

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 Электроснабжение микрорайона Ванино села Пискалы

Обучающийся

Д.И. Алифбекова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.филол.н., доцент С.Ю. Мамушкина

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

Тольятти 2025

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проведена разработка проекта системы электроснабжения микрорайона Ванино села Пискалы Ставропольского района Самарской области.

Ключевым вопросом бакалаврской работы является разработка системы электроснабжения, которая должна обладать не только оптимизированными техническими характеристиками, но и обеспечивать необходимый уровень надежности, соответствующий современным стандартам и требованиям.

Целью данного исследования, имеющего прикладной характер, является разработка проектного решения системы электроснабжения для жилого микрорайона, включающего в себя комплексный подход к решению задач, связанных с обеспечением устойчивого и безопасного энергоснабжения. В рамках работы предусматривается проведение анализа электропотребления проектируемых жилых объектов, что позволит определить основные параметры нагрузки. Также необходимо выполнить расчеты электрических нагрузок, которые являются основой для дальнейшего проектирования и выбора оборудования. Требуется осуществить выбор силовых трансформаторов и электрооборудования, рассчитанного на высокое и низкое напряжение.

Актуальность данного исследования, имеющего как теоретическое, так и практическое значение, обусловлена его применимостью не только для рассматриваемого жилого микрорайона, но и для других объектов с аналогичными условиями компактного проживания населения, что делает его результаты востребованными в современных условиях развития энергетической инфраструктуры.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 61 страница, дополняемую 8 таблицами, 8 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Abstract

In the graduation thesis, the design of a power supply system for the Vanino neighborhood in the village of Piskaly, Stavropolsky District, Samara Region, has been developed.

The key focus of this bachelor's thesis is the development of a power supply system that must not only possess optimized technical characteristics but also ensure the required level of reliability in accordance with modern standards and regulations.

The objective of this applied research is to develop a power supply system design for a residential neighborhood, incorporating a comprehensive approach to addressing challenges related to stable and secure energy supply. The work involves an analysis of the power consumption of the planned residential buildings, which will help determine the key load parameters. Additionally, it is necessary to perform electrical load calculations, which serve as the basis for further system design and equipment selection. The selection of power transformers and electrical equipment rated for high and low voltage must also be carried out.

The relevance of this study, which holds both theoretical and practical significance, stems from its applicability not only to the residential neighborhood in question but also to other facilities with similar conditions of compact population settlement. This makes its findings valuable in the context of modern energy infrastructure development.

This graduation thesis includes an explanatory note spanning 61 pages, supplemented by 8 tables, 8 figures, and 6 A1-format drawings.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей	6
1.1 Краткие сведения о проектируемом микрорайоне	6
1.2 Анализ электропотребителей.....	7
2 Расчет электроснабжения микрорайона	11
2.1 Расчет электрических нагрузок микрорайона.....	11
2.2 Расчет нагрузки уличного освещения.....	13
2.3 Выбор КТП	14
2.4 Выбор мощности трансформатора	16
2.5 Выбор и проверка проводов 0,4 кВ	17
2.6 Выбор и проверка проводов 10 кВ	20
2.7 Расчет потерь электроэнергии в трансформаторе	25
2.8 Расчет токов короткого замыкания	26
2.9 Расчет и выбор аппаратов защиты	31
2.10 Расчет релейной защиты	40
3 Безопасность проекта.....	50
3.1 Расчет заземления трансформаторной подстанции.....	50
3.2 Молниезащита и заземление домовладения	52
Заключение	55
Список используемых источников.....	57

Введение

За последние три десятилетия резко увеличилось потребление электроэнергии населением. С 1990 года годовое потребление электроэнергии населением выросло с 35,3 млрд. кВт·ч до 154 млрд. кВт·ч. «Серийное производство дало возможность понизить себестоимость производимых изделий. Электробытовые товары стали доступнее для населения. Например, годовое производство автоматических стиральных машин в 1980 году составляло 975 тыс. шт., в 1990 – 1792 тыс. шт., а в 2016 уже 4 млн. шт. На 100 домашних хозяйств в 1990 году приходилось 75 стиральных машин, а в 2016 уже 100. Иными словами, стиральная машина сегодня стала предметом домашнего обихода в каждой российской семье. И это относится ко многим электроприборам. За время, прошедшее с момента возведения системы электроснабжения посёлка технический прогресс стал диктовать всё более строгие требования к качеству электроэнергии, открывал новые технические возможности. Широкое распространение бытовых электроприборов повлекло за собой увеличение мощности, потребляемой объектами жилищно–коммунального хозяйства, гражданских зданий» [30].

Целью данной бакалаврской работы является проектирование системы электроснабжения коттеджного поселка. Для достижения этой цели, в проекте необходимо решить следующие задачи:

- разработать варианты электроснабжения коттеджного поселка, спроектировать распределительную ВЛ 10 кВ и привязать ее к существующим сетям;
- рассчитать электрическую нагрузку коттеджа и поселка в целом;
- выбрать мощность и количество силовых трансформаторов 10/0,4 кВ;
- рассчитать токи короткого замыкания и выбрать коммутационную аппаратуру для защиты трансформатора со стороны 10 и 04 кВ.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей

1.1 Краткие сведения о проектируемом микрорайоне

Предметом проектирования данного проекта является электроснабжение жилого микрорайона, состоящего из 210 участков под индивидуальное жилищное строительство (ИЖС). Территория микрорайона распределена следующим образом [10]:

- общая площадь микрорайона 28,5 га;
- площадь жилой застройки 20,46 га;
- площадь дорог 2,79 га;
- площадь озеленения 2,65 га;
- площадь административно–бытовой зоны 1,04 га;
- площадь зоны учреждений образования 0,8 га;
- площадь хозяйственной зоны 0,76 га.

Генеральный план рассматриваемого микрорайона, содержащий полную информацию о пространственной организации территории, представлен на первом листе графической части проектной документации в виде сводного чертежа. На указанном плане в графической форме отображено расположение жилых и общественных зданий, а также схематично представлена конфигурация улично–дорожной сети с указанием основных транспортных связей. Дополнительно на генеральном плане чётко обозначено функциональное зонирование территории с выделением жилых, рекреационных и иных зон в соответствии с действующими нормативами градостроительного проектирования.

Система электроснабжения проектируемого микрорайона предусматривает подключение к распределительным сетям через шины напряжением 0,4 кВ, что соответствует требованиям современных стандартов

энергообеспечения жилых районов. В качестве основного источника питания запроектирована комплектная трансформаторная подстанция (КТП) закрытого типа, обеспечивающая необходимые параметры качества электроэнергии.

Указанная трансформаторная подстанция размещается непосредственно на территории микрорайона в специально отведённой зоне, что минимизирует потери электроэнергии при транспортировке к потребителям.

Проектируемый коттеджный поселок относится ко второй категории по надежности электроснабжения. Отопление осуществляется от индивидуальных газовых котлов, кухонные плиты тоже газовые. Вдоль участков проложен центральный водопровод от собственной скважины, канализация в индивидуальные выгребные ямы.

«Для подключения к электрическим сетям необходимо получить схемы возможного подключения к распределительному устройству 10 кВ. Для этого необходимо произвести расчеты установленной мощности потребителей коттеджного поселка, определить расчетную потребную мощность на вводе» [6].

Климатические условия микрорайона относятся к умеренно–холодному климату. Лето теплое и местами облачное, зимой дни морозные, снежные, ветреные и пасмурные. В течении года температура изменяется в диапазоне от минус 15 °С до плюс 27 °С, редко бывает минус 30 °С и плюс 32 °С.

1.2 Анализ электропотребителей

В таблице 1 представлены потребители электроэнергии на территории микрорайона. Расчет номинальной электрической мощности на вводе в жилое здание осуществляется тремя основными методами, каждый из которых имеет свои особенности применения и область использования.

Таблица 1 – Потребители электроэнергии

Наименование	Количество, шт
Жилой дом	210
Насосная станция (скважина)	1
Жилищно–коммунальное хозяйство, администрация	1
Гараж	1
Магазин	1

Первый расчетный метод базируется на анализе проектной документации жилого дома, где учитывается точное расположение и технические характеристики всех установленных электроприемников. Второй методический подход предполагает использование специального коэффициента одновременности, который корректно отражает вероятность совместной работы всего электрооборудования в домовой сети. Третий способ расчета основан на обработке заявленных потребительских данных о требуемом количестве электроэнергии, предоставляемых жильцами или управляющей компанией.

Все перечисленные методы расчетов выполняются в строгом соответствии с нормативными требованиями, изложенными в таблице 2 настоящего проекта.

Таблица 2 – Зависимость количества электроэнергии в жилой дома коттеджа от коэффициента спроса

Заявленная мощность, кВт	16	22	32	42	52	62
Коэффициент спроса	0,8	0,65	0,6	0,55	0,5	0,48

Указанная таблица содержит регламентированные значения основных параметров, необходимых для точного определения проектной нагрузки. Полученные в результате расчетов данные систематизируются и вносятся в сводную таблицу 3, где представлены все значимые показатели. В данной

таблице отражены не только индивидуальные характеристики каждого потребителя, но и общая суммарная нагрузка на вводе в здание.

Таблица 3 – Электрическая нагрузка жилого дома

Электроприемники	Количество, шт	P, Вт	$\Sigma P_{\text{сум}}, \text{Вт}$	$\cos\varphi$
Осветительные установки	10	12	120	0,92
Наружное освещение	2	10	20	0,92
Телевизоры	2	100	200	0,95
Радио и аудио аппаратура	2	150	300	0,95
Холодильники	1	200	200	0,85
Морозильники	1	140	140	0,85
Стиральные машины	1	2500	2500	0,85
Электропылесосы	1	1400	1400	0,85
Электроутюги	1	1700	1700	0,87
Электрочайники	1	2000	2000	0,87
Посудомоечная машина	1	2500	2500	0,85
Электромясорубки	1	1100	1100	0,95
Соковыжималки	1	300	300	0,9
Миксеры	1	400	400	0,85
Электрофены	1	1600	1600	0,85
СВЧ	1	1300	1300	0,95
Кухонная вытяжка	1	250	250	0,9
Компьютер	1	500	500	0,90
Кондиционеры	1	1500	1500	0,85
Итого	31	—	18030	—

Особое внимание при выполнении расчетов уделяется учету вероятностного характера работы электрооборудования. Статистические исследования показывают, что одновременная работа всех электроприборов в жилом доме является маловероятным событием. Для корректного учета этого фактора в расчетах применяются специальные понижающие коэффициенты, разработанные на основе практических наблюдений. Использование этих коэффициентов позволяет получить более точные и реалистичные значения электрических нагрузок.

Выводы по разделу 1.

Проектируемый микрорайон общей площадью 28,5 га включает 210 участков под ИЖС с четким функциональным зонированием (жилая застройка, дороги, озеленение, административно-бытовая и хозяйственная зоны), что соответствует современным градостроительным нормативам и обеспечивает рациональное использование территории.

Энергоснабжение микрорайона запроектировано через распределительные сети 0,4 кВ с использованием комплектной трансформаторной подстанции (КТП) закрытого типа, расположенной на территории, что минимизирует потери энергии и соответствует требованиям II категории надежности. Для определения расчетной мощности применены три взаимодополняющих метода: анализ проектной документации, использование коэффициента одновременности, и учет заявленных потребительских данных, что обеспечивает комплексный подход к оценке энергопотребления.

Умеренно-холодный климат (диапазон температур от -30°C до $+32^{\circ}\text{C}$) и преобладание газовых систем отопления/приготовления пищи позволяют оптимизировать расчет электрических нагрузок, исключив сезонные пиковые потребности в электроэнергии. На основании табличных данных (коэффициенты спроса, мощности приборов) выявлена суммарная нагрузка жилого дома (18,03 кВт) с учетом вероятностного характера работы оборудования, что подтверждает необходимость применения понижающих коэффициентов для реалистичной оценки.

Полученные данные (сводные таблицы 1–3) служат основой для проектирования распределительных сетей 10 кВ и разработки схем подключения, обеспечивающих устойчивое энергоснабжение микрорайона с учетом перспективного роста нагрузок.

2 Расчет электроснабжения микрорайона

2.1 Расчет электрических нагрузок микрорайона

Все электроприемники микрорайона условно можно отнести к коммунально–бытовой категории. «Расчет электрической мощности на вводе в жилой дом, производится в соответствии с проектом размещения электрических установок внутри жилого дома и их количества. Расчет электрической мощности внутри жилого дома будет суммироваться из установленных мощностей приемников (приборов) электрической энергии $P_{\text{расч.кот}}$, кВт, с учетом одновременности их включения в существующий режим работы» [6]:

$$P_{\text{расч}} = K_{\text{сп}} \cdot P_{\text{заяв}}, \quad (1)$$

где « $P_{\text{заяв}}$ – электрическая мощность, которая необходима для обеспечения приемников электрической энергии жилого дома, которая определяется по таблице 3;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент спроса, который является в зависимости от заявленной мощности, приводится в таблице 2» [6].

$$P_{\text{расч}} = 0,75 \cdot 18,03 = 13,52 \text{ кВт.}$$

«Расчет необходимой мощности приемников электрической на вводе в микрорайон производим по выражению» [6]:

$$\Sigma P_{\text{расч}} = P_{\text{расч}} \cdot K_{\text{од}} \cdot n_{\text{дом}}, \quad (2)$$

где « $n_{\text{дом}}$ – жилые дома в соответствии с заданием на проектирование, приведены в таблице 1;

$k_{од}$ – значение учитывающие одновременность включения в электрическую сеть приемников электрической энергии и зависящая от количества электрических приемников, подключенной к этой сети» [6].

$$\Sigma P_{расч} = 13,52 \cdot 0,75 \cdot 210 = 2129,4 \text{ кВт.}$$

«Расчетная реактивную мощность питающих линий, вводов и на шинах 0,4 кВ ТП от электроприемников жилых домов по формуле» [6]:

$$\Sigma Q_{расч} = \Sigma P_{расч} \cdot tg\varphi, \quad (3)$$

$$tg\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos\varphi^2}}{\cos\varphi}, \quad (4)$$

где $\Sigma P_{расч.}$ – суммарная расчетная активная мощность жилых домов, кВт;

$tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности (6);

$\cos\varphi = 0,88$ – средний коэффициент из таблицы 3.

$$tg\varphi = \frac{\sqrt{1-0,88^2}}{0,88} = 0,539,$$

$$\Sigma Q_{расч} = 2129,4 \cdot 0,539 = 1147,7 \text{ квар.}$$

«Расчет полной мощности на стороне низкого напряжения трансформатора определяется по следующему выражению» [6]:

$$S_{\Sigma p} = \sqrt{P_{\Sigma p}^2 + Q_{\Sigma p}^2}, \quad (5)$$

$$S_{\Sigma p} = \sqrt{2129,4^2 + 1147,7^2} = 2362,59 \text{ кВА.}$$

2.2 Расчет нагрузки уличного освещения

«При проектирование микрорайона принимались во внимание уличное освещение проезжей и пешеходной части» [9].

«Проектирование уличного освещения позволит обеспечить безопасность проживающих жителей коттеджного поселка и их гостей в вечернее время. При этом нормированную освещенность улиц принимаем в зависимости от ширины улиц, их протяженности и покрытия.

Удельная нагрузка для расчета наружного освещения ориентировочно определяются исходя из норм яркости или освещенности покрытия улиц и дорог для различных категорий улиц с учетом ширины дорожного покрытия по [27].

При выполнении расчета осветительной нагрузки от освещения улиц населенного поселка, принимаем во внимание, что улицы являются улицами местного значения и по квалификации относятся к категории В» [27].

В соответствии со строительными нормами и правилами уличные дорожные сети категории В1 классифицируются «следующем образом:

- категория объекта: улицы и дороги местного назначения;
- класс: В1;
- основное назначение объекта: транспортные и пешеходные связи в пределах жилых районов и выход на магистрали, кроме улиц с непрерывным движением. Движение регулируемое, пересечения в одном уровне;
- транспортная характеристика: легковой, специальный и грузовой транспорт, иногда общественный пассажирский;
- расчетная скорость км/ч: 60;
- число полос движения в обоих направлениях: 2 – 4;
- пропускная способность тысяч ед/ч: 1,5 – 3» [9].

В микрорайоне планируются улицы с асфальтобетонным и переходными типами покрытий шириной 10 м. Общая протяжённость улиц, по которым проходит освещение, составляет 2796 м. В качестве осветительной установки выберем светодиодные светильники мощностью 60 Вт и полным световым потоком 9000 Лм. Схема освещения – односторонняя, на опорах, расстояние между ними 40 метров [7].

Расчётная нагрузка уличного освещения

$$P_{p.ул} = P_{уд} l, \quad (6)$$

где « $P_{уд}$ – удельная мощность осветительной установки, зависящая от ширины улиц и вида покрытия, Вт/м» [19]. Принимаем по [19] $P_{уд}=4,5$ Вт/м и $\cos\varphi=0,95$;
 $l=2796$ м – длина улиц.

$$P_{p.ул} = 4,5 \cdot 2796 = 12582 \text{ Вт}.$$

Полная мощность уличного освещения микрорайона:

$$S_{p.ул} = \frac{P_{p.ул}}{\cos \varphi}, \quad (7)$$

$$S_{p.ул} = \frac{12582}{0,95} = 13244 \text{ ВА}$$

2.3 Выбор КТП

Выбор конкретного типа комплектной трансформаторной подстанции осуществляется на основании анализа нескольких ключевых параметров, включая нормативные требования к категории надежности электроснабжения.

При определении оптимального варианта КТП необходимо учитывать не только требования надежности, но и специфические условия эксплуатации оборудования в конкретной климатической зоне. Немаловажным фактором при выборе является обеспечение необходимого уровня защиты электрооборудования от различных видов аварийных ситуаций и внешних воздействий.

«Для электроснабжения потребителей сельской местности, относящихся ко второй категории надежности, традиционно применяются однотрансформаторные подстанции наружной установки киоскового типа» [25]. Стандартная мощность таких подстанций КТП-К варьируется в диапазоне от 25 до 2500 кВА при номинальном напряжении 10/0,4 кВ, что соответствует типовым требованиям для подобных объектов. Однако в рассматриваемом случае, учитывая перспективное строительство образовательного учреждения (детского сада) на территории микрорайона, было принято решение об установке более мощной двухтрансформаторной подстанции.

Конструктивное исполнение выбранной КТП включает в себя несколько основных компонентов, среди которых следует выделить силовой трансформатор типа ТМГ, обладающий оптимальными характеристиками для данных условий эксплуатации. Важным элементом подстанции является распределительное устройство низшего напряжения (РУНН), обеспечивающее надежное распределение электроэнергии между потребителями. В состав оборудования также входят ограничители перенапряжения типа ОПН, предназначенные для защиты от импульсных перенапряжений различного происхождения. Для обеспечения безопасности обслуживания и проведения ремонтных работ в конструкции подстанции предусмотрен разъединитель соответствующего класса напряжения.

Функциональные возможности КТП включают не только преобразование и распределение электроэнергии, но и организацию коммерческого учета

потребляемой активной энергии. Для обеспечения точности измерений и создания нормальных условий работы индукционного счетчика в конструкции предусмотрена система его обогрева, поддерживающая оптимальный температурный режим. Отдельное внимание уделено организации уличного освещения, которое оснащено современной системой управления, позволяющей осуществлять как ручное, так и автоматическое включение и отключение.

Система защиты КТП реализована по двухуровневому принципу, предусматривающему различные виды защит на стороне как высшего, так и низшего напряжения. На стороне высшего напряжения 10 кВ установлена комплексная защита, включающая устройства защиты от атмосферных перенапряжений и междуфазных коротких замыканий. На стороне низшего напряжения 0,4 кВ реализована многоуровневая система защиты, охватывающая все возможные аварийные режимы работы оборудования.

Принципиальная электрическая схема рассматриваемой КТП с указанием всех элементов и их взаимосвязей представлена на соответствующем листе графической части проекта.

2.4 Выбор мощности трансформатора

При выборе мощности трансформатора необходимо также учесть мощности других электроприемников (с учетом их коэффициента использования):

- мощность насосной станции. По проекту [24] она составляет 10 кВт, $\cos\varphi=0,80$;
- для электроснабжения детского сада выделяется 40 кВт, средний $\cos\varphi=0,82$ [4].

По аналогии с формулой (7) расчётная нагрузка КТП с учётом осветительной нагрузки, насосной станции и детского сада:

$$S_{p.ТП} = 2362,59 + 13,244 + \frac{10}{0,80} + \frac{40}{0,82} = 2437,11 \text{ кВА}.$$

«В соответствии с расчётной максимальной нагрузкой $S_{p.ТП}=2437,11$ кВА выбираем мощность трансформатора по экономическим интервалам нагрузки» [2]. Мощность трансформатора, устанавливаемого на КТП принимаем равной $S_{p.ТП}=2500$ кВА. Технические характеристики выбранного трансформатора приведены в [22].

2.5 Выбор и проверка проводов 0,4 кВ

«Площадь сечения самонесущих изолированных проводов рассчитывается по нагреву, затем проверяется по допустимым потерям напряжения» [18].

«Проверим по длительному допустимому току и потерям напряжения провод линии №1. На рисунке 1 показана схема для расчёта токов на участках линии №1, в которой обозначены максимальные нагрузки потребителей по расчету в подразделе 2.1, приведены коэффициенты одновременности для каждого участка» [18]. Расчёт проведём для участка 0–1, так как он самый загруженный.

Активная и реактивная мощности на участке 0–1:

$$P_{0-1} = \Sigma P_{\text{расч}} \cdot k_o, \quad (8)$$

$$Q_{0-1} = \Sigma Q_{\text{расч}} \cdot k_o, \quad (9)$$

$$P_{0-1} = (13,52 \cdot 56 + 0,060 \cdot 27) \cdot 0,12 = 91,95 \text{ кВт},$$

$$Q_{0-1} = (5,45 \cdot 56 + 0,0197 \cdot 27) \cdot 0,12 = 36,68 \text{ кВАр}$$

Полная мощность на участке 0–1 по формуле (5)

$$S_{0-1} = \sqrt{91,95^2 + 36,68^2} = 98,99 \kappa BA$$

Полный ток на участке 0–1:

$$I_{\phi,0-1} = \frac{S_{p,0-1}}{U_{\phi}}, \quad (10)$$

$$I_{0-1} = \frac{98,99}{0,4} = 247,5A$$

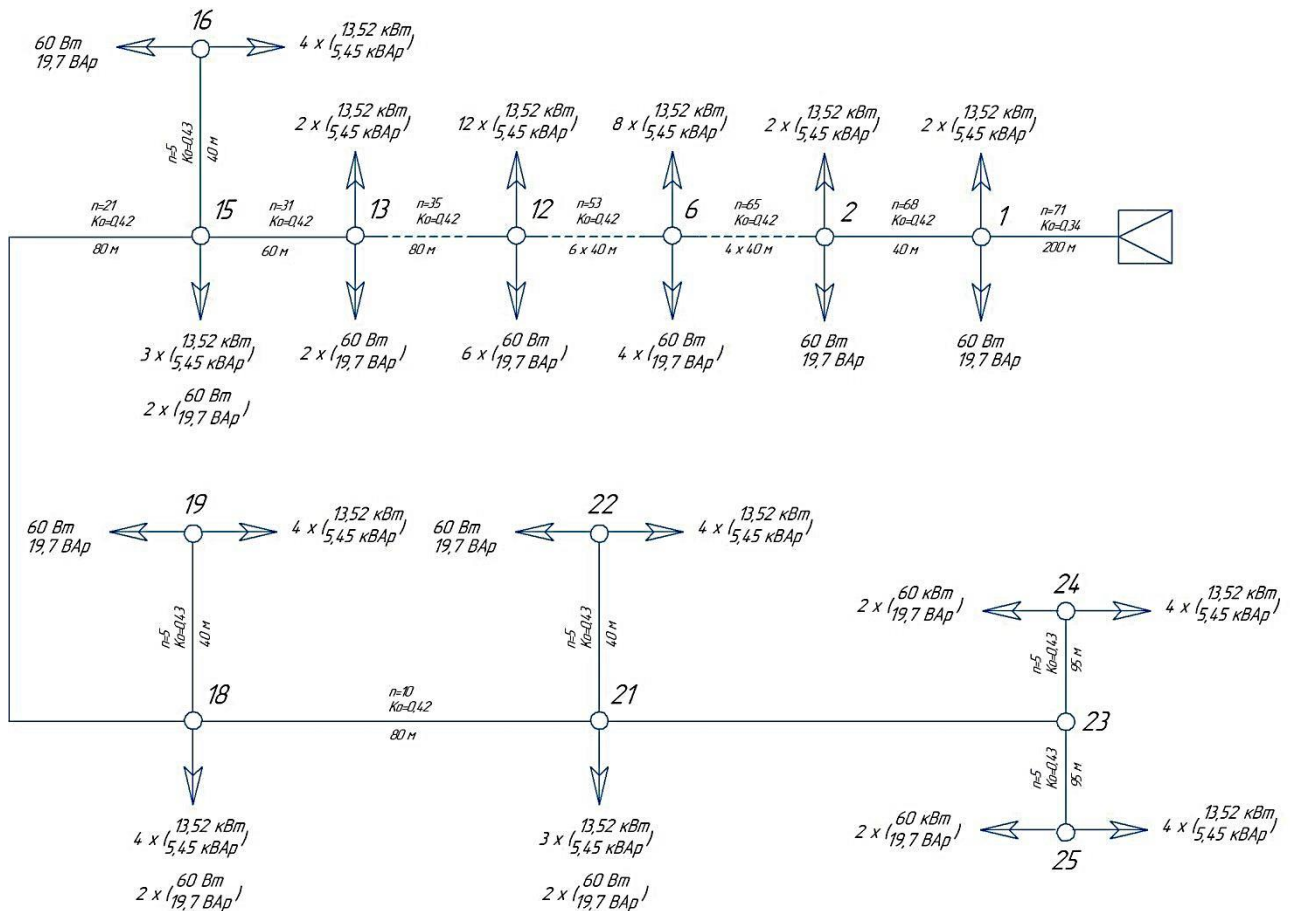


Рисунок 1 – Схема для расчёта токов на участках линии №1

С учетом рекомендаций [5] выбираем кабель СИП–2 3х25+1х35+1х16 [21] с допустимым током нагрузки $I_{\text{табл}}=130\text{А}$. Условно разделим потребителей

линии на три группы в равных частях по 82,5 А. Каждая группа будет запитана своим кабелем: первая группа с опоры №1 по опору №12, вторая группа с опоры №12 по опору №18 и третья группа с опоры №18 по опору №23.

Отводящие линии выполним кабелем СИП–4 2х16 с допустимым током нагрузки 100 А. К таким линиям относятся участки сети 15–16, 18–19, 21–22, 23–24, 23–25. С учетом поправочного коэффициента $k_t = 1,21$ и проверим кабель СИП–2 3х25+1х35+1х16 по длительному допустимому току:

$$I_{\text{дл.доп.}} = I_{1-12} \cdot k_t \leq I_{\text{табл}} \quad (11)$$

$$I_{\text{дл.доп.}} = 82,5 \cdot 1,21 = 99,82 \text{ А} \leq 130 \text{ А}.$$

Выбранный провод удовлетворяет условию проверки по нагреву. В целях унификации сечений выберем этот же провод для других трех линий (№2, №3, №4).

«Потери напряжения на участке сети с равномерно распределённой нагрузкой по фазам» [11]:

$$\Delta U_{\text{уч}} = \frac{P_{\text{уч}} \cdot r + Q_{\text{уч}} \cdot x}{U_{\text{ном}}}, \quad (12)$$

$$r = r_0 \cdot l, \quad (13)$$

$$x = x_0 \cdot l, \quad (14)$$

где « r – активное сопротивление расчётного участка линии, Ом (13);

x – реактивное сопротивление расчётного участка линии, Ом (14)»

[11]

« r_0 и x_0 – удельные активное и реактивное сопротивления провода, Ом/км» [21];

l – длина участка линии, км.

$$r = 0,411 \cdot 0,440 = 0,181 \text{ Ом},$$

$$x = 0,075 \cdot 0,440 = 0,033 \text{ Ом},$$

$$\Delta U_{\text{уч}} = \frac{39,02 \cdot 0,181 + 15,7 \cdot 0,033}{0,4} = 18,95 \text{ В}$$

Относительные потери напряжения

$$\Delta U_{\text{уч.}\%} = \frac{\Delta U_{\text{уч}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (15)$$

$$\Delta U_{\text{уч.}\%} = \frac{18,95}{400} = 4,73\%$$

Участок 1–12 линии №1 проходит по потерям напряжения (допускается не более 6% [6]). Результаты выбора кабелей для других участков сети показаны на листе №2 графической части проекта.

Питание уличного освещения будет производиться от шкафа наружного освещения (ШНО), установленного в ТП проводом СИП–2 3×16–1×3 [17].

2.6 Выбор и проверка проводов 10 кВ

Для обеспечения надежного электроснабжения проектируемой комплектной трансформаторной подстанции необходимо выполнить новое ответвление от существующей распределительной сети 10 кВ. Протяженность вновь сооружаемого участка воздушной линии электропередачи составляет 256 метров, что соответствует проектным требованиям по минимальному расстоянию от магистральной линии до трансформаторной подстанции. В качестве проводникового материала для данного участка ВЛ-10 кВ был выбран самонесущий изолированный провод марки СИП-3 с номинальным сечением 20 мм², обладающий оптимальным сочетанием электрических и механических

характеристик для указанных условий эксплуатации. Для корректного определения параметров проектируемой линии электропередачи требуется выполнить расчет величины рабочего тока с учетом всех значимых факторов, влияющих на работу системы электроснабжения.

Выбор сечения токоведущих жил осуществляется на основании проведенных расчетных операций, учитывающих как номинальную мощность подстанции, так и возможные потери в оборудовании. «При определении расчетной мощности трансформаторной подстанции необходимо учитывать суммарные потери в силовом трансформаторе 10/0,4 кВ, которые влияют на конечные параметры системы» [25].

Активные потери мощности в силовом трансформаторе подразделяются на два основных вида: постоянные потери холостого хода в магнитопроводе и переменные нагрузочные потери в обмотках устройства. Величины указанных потерь определяются по технической документации и паспортным данным установленного трансформаторного оборудования, что обеспечивает достоверность выполняемых расчетов:

$$\Delta P_{mp} = \Delta P_x + \Delta P_{м.н.} \cdot (S_p / S_{mp})^2, \quad (16)$$

где « ΔP_x – потери ХХ при номинальном напряжении, кВт. Для ТМГ–2500

$\Delta P_x = 2,5$ кВт» [22];

« $\Delta P_{м.н.}$ – потери мощности в меди, кВт. Для ТМГ–2500 $\Delta P_{м.н.} = 26,5$ кВт» [22].

$$\Delta P_{mp} = 2,5 + 26,5 \cdot (2437,11 / 2500)^2 = 27,68 \text{ кВт}.$$

«Расчетная активная мощность ТП с учетом потерь в трансформаторе» [22]:

$$P'_p = P_p + \Delta P_{mp}, \quad (17)$$

$$P'_p = 2129,4 + 27,68 = 2157,08 \text{ кВт}.$$

«Потери реактивной мощности в трансформаторе» [22]:

$$\Delta Q_{mp} = 0,1 \cdot S_p, \quad (17)$$

$$\Delta Q_{mp} = 0,1 \cdot 2437,11 = 243,7 \text{ кВт},$$

«Расчетная реактивная мощность ТП с учетом потерь в трансформаторе» [22]:

$$Q'_p = Q_p + \Delta Q_{mp}, \quad (17)$$

$$Q'_p = 1147,7 + 243,7 = 1391,4 \text{ кВАр}.$$

«Мощность ТП с учётом потерь в трансформаторе» [22]

$$S'_p = \sqrt{P_p'^2 + Q_p'^2}, \quad (18)$$

$$S'_p = \sqrt{2157,08^2 + 1391,4^2} = 2566,83 \text{ кВА}.$$

Ток в линии 10 кВ:

$$I_p = \frac{S'_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (19)$$

$$I_p = \frac{2566,83}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 141,14 \text{ А}.$$

«Выбор сечений по экономической плотности тока.

Экономически целесообразное сечение определяется из соотношения» [20]:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (20)$$

где $j_{\text{эк}} = 1,7 \text{ А/мм}^2$ – нормированное значение экономической плотности тока для изолированных проводов СИП 10–20 кВ» [20],

$$F_{\text{эк}} = \frac{141,14}{1,7} = 83,02 \text{ мм}^2.$$

На основании проведенного технико-экономического анализа различных вариантов сечений проводников было принято решение о выборе оптимального варианта, которым является самонесущий изолированный провод марки СИП-3 с конфигурацией 1×95 и номинальным диаметром 20 миллиметров.

В соответствии с требованиями действующих нормативных документов необходимо выполнить проверку выбранного проводника на соответствие условиям длительного допустимого нагрева при эксплуатации в реальных рабочих условиях.

Для проведения указанной проверки следует использовать формулу (11), которая устанавливает критерии оценки тепловых режимов работы кабельных линий электропередачи. В процессе выполнения проверочных расчетов необходимо использовать справочные данные о номинальном допустимом токе для провода СИП-3 1×95-20, которые приводятся в технической документации производителя и отраслевых стандартах.

Результаты выполненных расчетных операций и проверочных мероприятий свидетельствуют о полном соответствии выбранного сечения провода всем требованиям Правил устройства электроустановок в части

допустимых длительных токовых нагрузок для заданных условий монтажа и последующей эксплуатации.

Табличное значение допустимого тока СИП–3 1×95–20 $I_{доп.табл.} = 245 \text{ А}$.
Тогда по условию (11).

$$I_{дл.д.} = 245 \cdot 1,21 = 296,45 \text{ А}.$$

Провод проходит по условию (11), так как $141,14 \text{ А} < 296,45 \text{ А}$.

«Проверка по термической стойкости к токам КЗ.

Сечение, при котором проводник обладает термической стойкостью к току короткого замыкания при заданной величине времени срабатывания защиты определяется» [20]

$$I_{доп.кз(\tau)}^{(3)} = I_{доп.кз(1с)}^{(3)} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tau}}, \quad (21)$$

где « $I_{доп.кз(1с)}^{(3)} = 4,3 \text{ кА}$ – допустимый ток односекундного короткого замыкания для провода марки СИП–3 1×95–20, кА;

$\tau = t_{откл} = 0,5$ – время протекания токов короткого замыкания, равное времени срабатывания защиты, с» [20].

$$I_{доп.кз(\tau)}^{(3)} = 4,3 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,5}} = 6,68 \text{ кА}.$$

«Условие проверки по термической стойкости к токам КЗ защищённого провода» [20]

$$I_K^{(3)} < I_{доп.кз(\tau)}^{(3)}. \quad (22)$$

Ток короткого замыкания на шинах 10 кВ ТП $I_{K_1}^{(3)} = 6,258$ кА (формула 29).

Условие проверки (22) выполняется, так как $6,258 < 6,68$ кА.

Проверка по допустимым потерям напряжения.

Проверка проводов 10 кВ по допустимым потерям напряжения производится аналогично проверке проводов 0,4 кВ по формулам (12...13).

Расчёт потерь напряжения произведён в таблице 4.

Таблица 4 – Расчёт потерь напряжения линии 10 кВ

Удельное активное сопротивление фазного провода r_0 , Ом/км	Удельное реактивное сопротивление фазного провода x_0 , Ом/км	Длина l , м	Активное сопротивление провода расчётного участка r , Ом	Реактивное сопротивление провода фазы расчётного участка x , Ом	Активная мощность $P_{уч}$, кВт	Реактивная мощность $Q_{уч}$, кВар	Потери напряжения $\Delta U_{уч}$, В	Потери напряжения $\Delta U\%$, %
0,446	0,284	0,256	0,114	0,072	2157,08	1391,4	25,8	0,25

Из таблицы 4 видно, потери напряжения составляют 0,25%, что допустимо по ГОСТ 32144–2013. Столь небольшое отклонение напряжения объясняется относительной близостью ВЭЛ 10 кВ.

2.7 Расчет потерь электроэнергии в трансформаторе

«Потери электрической энергии в трансформаторе за год» [25]:

$$\Delta W_{mp} = \Delta P_{м.н.} \left(\frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \tau + \Delta P_x 8760, \quad (23)$$

где « $\tau = 2608$ ч – время максимальных потерь» [25]

$$\Delta W_{mp} = 26,5 \left(\frac{2437,11}{2500} \right)^2 \cdot 2608 + 2,5 \cdot 8760 = 87578 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

2.8 Расчет токов короткого замыкания

Согласно [15], «все электрические аппараты выбирают по номинальному напряжению и току и проверяют на термическую и динамическую стойкость. Средства защиты также проверяют на чувствительность и селективность действия. Для этого необходимо рассчитать трёхфазный ток короткого замыкания на шинах ТП и однофазный ток короткого замыкания в самых отдалённых точках линии 0,4 кВ» [15].

«Рассчитаем ток трёхфазного короткого замыкания одной из линий по расчётной схеме на рисунке 2» [26].

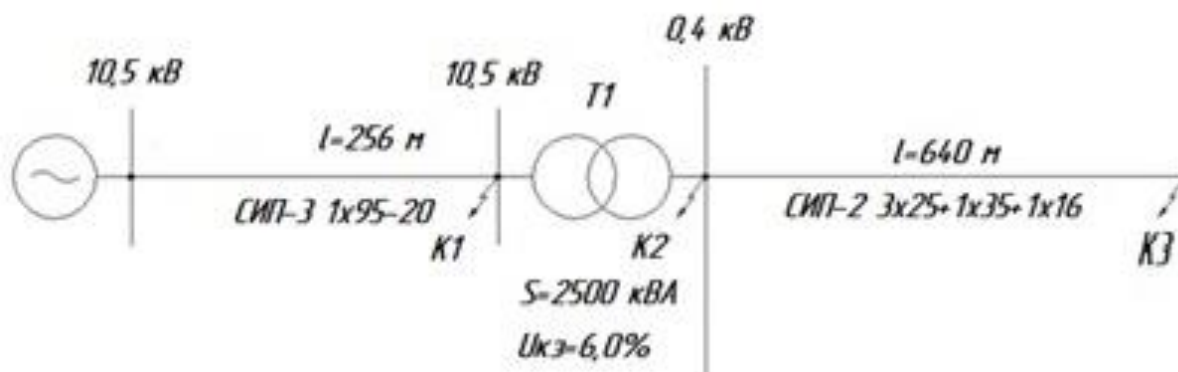


Рисунок 2 – Схема для расчёта токов КЗ

«Расчёт в именованных единицах проведём, используя формулы, приведённые ниже. Принимаем за базисные величины в качестве единиц измерения междуфазное напряжение $U_6=10,5$ кВ и базисную мощность трехфазной системы $S_6=2500$ кВА» [26].

Периодическая составляющая тока при трёхфазном коротком замыкании в точке К:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_6}{\sqrt{3}z_\Sigma}, \quad (24)$$

где « U_6 – напряжение ступени, принятой за базисную, кВ;

z_Σ – результирующее сопротивление, Ом» [15].

Приведённое сопротивления трансформатора:

$$x_T = \frac{u_K \%}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_n}, \quad (25)$$

где « u_K % – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

ΔP_{K3} – потери короткого замыкания в трансформаторе при номинальном напряжении, кВт;

S_n – номинальная мощность трансформатора, кВА» [15].

Приведённые сопротивления линии:

$$r_l = r_{y\partial} l \left(\frac{U_6}{U_{cp.n}} \right)^2, \quad (26)$$

$$x_l = x_{y0} l \left(\frac{U_{\delta}}{U_{cp.n}} \right)^2, \quad (27)$$

где « r_{y0}, x_{y0} – удельные активные и индуктивные сопротивления проводника в линии, Ом/км;
 l – длина линии, км» [15].

Приведённое сопротивление системы с известным током короткого замыкания на её шинах:

$$x_c = \frac{U_{cp.n}}{\sqrt{3} \cdot I_K''^{(3)}} \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{cp.n}} \right)^2, \quad (28)$$

где « $I_K''^{(3)}$ – ток короткого замыкания на шинах системы, кА» [15].

«Ток в месте короткого замыкания» [15]:

$$I_K^{(3)} = I_K^{(3)} \frac{U_{\delta}}{U_{cp.n}}, \quad (29)$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_y = \sqrt{2} k_y I_n'', \quad (30)$$

где « $I_n'' = I_K^{(3)}$ – периодическая составляющая тока короткого замыкания, кА;
 k_y – ударный коэффициент» [15].

«Ток при однофазном коротком замыкании в сетях 380/220 В» [15]

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + z_{II}}, \quad (31)$$

$$z_{II} = l \sqrt{(r_{уд.ф} + r_{уд.н})^2 + x_{уд.н.внешн}^2}, \quad (32)$$

где « z_{II} – полное сопротивление петли «фаза–ноль» линии, Ом;

$Z_T = 40 \text{ Ом}$ – полное сопротивление трансформатора мощностью 100 кВА при однофазном коротком замыкании» [16];

« $r_{уд.ф}, r_{уд.н}$ – удельные сопротивления фазного и нулевого проводов соответственно, Ом/км;

$x_{уд.н.внешн} = 0,6$ – удельное индуктивное сопротивление петли для проводов из любого материала, Ом/км» [16].

Для схемы на рисунке 2 составляем эквивалентную ей схему замещения и показываем ее на рисунке 3.

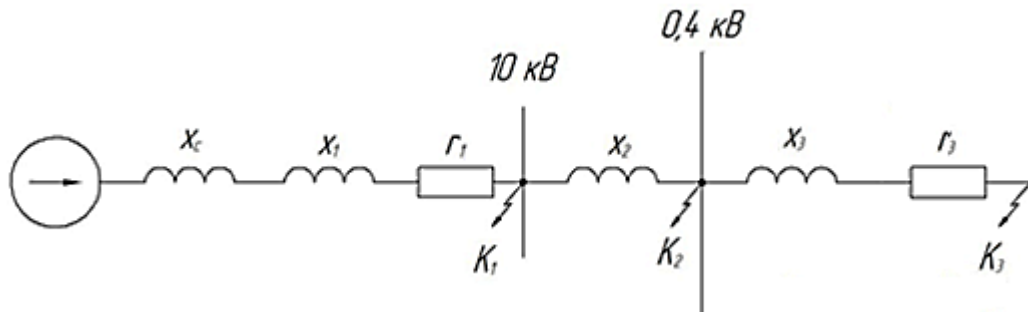


Рисунок 3 – Схема замещения для расчёта токов КЗ

По схеме на рисунке 3 определим сопротивления элементов схемы, приведённые к базисному напряжению.

Найдём ток короткого замыкания в точке K_1 . Найдём сопротивления элементов схемы:

$$x_T = x_3 = \frac{6,0}{100} \cdot \frac{10,5^2}{2500} = 2,26 \text{ Ом},$$

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 6,258} \cdot \left(\frac{10,5}{10,5} \right)^2 = 0,968 \text{ Ом}.$$

$$r_1 = 0,47 \cdot 0,256 \cdot \left(\frac{10,5}{0,4} \right)^2 = 82,91 \text{ Ом},$$

$$x_1 = 0,284 \cdot 0,256 \cdot \left(\frac{10,5}{0,4} \right)^2 = 50,09 \text{ Ом},$$

$$Z_{\Sigma 1} = \sqrt{82,91^2 + 50,09^2} = 96,87 \text{ Ом},$$

$$I_{K_1}^{(3)} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 96,87} = 6,258 \text{ кА},$$

$$I_{K_1}^{(3)\circ} = 6,258 \cdot \frac{10,5}{10,5} = 6,258 \text{ кА},$$

По аналогичным формулам рассчитаем ток КЗ в точке 2:

$$Z_{\Sigma 2} = 96,87 + 2,26 = 99,13 \text{ Ом},$$

$$I_K^{(1)} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\frac{2,26}{3} + 99,13} = 10,6 \text{ А},$$

$$I_{K_2}^{(3)} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 99,13} = 6,11 \text{ кА},$$

$$I_{K_2}^{(3)\circ} = 6,11 \cdot \frac{10,5}{10,5} = 6,11 \text{ кА}.$$

Аналогично рассчитаем ток КЗ в точке 3:

$$r_3 = 0,411 \cdot 0,64 \cdot \left(\frac{10,5}{0,4} \right)^2 = 181,25 \text{ Ом},$$

$$x_3 = 0,075 \cdot 0,64 \cdot \left(\frac{10,5}{0,4} \right)^2 = 33,075 \text{ Ом},$$

$$Z_3 = \sqrt{181,25^2 + 33,075^2} = 183,99 \text{ Ом},$$

$$Z_{\Sigma 3} = 99,13 + 183,99 = 283,12 \text{ Ом},$$

$$I_{K_3}^{(3)} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 283,12} = 2,04 \text{ кА},$$

$$I_{K_3}^{(3)\circ} = 2,04 \cdot \frac{10,5}{10,5} = 2,04 \text{ кА}.$$

Найдём ударные токи в точках короткого замыкания. Для этого определим ударные коэффициенты k_y по графикам из [16] в зависимости от соотношения r_{Σ} / x_{Σ} . В точке К1 $r_{\Sigma 1} / x_{\Sigma 1} = 82,91 / 50,09 = 1,65$, ему соответствует $k_{уд.1} = 1,18$. В точке К2 $r_{\Sigma 2} / x_{\Sigma 2} = 82,91 / 53,35 = 1,554$, ему соответствует $k_{уд.1} = 1,16$. В точке К3 $r_{\Sigma 3} / x_{\Sigma 3} = 181,25 / 33,07 = 5,48$, ему соответствует $k_{уд.1} = 1,37$. Тогда:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,18 \cdot 6,258 = 10,443 \text{ кА},$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,16 \cdot 6,11 = 10,023 \text{ кА},$$

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 2,04 = 3,952 \text{ кА}.$$

2.9 Расчет и выбор аппаратов защиты

Выбор автоматических выключателей для отходящих линий.

«Автоматические выключатели выбирают в соответствии с условиями»

[3]. Напряжение сети:

$$U_{ном.авт} \geq U_{ном}, \quad (33)$$

где « $U_{ном.авт}$ – номинальное напряжение автомата, В;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, В» [3].

Номинальный ток теплового расцепителя:

$$I_{ном.т.р} \geq k_n I_{нагр}, \quad (34)$$

где « $I_{ном.т.р}$ – номинальный ток теплового расцепителя, А;

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

$k_n = 1,1$ – коэффициент надёжности, зависящий от условий пуска электродвигателей, подключенных к линии с нормальными условиями пуска (продолжительность времени пуска от 2 до 10 секунд)» [28].

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя:

$$I_{сраб.э.расц} \geq k_{н.э} I_{max}, \quad (35)$$

где « $I_{сраб.э.расц}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А;

I_{max} – максимальный ток, А;

$k_{н.э} = 1,4$ – коэффициент надёжности, учитывающий разброс по току электромагнитного расцепителя для автоматических выключателей с номинальным током 100 А» [28].

«Предельный допустимый ток отключения автомата» [28]:

$$I_{пр.авт} \geq I_{K3max}^{(3)}, \quad (36)$$

где « $I_{np.авт}$ – предельный ток отключения автомата, кА;

$I_{K3\max}^{(3)}$ – максимальный ток трёхфазного короткого замыкания, кА»
[28].

Чувствительность теплового расцепителя:

$$\frac{I_K^{(1)}}{I_{ном.т.р}} \geq 3. \quad (37)$$

В случае несоответствия параметров условию (37), в электрическую схему вводится независимый расцепитель, активируемый посредством токового реле. Обмотка данного реле подключается в нулевой проводник цепи, что обеспечивает контроль тока нулевой последовательности. Выбор уставки срабатывания реле тока осуществляется на основании расчетных параметров, определяемых техническими требованиями к защитным устройствам. При этом должны учитываться следующие факторы:

- номинальные характеристики защищаемой электроустановки;
- условия эксплуатации оборудования;
- требования к селективности защиты;
- допустимые пределы токовых нагрузок.

Указанные параметры регламентируются соответствующими нормативными документами и техническими условиями на эксплуатацию электрооборудования. Ток срабатывания реле выбирают в соответствии с условием

$$\frac{I_K^{(1)}}{I_{y.p}} \geq 2, \quad (38)$$

где $I_{y.p}$ – ток срабатывания реле, А.

Для защиты отходящих линий выберем автоматические выключатели типа ВА88–32. Технические характеристики приведены в таблице 5 [1].

Таблица 5 – Технические характеристики автоматического выключателя ВА88–32

Номинальное напряжение $U_{ном.авт}$, В	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{ном.т.р}$, А	Ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{сраб.э.расц}$, А	Предельный ток отключения автомата $I_{пр.авт}$, кА
400	12,5; 16; 25; 32; 40	500	12,5
	50; 63; 80; 100; 125	$10 \cdot I_{ном.т.р}$	

Условие (33) выполняется, так как $400 В = 400 В$.

Произведём выбор номинального тока теплового расцепителя для отходящей линии №1. Согласно условию (34):

$$I_{ном.т.р} \geq 1,1 \cdot 82,5,$$

$$I_{ном.т.р} \geq 90,75 А.$$

Принимаем $I_{ном.т.р} = 100 А$.

Согласно условию (35):

$$I_{сраб.э.расц} \geq 1,4 \cdot 82,5,$$

$$I_{сраб.э.расц} \geq 115,5 А.$$

Условие (35) выполняется, $1000 А > 99,72 А$.

Условие (36) выполняется, $12,5\text{кА} > 6,258\text{кА}$

Условие (37) выполняется, $10,6 \cdot 10^3 / 100 = 106 \geq 3$.

Выбор и проверку автоматических выключателей для остальных линий сведём в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор и проверка автоматических выключателей отходящих линий трансформаторной подстанции

№ линии	Наименование	Каталожная величина для аппарата	Расчётная величина	Условия выбора и проверки
1	ВА88–32	$U_{\text{ном.авт}} = 400 \text{ В}$	$U_{\text{ном}} = 400 \text{ В}$	$400 = 400 \text{ В}$
		$I_{\text{ном.т.р}} = 100 \text{ А}$	$k_n I_{\text{нагр}} = 90,75 \text{ А}$	$100 \geq 90,75 \text{ А}$
		$I_{\text{сраб.э.расц}} = 1000 \text{ А}$	$k_{н.э} I_{\text{max}} = 115,5 \text{ А}$	$1000 > 115,5 \text{ А}$
		$I_{\text{пр.авт}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{КЗ max}}^{(3)} = 6,256 \text{ кА}$	$12,5 \geq 6,256 \text{ кА}$
2	ВА88–32	$U_{\text{ном.авт}} = 400 \text{ В}$	$U_{\text{ном}} = 400 \text{ В}$	$400 = 400 \text{ В}$
		$I_{\text{ном.т.р}} = 80 \text{ А}$	$k_n I_{\text{нагр}} = 47,25 \text{ А}$	$80 > 47,25 \text{ А}$
		$I_{\text{сраб.э.расц}} = 800 \text{ А}$	$k_{н.э} I_{\text{max}} = 60,14 \text{ А}$	$800 \geq 60,14 \text{ А}$
		$I_{\text{пр.авт}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{КЗ max}}^{(3)} = 3,1 \text{ кА}$	$12,5 \geq 3,1 \text{ кА}$
3	ВА88–32	$U_{\text{ном.авт}} = 400 \text{ В}$	$U_{\text{ном}} = 400 \text{ В}$	$400 = 400 \text{ В}$
		$I_{\text{ном.т.р}} = 100 \text{ А}$	$k_n I_{\text{нагр}} = 73,24 \text{ А}$	$100 \geq 73,24 \text{ А}$
		$I_{\text{сраб.э.расц}} = 1000 \text{ А}$	$k_{н.э} I_{\text{max}} = 93,21 \text{ А}$	$1000 > 93,21 \text{ А}$
		$I_{\text{пр.авт}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{КЗ max}}^{(3)} = 3,1 \text{ кА}$	$12,5 \geq 3,1 \text{ кА}$
4	ВА88–32	$U_{\text{ном.авт}} = 400 \text{ В}$	$U_{\text{ном}} = 400 \text{ В}$	$400 = 400 \text{ В}$
		$I_{\text{ном.т.р}} = 80 \text{ А}$	$k_n I_{\text{нагр}} = 23,43 \text{ А}$	$80 > 23,43 \text{ А}$
		$I_{\text{сраб.э.расц}} = 800 \text{ А}$	$k_{н.э} I_{\text{max}} = 29,82 \text{ А}$	$800 > 29,82 \text{ А}$
		$I_{\text{пр.авт}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{КЗ max}}^{(3)} = 3,1 \text{ кА}$	$12,5 \geq 3,1 \text{ кА}$
Уличное освещение	ВА47–29	$U_{\text{ном.авт}} = 400 \text{ В}$	$U_{\text{ном}} = 230 \text{ В}$	$400 > 230 \text{ В}$
		$I_{\text{ном.т.р}} = 25 \text{ А}$	$k_n I_{\text{нагр}} = 22,14 \text{ А}$	$25 > 22,14 \text{ А}$
		$I_{\text{сраб.э.расц}} = 125 \text{ А}$	$k_{н.э} I_{\text{max}} = 31 \text{ А}$	$125 > 31 \text{ А}$

Продолжение таблицы 6

№ линии	Наименование	Каталожная величина для аппарата	Расчётная величина	Условия выбора и проверки
Уличное освещение	ВА47–29	$I_{нр.авт} = 4,5 \text{ кА}$	$I_{K3 \max}^{(3)} = 3,1 \text{ кА}$	$4,5 > 3,1 \text{ кА}$
		$I_{ср.э.расц} = 125 \text{ А}$	$I_{K3 \text{осв}}^{(1)} = 173,53 \text{ А}$	$173,53 > 125 \text{ А}$
			$I_{K4 \text{осв}}^{(1)} = 177,33 \text{ А}$	$177,33 > 125 \text{ А}$
			$I_{K5 \text{осв}}^{(1)} = 213,89 \text{ А}$	$213,89 > 125 \text{ А}$
			$I_{K6 \text{осв}}^{(1)} = 312,02 \text{ А}$	$312,02 > 125 \text{ А}$

Выбранные автоматические выключатели и реле тока проходят по всем условиям.

Выбор предохранителей.

В целях обеспечения надежной защиты электрооборудования от разрушающего воздействия токов короткого замыкания на стороне высшего напряжения 10 кВ было принято техническое решение об установке высоковольтного предохранителя типа ПКТ-10, обладающего необходимыми защитными характеристиками. Определение номинального тока для предохранителя ПКТ-10 требует проведения комплексного анализа и согласования его времятоковых характеристик с параметрами других защитных устройств в схеме.

Особое внимание при проектировании уделяется временной координации работы двух ключевых элементов защиты:

- высоковольтного предохранителя ПКТ-10;
- автоматического выключателя ВА88-32, установленного на отходящей распределительной линии.

Процедура согласования характеристик выполняется для наиболее тяжелого аварийного режима, соответствующего возникновению короткого

замыкания непосредственно на выходных клеммах автоматического выключателя. При проектировании защиты принципиально важно обеспечить строго определенную последовательность срабатывания защитных аппаратов:

- первоочередное отключение аварийного участка автоматическим выключателем ВА88-32;
- с последующим (с временной задержкой не менее 500 мс) срабатыванием предохранителя ПКТ-10.

Верификация правильности согласования защитных характеристик осуществляется с использованием специально разработанной карты селективности, представленной на рисунке 4.

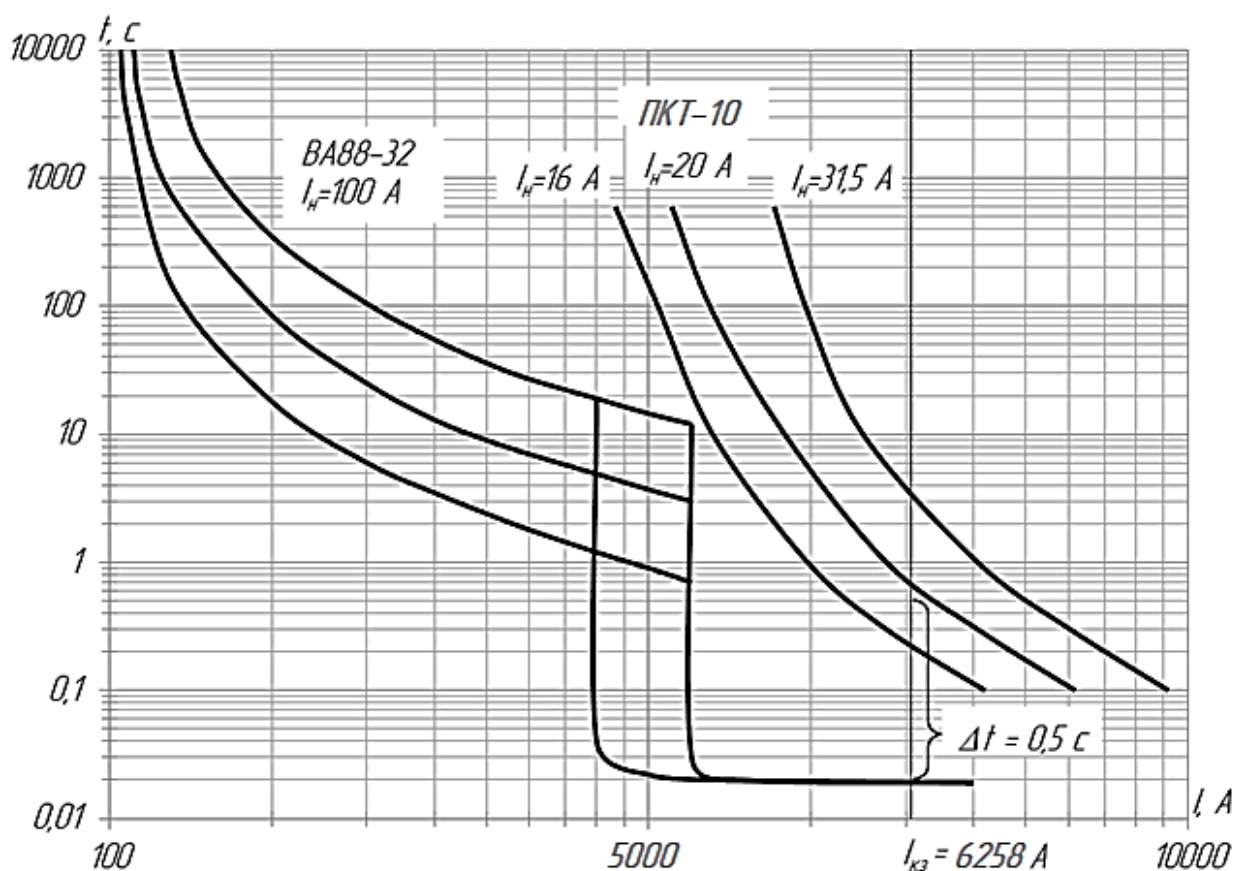


Рисунок 4 – Карта селективности работы аппаратов ВА88–32 и ПКВ–10

Указанная карта содержит графическое сопоставление следующих основных параметров:

- полную времятоковую характеристику автоматического выключателя ВА88-32 на номинальный ток 100 А;
- семейство кривых срабатывания предохранителя ПКТ-10 для различных номинальных токов.

Проведенные расчеты и анализ подтвердили корректность согласования защитных характеристик при значениях токов короткого замыкания, достигающих соответствующих значений. «У выбранного ПКТ–10 номинальный ток $I_n = 20$ А. При коротком замыкании сразу за автоматом сработает электромагнитный расцепитель и отключит короткое замыкание за 0,02 с, при отказе автомата через 0,5 с сработает ПКТ–10. Предохранители типа ПКТ–10 проверяют по следующим условиям» [12].

По напряжению:

$$U_{ном.ап} = U_{ном}. \quad (39)$$

По номинальному току:

$$I_{ном.ап} \geq I_p, \quad (40)$$

По отключающей способности:

$$I_{отк.ап} \geq I_K^{(3)}.$$

Проверку предохранителей проведём в таблице 7.

Таблица 7 – Проверка предохранителей ПКТ–10

Каталожная величина для аппарата	Расчётная величина	Условия выбора и проверки
$U_{ном.ап} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$10 = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном.ап} = 20 \text{ А}$	$I_p = 8,08 \text{ А}$	$20 > 8,08 \text{ А}$
$I_{откап} = 12,5 \text{ кА}$	$I_K^{(3)} = 6,258 \text{ кА}$	$12,5 \geq 6,258 \text{ кА}$

Выбранный предохранитель проходит по всем условиям.

«Выбор разъединителя. Разъединители проверяются по следующим условиям.

По напряжению» [12]:

$$U_{ном.ап} \geq U_{ном}. \quad (41)$$

По номинальному току:

$$I_{ном.ап} \geq I_p, \quad (42)$$

По ударному току:

$$i_{макс} \geq i_y, \quad (43)$$

где « $i_{макс}$ – амплитудное значение максимального допустимого тока разъединителя, кА» [12].

По термической стойкости:

$$I_m^2 t \geq I_{уст}^2 t_{пр}, \quad (44)$$

где « I_m – ток термической стойкости разъединителя, указанный для времени t , кА;

t_{np} – приведённое (фиктивное) время короткого замыкания, с» [12].

Выберем разъединитель типа РЛНД–1–10Б/400 [13]. Паспортные данные и проверка разъединителя сведены в таблицу 8.

Для проверки на термическую стойкость время приведённое время короткого замыкания определено как $t_{np} = t_z$, где $t_z = 0,5$ с.

Таблица 8 – Проверка разъединителя РЛНД–1–10Б/400

Каталожная величина для аппарата	Расчётная величина	Условия выбора и проверки
$U_{ном.ап} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$10 = 10$ кВ
$I_{ном.ап} = 200$ А	$I_p = 8,08$ А	$200 > 8,8$ А
$i_{max} = 15,75$ кА	$i_{ударн} = 10,023$ кА	$15,75 > 10,023$ кА
$I_m^2 t = 300$ кА ² ·с	$I_{уст}^2 t_{np} = 4,55$ кА ² ·с	$300 > 4,55$ кА ² ·с

Разъединитель РЛНД–1–10Б/400 удовлетворяет всем условиям проверки.

2.10 Расчет релейной защиты

Релейную защиту трансформатора выполним на базе ТЭМП 2501 – комплектного устройства РЗА на 6–35 кВ [23].

Устройства серии "ТЭМП 2501" находят широкое применение в составе вторичных цепей различных энергетических объектов, включая электрические станции различного типа и мощности. Данные устройства могут быть успешно интегрированы в схемы управления и защиты трансформаторных подстанций, а также распределительных устройств различного класса напряжения.

Конструктивные особенности аппаратуры позволяют осуществлять её эксплуатацию в сетях с различными видами оперативного тока, включая переменный ток промышленной частоты 50 Гц. Помимо работы на переменном токе, устройства поддерживают режимы функционирования с выпрямленным переменным и постоянным оперативным током, что расширяет область их применения. Универсальность монтажных характеристик обеспечивает возможность установки аппаратуры в комплектные распределительные устройства одностороннего обслуживания (КСО) различных производителей. Устройства могут быть смонтированы в составе комплектных распределительных устройств (КРУ) любого типа, независимо от компании-изготовителя основного оборудования. Особенностью конструкции является возможность установки в распределительные устройства наружного исполнения (КРУН), эксплуатируемые в сложных климатических условиях.

Аппаратура успешно применяется в составе комплектных трансформаторных подстанций собственных нужд (КТП СН), обеспечивая надежную работу систем управления. Монтаж устройств может осуществляться как на стандартных панелях релейной защиты, так и в специализированных шкафах управления и автоматики.

«Все устройства серии «ТЭМП 2501» имеют две группы уставок защит, автоматики и конфигурации программных переключателей, что позволяет использовать устройства для защиты присоединений с изменяющейся во времени нагрузкой. Переключение между группами уставок (выбор активной группы) осуществляется с лицевой панели устройства, по последовательному порту связи либо автоматически по факту срабатывания дискретного входа.

Устройства серии «ТЭМП 2501» обеспечивают хранение уставок, конфигурации и зарегистрированных событий (в т.ч. и осциллограмм) независимо от наличия напряжения питания сколь угодно долго в течение всего срока службы (не менее 25 лет).

Устройства содержат встроенные часы–календарь, благодаря которым обеспечивается привязка зарегистрированных параметров (аварийных ситуаций) к реальному времени.

В составе устройств реализована развитая система самодиагностики, которая обеспечивает постоянный контроль исправности их аппаратных ресурсов. При обнаружении неисправности устройства его работа блокируется, выдается предупреждающая сигнализация и дополнительная информация об источнике неисправности» [8].

Конструктивное исполнение устройства ТЭМП 2501-1 представляет собой модульную систему, состоящую из набора функциональных блоков, объединенных в единую кассету, что обеспечивает удобство обслуживания и замены компонентов. «Соединение между отдельными функциональными модулями реализовано посредством многослойной объединительной печатной платы и системы гибких экранированных жгутов, обеспечивающих надежный электрический контакт и защиту от помех. Органы управления и индикации, включая многоцветные светодиодные индикаторы, графический жидкокристаллический дисплей и тактильные кнопки управления, смонтированы на отдельной плате интерфейса, расположенной в тыльной части лицевой панели» [23].

«В состав устройства входят следующие блоки:

- блок питания П1273;
- блок входных трансформаторов Д1860;
- блок входных дискретных сигналов Р1457;
- блок индикации и управления И2303;
- измерительный блок L2303;
- блок выходных реле Р1435;
- объединительная плата» [23].

Структурная схема устройства приведена на рисунке 5.

Для организации связи с внешними устройствами на лицевой панели предусмотрен стандартизированный разъем последовательного интерфейса, позволяющий осуществлять подключение к персональному компьютеру для настройки и диагностики. Функциональная архитектура устройства включает семь основных модулей, каждый из которых выполняет специализированные задачи в рамках общей системы управления и защиты. Центральным элементом устройства является программируемый логический контроллер, ядром которого служит высокопроизводительный процессорный модуль, интегрированный в состав измерительного блока L2303.

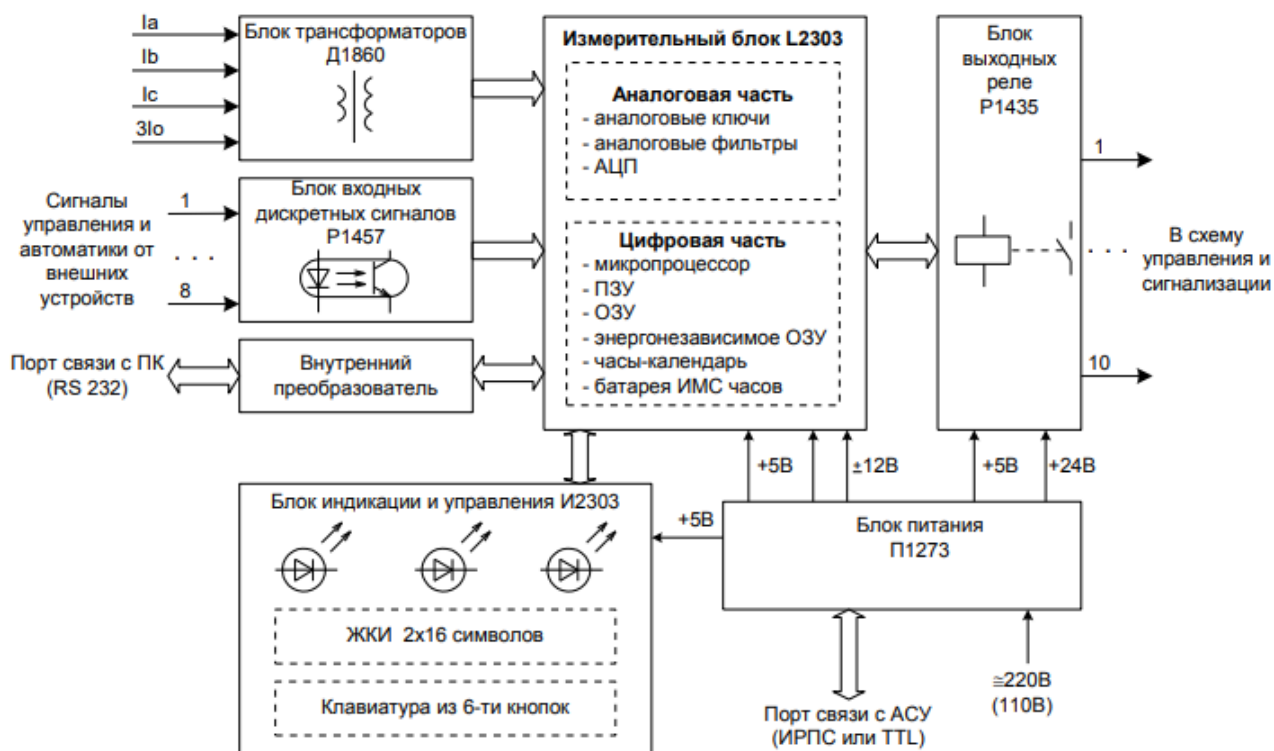


Рисунок 5 – Структурная схема устройства

Процессорный модуль осуществляет координацию работы всех функциональных блоков, включая сбор и обработку измерительной информации, управление релейными выходами и взаимодействие с оператором

через интерфейсные элементы. Система защиты устройства реализует трехуровневый алгоритм максимальной токовой защиты, обеспечивающий надежное отключение междуфазных коротких замыканий в защищаемой электроустановке.

Каждая ступень токовой защиты содержит три независимых фазных реле тока, срабатывающих при превышении установленных пороговых значений тока в соответствующих фазах. «Блок питания П1273 обеспечивает преобразование входного оперативного напряжения в стабилизированные уровни, необходимые для питания различных компонентов устройства. Трансформаторный входной модуль Д1860 выполняет важные функции гальванической развязки и нормализации входных сигналов, поступающих от измерительных трансформаторов тока» [23]. Обработка аналоговых сигналов осуществляется в измерительном блоке, где происходит их оцифровка и последующий анализ в соответствии с запрограммированными алгоритмами защиты.

Рассмотрим максимальную токовую защиту (МТЗ).

В устройстве ТЭМП 2501–1 реализована трехступенчатая ненаправленная МТЗ от междуфазных замыканий. Структурная схема МТЗ изображена на рисунке 6. «МТЗ содержит три ненаправленных ступени с возможностью ускорения 2 ступени при включении выключателя. Ввод в работу 1 и 2 ступени МТЗ осуществляется с помощью программных переключателей SGF2.2 и SGF2.1 соответственно» [23].

«Для 1 и 2 ступеней МТЗ возможна установка автоматического удвоения уставок по току срабатывания с помощью программных переключателей SGF2.4 и SGF2.3 соответственно. При введенных программных переключателях удвоение уставок по току производится автоматически при отключении выключателя (срабатывании реле РПО). Таким образом, при включении

выключателя на время возврата реле РПО вводятся удвоенные уставки по току» [23].

«Третья ступень МТЗ имеет как независимую, так и обратозависимые характеристики срабатывания: четыре типа, в соответствии с ГОСТ 27918 («чрезвычайно инверсная», «сильно инверсная», «нормально инверсная» и «длительно инверсная») и два типа инверсных характеристик, называемых «RI» и «RD-кривая». Выбор вида характеристики, а также ввод/вывод третьей ступени МТЗ из работы, осуществляется с помощью программных переключателей SGF1.1– SGF1.3» [23].

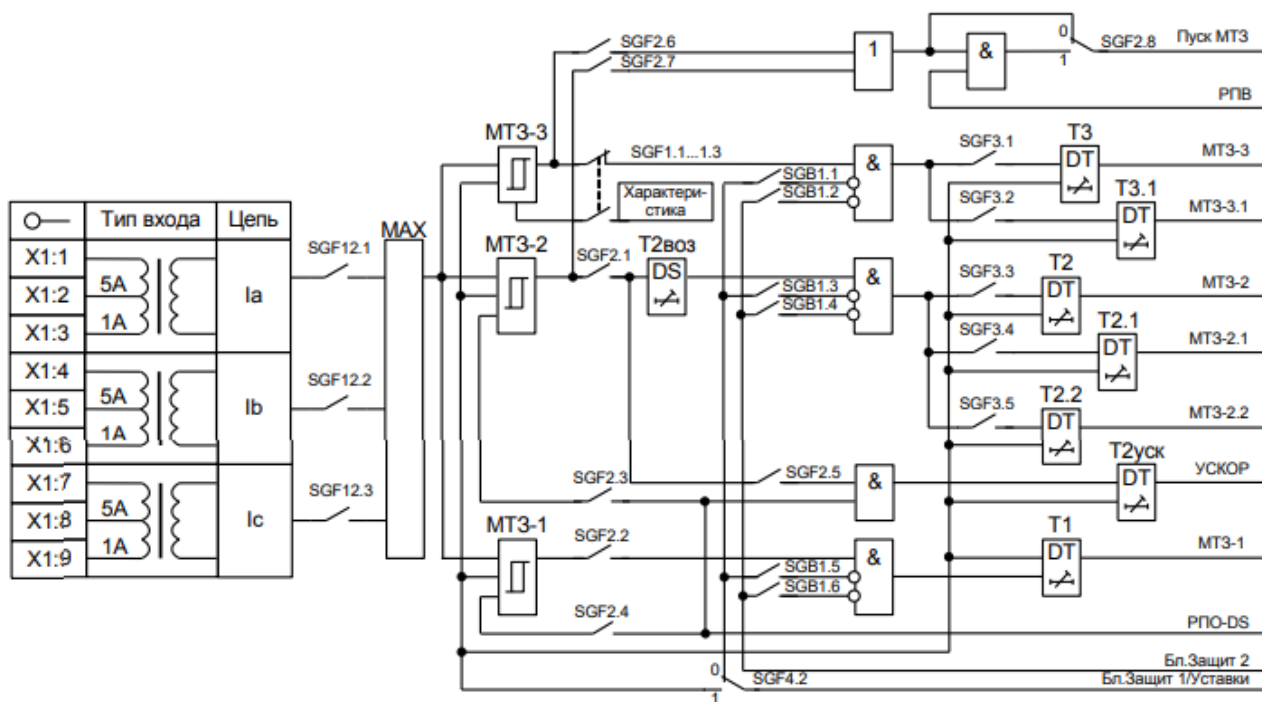


Рисунок 6 – Структурная схема МТЗ от междуфазных замыканий

«Каждая ступень МТЗ выполнена в виде трёх однофазных реле тока, которые пускаются, когда ток одной или нескольких фаз превышает величину уставки соответствующей ступени. При пуске ступени начинается отсчет выдержки времени, определяемой уставкой по времени срабатывания. По

истечении выдержки времени происходит срабатывание защиты. Пуск и срабатывание ступеней защит сопровождается срабатыванием определённых выходных реле, соответствующими сообщениями на дисплее и формированием событий для АСУ. Первая ступень МТЗ имеет одну регулируемую выдержку времени, вторая ступень – три независимые друг от друга регулируемые выдержки времени, действие которых вводится программными переключателями SGF3.3, SGF3.4 SGF3.5, третья ступень МТЗ – две выдержки времени, действие которых вводится переключателями SGF3.1 и SGF3.2» [23].

Рассчитаем уставки МТЗ.

Максимальный рабочий ток нагрузки выбирается с учетом возможности длительной работы трансформатора с перегрузкой 40%:

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{\sum S_{\text{ном.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (45)$$

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{2500 \cdot 1,4}{1,73 \cdot 10} = 202,31 \text{ A}$$

Ток срабатывания реле максимальной токовой защиты, выбранный по условию отстройки от максимального тока нагрузки:

$$I_{\text{с.р.р.рас}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзн}} \cdot k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{раб.мах}}}{k_{\text{г}} \cdot n_{\text{т}}}, \quad (46)$$

$$I_{\text{с.р.р.рас}} = \frac{1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 202,31}{0,8 \cdot 30} = 7,77 \text{ A}.$$

Ток срабатывания реле максимальной токовой защиты, выбранный по условию согласования за защитой при удаленном КЗ за трансформатором:

$$I_{\text{с.р.рас}} = \frac{k_{\text{н.с.}} \cdot I_{\text{с.з.пред.}}}{k_p \cdot n_T}, \quad (47)$$

$$I_{\text{с.р.рас}} = \frac{1,4 \cdot 202,31}{1 \cdot 30} = 9,44 \text{ A}$$

Выбираем $I_{\text{с.р.}} = 10 \text{ A}$. Тогда ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{с.р.}} \cdot n_T, \quad (48)$$

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{с.р.}} \times n_T = 10 \times 30 = 300 \text{ A}.$$

Расчетный режим для определения коэффициента чувствительности – трехфазное КЗ, в минимальном режиме работы системы, на стороне 10 кВ трансформатора и трехфазное КЗ за трансформатором на стороне 0,4 кВ, приведенное к напряжению 10кВ.

Чувствительность защиты в основной зоне:

$$k_q^{(2)} = \frac{0,865 \cdot I_{K1\min}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (49)$$

$$k_q^{(2)} = \frac{0,865 \cdot 6258}{300} = 18,04.$$

Полученный коэффициент чувствительности $k_q^{(2)} = 18,04 > 1,5$ – условие выполняется.

Чувствительность защиты в зоне резервирования:

$$k_q^{(2)} = \frac{0,865 \cdot I_{K2\min}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (50)$$

$$k_q^{(2)} = \frac{0,865 \times 2040}{300} = 5,88$$

Полученный коэффициент чувствительности в зоне резервирования $k_q^{(2)} = 5,88 > 3,5$ – условие выполняется.

Выдержку времени максимальной токовой защиты принимаем 0,5 с (переход на независимую часть характеристики).

Ток срабатывания реле токовой отсечки (МТО) выбирается по условию отстройки от максимального тока КЗ за трансформатором:

$$I_{\text{с.р.о.расч}} = \frac{k_n \cdot k_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{\text{КЗ max}}^{(3)}}{n_T}, \quad (51)$$

$$I_{\text{с.р.о.расч}} = \frac{1,4 \cdot 1 \cdot 6110}{30} = 28,513 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{\text{с.р.о.}} = 30 \text{ А}$. Тогда ток срабатывания МТО:

$$I_{\text{с.з.о.}} = I_{\text{с.р.о.}} \cdot n_T, \quad (52)$$

$$I_{\text{с.з.о.}} = 30 \cdot 30 = 900 \text{ А}$$

Расчетный режим для определения минимального коэффициента чувствительности – двухфазное КЗ на стороне 10 кВ трансформатора в минимальном режиме работы системы:

$$k_q = \frac{0,865 \cdot I_{\text{КЗ min}}^3}{I_{\text{с.з.о.}}}, \quad (53)$$

$$k_q = \frac{0,865 \cdot 6258}{900} = 6,014$$

Полученный минимальный коэффициент чувствительности $6,014 > 1,5$ – условие выполняется.

Выводы по разделу 2.

Расчет электрических нагрузок показал, что суммарная расчетная активная мощность жилых домов составила 2129,4 кВт, а реактивная мощность — 1147,7 квар. Полная мощность на стороне НН трансформатора — 2362,59 кВА. Освещение микрорайона выполнено светодиодными светильниками (60 Вт, 9000 Лм) с односторонней схемой размещения. Расчетная нагрузка уличного освещения определена с учетом удельной мощности 4,5 Вт/м и общей длины улиц 2796 м. Для обеспечения надежного электроснабжения выбрана двухтрансформаторная подстанция (КТП) с трансформатором ТМГ-2500 кВА, учитывающая нагрузки жилых домов, насосной станции (10 кВт) и детского сада (40 кВт). Провода СИП-3 (10 кВ) и СИП-2 (0,4 кВ) выбраны по допустимому току и потерям напряжения. Потери в линии 0,4 кВ не превышают 4,73%, а в линии 10 кВ — 0,25%, что соответствует нормативам. Максимальный ток трехфазного КЗ на стороне 10 кВ — 3,92 кА. Для защиты применены автоматические выключатели ВА88-32 и предохранители ПКТ-10, согласованные по селективности. Устройство ТЭМП 2501 обеспечивает трехступенчатую максимальную токовую защиту с уставками:

- $I_{сз} = 5,2$ А (основная зона, чувствительность 2,45);
- $I_{мто} = 31,2$ А (отсечка, чувствительность 6,01).

Проект соответствует нормативным требованиям по надежности и безопасности электроснабжения микрорайона.

3 Безопасность проекта

3.1 Расчет заземления трансформаторной подстанции

Основной задачей данного раздела является проектирование заземляющего устройства подстанции с целью обеспечить ее нормальное функционирование во всех режимах работы. «На подстанции необходимы три вида заземлений: защитное, рабочее, молниезащитное. Для всех трех видов заземлений может использоваться одно и то же заземляющее устройство, но при этом его следует выбирать по наиболее жестким требованиям, т.е. по наименьшему допустимому значению. Для рабочего и защитного заземления почти всегда используется общий заземлитель. расчет рекомендуется выполнять по допустимому сопротивлению растеканию тока заземлителя» [14].

Требуемое сопротивление контура заземления $R = 4 \text{ Ом}$.

Принимаем удельное сопротивление грунта в районе установки подстанции $\rho_z = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Принимаем коэффициент сезонности $k_M = 1,3$.

Задаемся длиной вертикального заземлителя $L_B = 3 \text{ м}$.

«Задаемся шириной стороны вертикального заземлителя $b_B = 0,063 \text{ м}$, длиной горизонтального заземлителя $L_\Gamma = 21,8 \text{ м}$, шириной горизонтального заземлителя $b_\Gamma = 0,04 \text{ м}$, глубиной заложения горизонтального заземлителя $t_\Gamma = 0,7 \text{ м}$ » [14].

Определяем глубину заложения заземлителя от поверхности земли до середины стержня:

$$t_B = t_\Gamma + \frac{L_B}{2}, \quad (54)$$
$$t_B = 0,7 + \frac{3}{2} = 2,2 \text{ м}.$$

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя:

$$R_{oB} = \frac{0,366}{L_B} \cdot r_3 \cdot k_M \cdot \left[\log \frac{2 \cdot L_B}{0,95 \cdot b_B} + 0,5 \cdot \log \frac{4 \cdot t_B + L_B}{4 \cdot t_B - L_B} \right], \quad (55)$$
$$R_{oB} = \frac{0,366}{3} \cdot 200 \cdot 1,3 \cdot \left[\log \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,063} + 0,5 \cdot \log \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right] = 68,366 \text{ Ом.}$$

Сопротивление одиночного горизонтального заземлителя:

$$R_{o\Gamma} = \frac{0,366}{L_\Gamma} \cdot r_3 \cdot k_M \cdot \log \frac{2 \cdot L_\Gamma^2}{b_\Gamma \cdot t_B}, \quad (56)$$
$$R_{o\Gamma} = \frac{0,366}{21,8} \cdot 200 \cdot 1,3 \cdot \log \frac{2 \cdot 6,5^2}{0,04 \cdot 2,2} = 13,02 \text{ Ом.}$$

Задаемся:

- количество вертикальных заземлителей $n=22$ шт;
- коэффициент использования вертикальных заземлителей $k_B = 0,8$;
- коэффициент использования горизонтальных заземлителей $k_\Gamma = 0,5$.

Сопротивление вертикальных заземлителей:

$$R_B = \frac{R_{oB}}{k_B \cdot n}, \quad (57)$$
$$R_B = \frac{68,366}{0,8 \cdot 22} = 3,884 \text{ Ом.}$$

Сопротивление горизонтальных полос:

$$R_\Gamma = \frac{R_{o\Gamma}}{k_\Gamma}, \quad (58)$$
$$R_\Gamma = \frac{13,02}{0,5} = 26,04 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземляющего контура:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, \quad (59)$$
$$R_3 = \frac{3,884 \cdot 26,04}{3,884 + 26,04} = 3,383 \text{ Ом.}$$

Полученное значение $R_3=3,383$ Ом меньше допустимого $R = 4$ Ома, расчет выполнен верно.

3.2 Молниезащита и заземление домовладения

Устройство молниезащиты дома выполнено в соответствии с "Инструкцией по устройству молниезащиты зданий и сооружений" РД34.21.122–87 и "Инструкцией молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" СО 153–34.21.122–2003 по III категории. Проектом предусматривается защитное контурное заземление здания и применена система заземления типа TN–C–S.

Контур заземления выполнить по периметру здания согласно плана рисунка 7. Контур выполнить стальной полосой 4х40мм на расстоянии 1000 мм от стен здания на глубине 500 мм. Вертикальные заземлители выполнить стальным уголком 40х40х4мм, $h=2500$ мм. В качестве молниеприемника применить стальной прут $d=12$ мм. Сопротивление повторного заземлителя не нормируется (п.1.7.61, ПУЭ).

Зона защиты стержневого молниеприемника – Б. Молниеприемник $h=3500$ мм выполнить на верхнем коньке крыши, как показано на рисунке 8. В качестве токоотводов использовать стальные прутки $d=8$ мм. Токоотводы смонтировать по углам здания, присоединить к контуру заземления и молниеприемникам на крыше сваркой.

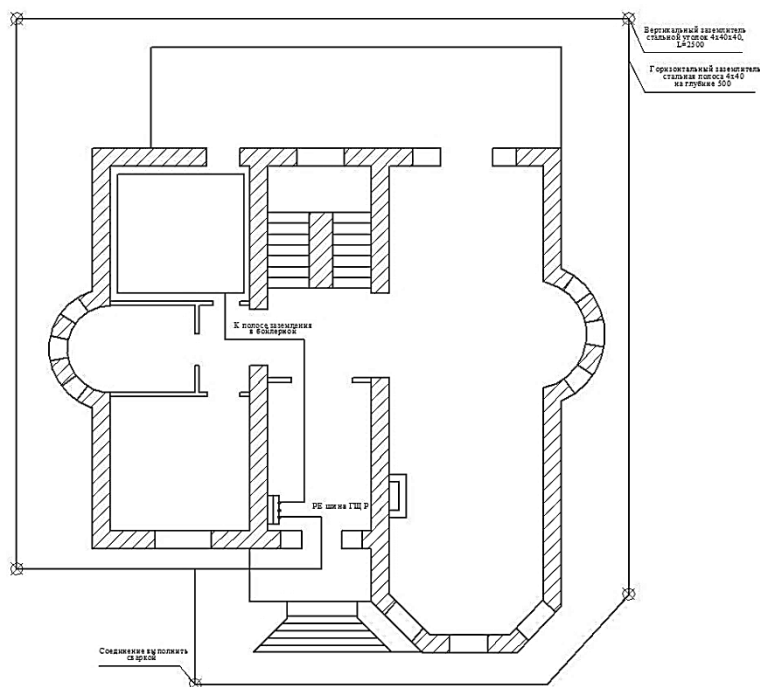


Рисунок 7 – Заземление дома

Все без исключения соединения токопроводящих элементов системы заземления и молниезащиты должны быть выполнены методом сварки с обеспечением непрерывности электрического контакта и минимального переходного сопротивления. Соединение основного контура заземления с РЕ-шиной распределительного щита этажного (ЩЭ) должно быть осуществлено посредством применения изолированного проводника марки ПВ-1х35, проложенного в двух точках в соответствии с утверждённой проектной документацией, а ввод в здание следует выполнить с использованием стальной полосы сечением 4х40 мм, обеспечивающей необходимую механическую прочность и электропроводность. Все соединения заземляющих и потенциалоравнивающих проводников с РЕ-шиной щита этажного (ЩЭ) должны быть выполнены с применением болтовых контактных соединений, обеспечивающих надёжный электрический контакт и соответствие требованиям нормативных документов [29].

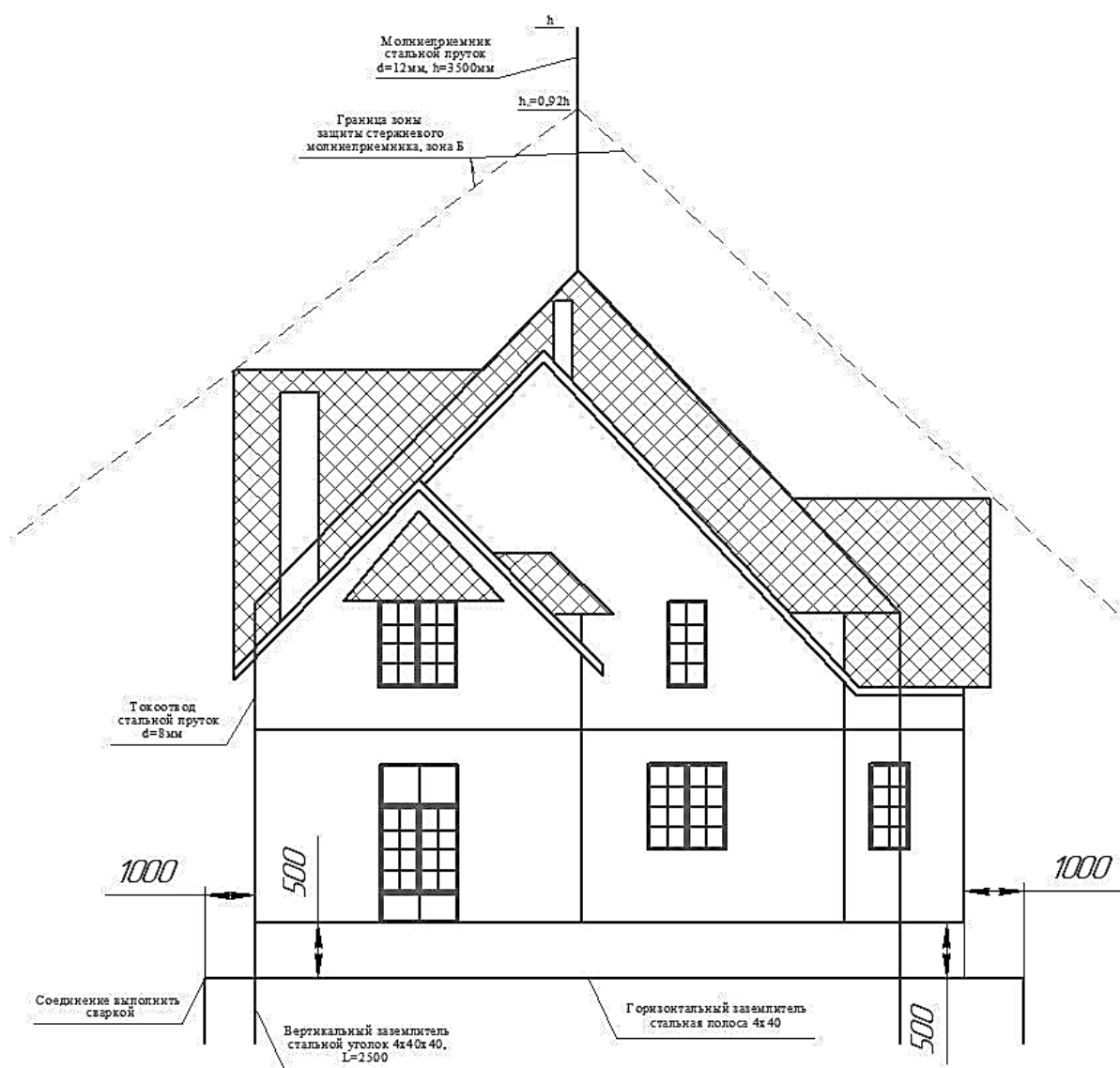


Рисунок 8 – Молниезащита дома

Выводы по разделу 3.

В данном разделе рассчитан контур заземления трансформаторной подстанции, составлена схема заземления подстанции, определена конфигурация контура заземления жилого дома, рассмотрены вопросы молниезащиты жилого дома.

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы, соответствующей требованиям образовательного стандарта, был проведен комплексный расчет электрических нагрузок с учетом перспективы развития, на основании полученных данных осуществлен научно обоснованный выбор необходимого силового, распределительного и защитного электрооборудования, включая трансформаторные подстанции и устройства релейной защиты, для обеспечения бесперебойного снабжения электрической энергией проектируемого жилого микрорайона категории энергопотребления А, а также разработана оптимальная схема их пространственного расположения на топографическом плане местности с привязкой к координатам.

В вводной части работы, а именно в первом разделе, представлен детализированный генеральный план расположения микрорайона с указанием зонирования территории, приведено развернутое техническое описание объекта капитального строительства, обосновано выбранное месторасположение трансформаторного распределительного пункта с учетом требований ПУЭ, проанализированы климатические и географические условия местности, включая среднегодовую температуру и уровень осадков, а также четко сформулированы основные цели проектирования, подлежащие достижению, и поставлен комплекс взаимосвязанных инженерных задач, решение которых необходимо для реализации поставленных целей в установленные сроки.

Во втором разделе выполнен поэтапный расчет электрических нагрузок микрорайона с применением метода коэффициента спроса, на основании полученных результатов произведен оптимальный выбор мощности и количества масляных силовых трансформаторов ТМГ на питающем пункте для надежного электроснабжения микрорайона, определены рациональные сечения медных проводов марки ВВГнг для кабельных линий питания жилых домов

микрорайона с учетом плотности тока, проведен трехфазный расчет токов короткого замыкания в характерных точках схемы, и на основании этих инженерных расчетов осуществлен выбор и последующая проверка параметров коммутационных аппаратов серии ВА для надежной защиты выбранного силового трансформатора от аварийных режимов.

В завершающем третьем разделе выполнен инженерный расчет контура заземления трансформаторной подстанции по методике, регламентированной ПУЭ 7 издания, разработана принципиальная схема заземляющего устройства с указанием всех элементов, определена оптимальная конфигурация контура заземления жилого дома с использованием стальных полос, рассмотрены современные методы молниезащиты жилого дома с применением стержневых молниеприемников в соответствии с требованиями РД 34.21.122-87.

Таким образом, комплексный электрический расчет распределительных сетей напряжением 10кВ и 0,38 кВ, позволил обоснованно выбрать наиболее эффективную конфигурацию воздушных и кабельных линий электропередачи и определить экономически целесообразные сечения токоведущих жил. При этом следует отметить, что выбранные сечения проводников сохраняют постоянное значение по всей протяженности каждой из линий, а расчетные потери напряжения в нормальном режиме работы не превышают предельно допустимых значений, установленных ГОСТ 32144-2013, что в совокупности оказывает положительное влияние на экономическую эффективность и энергоэффективность проекта в целом.

Список используемых источников

1. «Автоматические выключатели типа ВА88–32 [Электронный ресурс] : информационный ресурс «TDM Electromarket». URL: <https://tdmelectric.ru/collection/va88–32> (дата обращения: 24.01.2025)
2. Выбор мощности силового трансформатора [Электронный ресурс] : URL: <https://www.kesch.ru/info/articles/vybor–moshchnosti–silovogo–transformatora/> (дата обращения: 05.02.2025)
3. Выбор электрических аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания [Электронный ресурс] : URL: https://svel.ru/tekhnicheskaya–dokumentaciya/pue/obshchie_pravila/vybor_elektricheskikh_apparatov_i_provodnikov_po_usloviyam_korotkogo_zamykaniya/ (дата обращения: 06.02.2025)
4. Значения коэффициента использования и коэффициента мощности для типового оборудования [Электронный ресурс] : информационный ресурс» [1] «Studfile». «URL: <https://studfile.net/preview/10048775/page:5/> (дата обращения: 19.01.2025)
5. Инструкция по применению линейной арматуры при строительстве и эксплуатации воздушных линий электропередач напряжением 0.38 кВ с» [1] самонесущими изолированными проводами» [1] [Электронный ресурс] : URL: <https://sectorenergo.ru/sites/default/files/pdf/instrukciya–montaja–sip–SE.pdf> «(дата обращения: 14.01.2025)
6. Инструкция по проектированию городских электрических сетей: РД 34.20.185–94. с изменениями [Электронный ресурс] : URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851704.pdf> (дата обращения: 19.02.2025).
7. Категории автомобильных дорог и улично–дорожной сети по ФЗ и СП [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Buildingclub»» [1]. URL: » [1]

«<https://buildingclub.ru/kategorii-dorog-po-fz-257-gost-r-52398-sp-34-13330-sp-42-13330/> (дата обращения: 19.01.2025) » [1]

8. «Комплектное устройство защиты и автоматики присоединений 6–35 кВ ТЭМП 2501–1» [1]. «Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс] : URL: <https://relematika.ru/upload/iblock/af8/af8e11ee2c63c1b863c2fbfaa7a884cb.pdf> (дата обращения: » [1] 19.01.2025)

9. «Методические рекомендации по проектированию искусственного освещения автомобильных дорог общего пользования [Электронный ресурс] : URL: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/242odm-2188007-2016.pdf> (дата обращения: 19.01.2025)

10. Нормы и правила проектирования коттеджной застройки. МГСН 3.01–96 дополнение 3. [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003198/titles/2EVO41T>» [1] (дата обращения: 14.01.2025)

11. «Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищенными проводами. Книга 2. Система самонесущих изолированным нулевым несущим проводником [Электронный ресурс] : URL: <https://www.ensto.com/globalassets/brochures/brochures/overhead-lines/russian/knigi/-2-5-2.pdf> (дата обращения: 19.01.2025)

12. Предохранитель типа ПКТ 10–12–80–20ТЗ [Электронный ресурс] : каталог продукции компании «Грантэк–Эл». URL: <https://grantek-svet.ru/catalog/2476/> (дата обращения: 22.02.2025)

13. Разъединитель РЛНД–1–10Б/400 УХЛ1 [Электронный ресурс] : каталог продукции компании «УралЭнерго». URL: <https://uralen.ru/catalog/raz/group-204/138.html> (дата обращения: 22.02.2025) » [1]

14. Расчет заземляющего устройства «подстанции [Электронный ресурс] : информационный ресурс «StudFiles». URL: <https://studfile.net/preview/2687617/page:14/>» [1] «(дата обращения: 27.02.2025)

15. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах [Электронный ресурс] : URL: <https://nvsu.ru/ru/Intellekt/1134/Ernst%20A.D.%20Raschet%20tokov%20korotkogo%20zamikaniya%20-%20Uch.%20posobie%20-%202012.pdf> (дата обращения: » [1] 04.02.2025)

16. «Саитбаталова Р.С., Варламов Н.И., Галеева Р.У. Практические методы расчета токов короткого замыкания: учеб. пособие / Р.С. Саитбаталова, Н.И. Варламов, Р.У. Галеева. –3–е изд. доп. – Казань: Казан. гос. энерг. ун–т, 2015. – 178» [1] с. «[Электронный ресурс] URL: https://lib.kgeu.ru/irbis64r_15/scan/10%D1%8D%D0%BB.pdf» [1] (дата обращения: 03.02.2025).

17. «Свод правил по проектированию и строительству СП–31–11 0–2003 [Электронный ресурс] : URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294815/4294815197.pdf> (дата обращения: 18.01.2025) » [1]

18. «СП 31–110–2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс] » [1] : URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294815/4294815197.pdf> (дата обращения: 14.01.2025)

19. СП 323.1325800.2017 «Территории селитебные. Правила проектирования наружного освещения» [Электронный ресурс] : URL: <https://electromontaj-proekt.ru/data/documents/sp-323.1325800.2017.pdf> (дата обращения: 25.01.2025).

20. Суворова И.А., Черепанов В.В. «Определение экономической плотности тока в современных условиях для линий 6–35 кВ // МНИЖ. 2013. №6–1 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-ekonomicheskoy->

plotnosti-toka-v-sovremennyh-usloviyah-dlya-liniy-6-35-kv» [1] (дата обращения: 09.02.2025).

21. Технические характеристики СИП–2 3×95+1×50+1×25 [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Рузкабель». URL: https://kps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyye/dlya-vozdushnykh-linij-peredach/sip-2/provod-sip-2-3x95_1x50_1x25.html (дата обращения: 29.01.2025)

22. Трансформатор силовой масляный ТМГ–2500 [Электронный ресурс] : URL: <https://tszi.ru/catalog/tmg/tmg-2500.html> (дата обращения: 05.02.2025)

23. ТЭМП 2501 – комплектное устройство РЗА 6–35 кВ [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Релематика». URL: <https://relematika.ru/products/arkhiv/komplektnoe-ustroystvo-rza-6-10-35-kv-tipa-temp-2501/> (дата обращения: 27.02.2025)

24. Управляющая компания «Ванино» [Электронный ресурс] : официальный сайт. URL: <http://vanino.me/> «(дата обращения: 20.01.2025).

25. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : URL: https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7123.pdf» [1] «(дата обращения: 25.01.2025)

26. Calculation of short-circuit currents [Electronic resource] : URL: https://www.studiecd.dk/cahiers_techniques/Calculation_of_short_circuit_currents.pdf (дата обращения: » [1] «10.02.2025).

27. Lighting Standards [Electronic resource] : URL: <https://www.energy.gov/energysaver/lighting-standards>» [1] «(дата обращения: 18.02.2025).

28. Overcurrent Protection [Electronic resource] : URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/overcurrent-protection> (дата обращения: » [1] 13.02.2025).

29. «Substation Lightning Protection Design [Electronic resource] : URL: <https://www.horizonpower.com.au/globalassets/media/documents/manuals-standards/>

procedures/hpc-7dc-08-0001-2013_-_pcd_-_substation_lightning_protection_
design.pdf?v=4ac015 (date of access: 06.02.2025» [1] r)

30. «Uses of Electricity in Daily Life [Electronic resource] : URL:
<https://www.geeksforgeeks.org/uses-of-electricity-in-daily-life/> (дата обращения:
10.02.2025) » [1].