах, важно установить их уровень квалификации, определить тарифные ставки за час и сдельные тарифы за выполнение конкретных видов работ.

Тарифные ставки и оклады - это условленные суммы денег, которые работники получают за время, проведенное на работе (час, день, месяц). Оплата зависит от квалификации каждого сотрудника и может быть почасовой, дневной или ежемесячной. Чтобы вычислить месячную тарифную ставку работника, необходимо тарифный коэффициент, соответствующий его квалификационному разряду в рамках тарифной сетки, применённой на предприятии, умножить на величину ставки для первого разряда.

Согласно НЦС 81-02-01-2024 (Укрупненные нормативы цены строительства Сборник №01 Жилые здания) [8]:

Трансформаторная подстанция:

- заработная плата основных рабочих: $ЗП_{\text{ОР}} = 79944 \text{ руб}$;

- заработная плата машинистов: $ЗП_{\text{маш}} = 18911$ руб;
- общая заработная плата по трансформаторной подстанции:

$$ЗП_{\text{общ ТП}} = ЗП_{\text{ОР}} + ЗП_{\text{маш}} \quad (25)$$

$$ЗП_{\text{общ ТП}} = 79944 + 18911 = 98855 \text{ руб}$$

Здание МКД:

- заработная плата основных рабочих: $ЗП_{\text{ОР}} = 2157034$ руб;
- заработная плата машинистов: $ЗП_{\text{маш}} = 895860$ руб;
- общая заработная платы по зданию МКД:

$$ЗП_{\text{общ МКД}} = ЗП_{\text{ОР}} + ЗП_{\text{маш}} \quad (26)$$

$$ЗП_{\text{общ МКД}} = 2157034 + 895860 = 3052894 \text{ руб}$$

Общие затраты на заработную плату составят:

$$ЗП_{\text{общ}} = ЗП_{\text{общ ТП}} + ЗП_{\text{общ МКД}} \quad (27)$$

$$ЗП_{\text{общ}} = 98855 + 3052894 = 3151749 \text{ руб}$$

Рассчитаем общую рентабельность строящегося жилого многоквартирного комплекса бизнес-класса в г. Краснодар.

6.3 Рентабельность работ

Рентабельность бизнеса, организации, продукта, работ или услуг отражает соотношение инвестиций в производственный цикл к выручке от продаж (прибыли). Этот показатель интегрально демонстрирует эффективность использования активов.

Рентабельность измеряется через коэффициенты, выражающие соотношение запланированного дохода к общим затратам. Это критерий оценки финансовых результатов выполнения электромонтажных проектов.

Определяем рентабельность работ по формуле:

$$P_{\Pi} = \frac{\Pi}{Z_{\text{общ}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

$$P_{\Pi \text{ min}} = 12 \dots 15\% \quad (29)$$

$$P_{\Pi} \geq P_{\Pi \text{ min}} \quad (30)$$

где P_{Π} – рентабельность работ (ЭМР);

Π – плановая прибыль, руб;

$Z_{\text{общ}}$ – общие затраты на СМР. В расчетах принимаем приближенное значение – сумму затрат на материалы и заработную плату;

$P_{\Pi \text{ min}}$ – минимальный уровень рентабельности работ (ЭМР).

$$Z_{\text{общ}} = C_{\text{общ}} + 3\Pi_{\text{общ}} \quad (31)$$

$$Z_{\text{общ}} = 11664355 + 3151749 = 14816104 \text{ руб}$$

Расчет планируемой прибыли будет основан на сметных доходах согласно документу НЦС 81-02-01-2024 (Укрупненные нормативы стоимости строительства. Выпуск №01. Жилищное строительство) [8]:

$$\Pi = \Pi_{\text{ТП}} + \Pi_{\text{МКД}} \quad (32)$$

где $\Pi_{\text{ТП}} = 64256$ руб – сметная прибыль по трансформаторной подстанции;

$\Pi_{\text{МКД}} = 1984366$ руб – сметная прибыль по зданию МКД

$$\Pi = 64256 + 1984366 = 2048622 \text{ руб}$$

Следовательно:

$$P_{\Pi} = \frac{2048622}{14816104} \cdot 100\% = 13,8\%$$
$$13,8\% > 12 \dots 15\%$$

Условие выполняется.

Вывод по разделу.

Рентабельность является ключевым показателем эффективности использования активов организации, на производстве работ или услуг.

Измерение рентабельности проекта электромонтажных работ или услуг происходит через коэффициенты, показывающие соотношение запланированного дохода от проекта к общим затратам на его выполнение. Этот показатель позволяет оценить финансовые результаты выполнения конкретных электромонтажных проектов.

Для бизнеса в области электромонтажных работ рентабельность является важным критерием успеха и позволяет определить, насколько эффективно используются ресурсы и инвестиции. Высокий уровень рентабельности говорит о том, что проект или бизнес успешен и приносит прибыль, что важно для долгосрочной устойчивости и развития компании. Единого показателя прибыли не существует, в каждой отрасли на каждый год его считают отдельно.

Для электромонтажных работ приемлемым считается уровень в 12-20%.

Исходя из выполненных расчетов, можно утверждать, что данное условие соблюдается.

Заключение

Проект электроснабжения жилого здания в городе Краснодар на проспекте В.Н. Мачуги, дом 166 жилищного комплекса "Сказка Град" разработан с учетом существующих правил и стандартов: это включает правила установки электрических систем, строительные нормы, принципы градостроительства, санитарные требования и российские стандарты на электрооборудование. При проектировании учитываются все характеристики, указанные в проектном задании, согласно архитектурным, строительным и санитарным стандартам.

В начальной фазе подключения применяется два масляных силовых трансформатора типа ТМГ-63-10/0,4 электрораспределение построено на основе четырехпроводной двухветвистой сетевой структуры с напряжением 220/380 В и использованием системы заземления TN-C-S. Панель ВРУ-1С-225-128-УХЛ4, которая оборудована для автоматического переключения на резервные источники питания и обслуживает две линии. Этот распределительный шкаф содержит защитные автоматы ВА-04-36 с добавочными элементами, а также приборы для мониторинга использования электроэнергии на каждом участке сети.

Основа энергосистемы – это распределительный щит ВРУ-1С-300+300-225-УХЛ4. Он оснащен автоматическими выключателями модели ВА-5131, которые предотвращают перегрузку и короткое замыкание в сети. Есть переключатели ВА-24-29, позволяющие контролировать и изменять режимы работы сети. Кроме того, в щите установлены устройства защиты от токов утечки – УЗО-22. Они моментально отключают сеть, если обнаруживают утечку тока, обеспечивая безопасность использования электричества в здании. В аппаратном шкафу также установлены счетчики потребляемой энергии «Меркурий 230AR-01CL», что позволяет точно отслеживать и учитывать электропотребление в обслуживаемых объектах недвижимости.

На лестничных клетках, в нишах стен, устанавливаются специальные электрические шкафы ЩЭУГ. Они служат для раздачи электроэнергии и защиты электросети. В эти шкафы вмонтированы счетчики «Меркурий 200.04» для измерения общего потребления электричества в доме – у них класс точности 1.0. Шкафы также оснащены защитными автоматами для линий электроснабжения различных групп пользователей. К ним относятся защитные устройства УЗО-22-16-2-030 с характеристиками, которые автоматически отключают питание при токе утечки 30 мА, и УЗО-22-25-2-030 для розеточных групп.

Система освещения в подъездах и лестничных клетках автоматически управляется с помощью фотореле, которое установлено в главном электрическом шкафу дома. Кроме того, на каждом этаже для управления светом используются отдельные выключатели АВ-01 с функцией таймера.

Общий анализ разработки показывает, что предложенный проект удовлетворяет текущим стандартам электроснабжения жилых объектов. Он полностью отвечает критериям нормативных документов и стандартам безопасности при использовании электрооборудования.

Список используемых источников

1. Библия электрика: ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. 3-е изд. М.: Эксмо, 2019. – 750 с.
2. Вводно-распределительные устройства [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «Электросам.Ру» URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/jelektropitanie/vvodno-raspredelitelnoe-ustroistvo/> (дата обращения: 02.05.2024).
3. Кабельные линии напряжением до 229 кВ [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «RusCable.Ru» URL: <https://www.ruscable.ru/info/pue/2-3.html> (дата обращения: 02.05.2024).
4. Нагрузки жилых зданий [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «Top Engineering». URL: <http://www.topeng.ru/sp31-110-2003-61.html> (дата обращения: 02.05.2024).
5. Общая схема электроснабжения жилого дома [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «Elektrik Info». URL: <http://elektrik.info/main/electrodom/628-elektrosnabzhenie-mnogokvartirnogo-doma.html> (дата обращения: 02.05.2024).
6. Питание трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «Globe Core». URL: <https://oils.globecore.ru/naznachenie-i-tipy-transformatornyh-p.html> (дата обращения: 02.05.2024).
7. Питающие, распределительные и групповые сети в электроснабжении [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «Школа электрика» URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/1799-pitajushhie-raspredelitelnye-i.html#:~:text=%D0%B2> (дата обращения: 02.05.2024).
8. Приказ Министра России от 21 февраля 2024 г. № 128/пр «Об утверждении укрупненных нормативов цены строительства» Укрупненные нормативы цены строительства. ИЦС 81-02-01-2024. Сборник № 01. Жилые

здания Офиц. изд. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/362180> (дата обращения: 02.05.2024).

9. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. Офиц. изд. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения: 02.05.2024).

10. РМ-2696. Инструкция по расчету электрических нагрузок жилых зданий. Офиц. изд. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293784/4293784789.pdf> (дата обращения: 02.05.2024).

11. Рябчинский М.Н. Электроснабжение жилых и общественных зданий. Автоматизация городского хозяйства №6(48), 2016 URL: https://controleng.ru/wp-content/uploads/ce48_elektrosnabzhenie_zhilykh_i_obshchestvennykh_zdaniy.pdf (дата обращения: 02.05.2024).

12. Система заземления TN-C-S – схема и описание [Электронный ресурс]: Интернет-портал «Электромонтаж». URL: <https://electricvdome.ru/zazemlenie/sistema-zazemlenija-tn-c-s.html> (дата обращения: 02.05.2024).

13. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139957> (дата обращения: 02.05.2024).

14. Счетчик электрической энергии трехфазный статический «Меркурий-230», «Mercury-230». Руководство по эксплуатации АВЛГ.411152.021 РЭ. URL: <https://www.incotexcom.ru/files/em/docs/merkuriy-230-avlg-411152-021-re-izm-4-2020-07-27.pdf> (дата обращения: 02.05.2024).

15. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: Учеб. пособие / В.П. Шеховцов. 3-е изд., испр. М.: Форум; ИНФРА-М, 2019. – 214 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1009603> (дата обращения: 02.05.2024).

16. Электроснабжение жилых домов [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «Инженерные сети и коммутации». URL: <https://proekt-sam.ru/proektsistem/elektrosnabzhenie-mnogokvartirnogo-doma.html> (дата обращения: 02.05.2024).

17. Энергосбережение и энергоэффективность. Инновационные технологии и оборудование [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «Энергосэйв» URL: <https://energysaving-expo.ru/> (дата обращения: 02.05.2024).

18. Энергоэффективные технологии [Электронный ресурс]: Информационный ресурс «МАЭ» URL: <https://sro150.ru/vopros-otvet/148-energoeffektivnost-i-energoberegayushchie-tehnologii-energoberezhenie-programma-energoberezheniya> (дата обращения: 02.05.2024).

19. Connecting Wire Details [Электронный ресурс]: URL: https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/cables/awg-swg-connecting-wires.php (дата обращения: 02.05.2024).

20. IEA Electricity Information 2015. [Electronic resource]: URL: <https://www.iea.org/Textbase/nptoc/elec2013toc.pdf> (дата обращения: 02.05.2024).

21. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council on the internal market for electricity, Chapter IV, Art. 20.1. [Electronic resource]: URL: <https://www.entsoe.eu/outlooks/midterm/> (дата обращения: 02.05.2024).

22. Osbert J. C. High Rupturing Capacity (HRC) Fuses [Electronic resource]: URL: <https://owlcation.com/stem/High-Rupturing-Capacity-HRC-Fuses> (дата обращения: 02.05.2024).

23. BF-80/1 Maschinenfabrik Reinhausen GmbH – MR: Design Submittal of 20 MVA Transformers [Electronic resource]: URL: <https://ru.scribd.com/document/23590321/4605-DS-002-B-Design-Submittal-of-20-MVA-Transformers> (дата обращения: 02.05.2024).