

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 коттеджного поселка «Nabokov
life residences»

Обучающийся

В.А.Маслов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент, доцент А.В. Егорова

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

Тольятти 2024

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе освещается тема проектирования электроснабжения коттеджного поселка «Nabokov life residences», расположенного по адресу ул. Лесопарковое шоссе 61 города Тольятти.

ВКР построена следующим образом: описана необходимость и актуальность проектирования электроснабжения премиальных коттеджных поселков, охарактеризован объект проектирования. На основе генерального плана, а также предоставленных характеристик электроприемников, разработана система электроснабжения, рассчитаны электрические нагрузки. На основе которых был произведен выбор силовых трансформаторов. Подобран тип трансформаторной подстанции, её комплектация. Разработана система распределения и учета электроэнергии потребителей. Выбраны коммутационные аппараты и отходящие проводники. Разработана система уличного освещения. Произведен расчет заземляющих устройств. Расчеты произведены в соответствии с нормативной документацией и рекомендательной литературой.

Пояснительная записка состоит из 67 листов, в которые входят 22 таблицы и 8 рисунков. Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

Abstract

This graduation project is devoted of designing the electrical supply of the cottage village “Nabokov life residences”, located at 61 Lesoparkovoye Shosse 61, Togliatti.

Explanatory note consists of 67 sheets, which include 22 tables and 8 figures. The graphic part is presented on 6 A1 sheets.

This graduation project is built as follows: the necessity and relevance of the design of power supply of premium cottage settlements is described, the object of design is characterized. On the basis of the master plan, as well as the provided characteristics of electrical receptors, developed a power supply system, calculated electrical loads. On the basis of which the selection of power transformers was made. The type of transformer substation and its equipment were selected. The system of distribution and metering of electric power of consumers was developed. Switching devices and outgoing conductors were selected. The system of street lighting is developed. Calculated grounding devices. Calculations are made in accordance with the normative documentation and recommended literature.

This work is of interest to a wide range of readers seeking to learn the fundamentals of residential electrical design.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта.....	7
1.1 Общие сведения об объекте проектирования	7
1.2 Техническое задание	8
2 Расчет электрических нагрузок	14
2.1 Проектирование распределительных сетей	14
2.2 Расчет электрических нагрузок	17
3 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов подстанции.....	22
4 Выбор кабельной продукции	24
5 Расчётов токов КЗ.....	34
6 Выбор подстанции, проверка оборудования.....	40
6.1 Проверка оборудования распределительного устройства высокого напряжения	43
6.2 Проверка оборудования распределительного устройства низкого напряжения	46
7 Выбор комплектации и оборудования СРП.....	51
8 Наружное освещение.....	55
9 Расчет заземляющих устройств	58
Заключение	62
Список используемых источников	64

Введение

Большое влияние на жизнь человека оказывает финансовый достаток. С ростом достатка, растут и потребности в жизни человека. Такие потребности, как качество пищи, жилья, развлечений возводятся к максимуму, то есть с большим достатком требуются и большие ожидания от вложенных средств. Мудрой мыслью реализации потребностей финансово подкованного человека является приобретение коттеджа в элитном поселке.

Реализация коттеджного поселка в Тольятти влечет за собой появление в городе большего числа предпринимателей, заинтересованных в качественном жилье. Так, элитные коттеджи предлагают возможность общения с людьми с общим уровнем достатка и интересов. Это способствует созданию благоприятной социальной среды и повышению качества жизни граждан города.

По мере возрастания количества финансово обеспеченных граждан, растут их вложения в капитальные проекты, направленные на преобразование города и внутренние разработки, такие как прогрессивные инициативы ТГУ и другие подобные проекты.

В настоящее время в России наблюдается заметное уменьшение числа состоятельных граждан. Однако, из-за ухода конкурентов из Западных стран с российского рынка, повсеместно растет число импортозамещающей продукции, что говорит о росте количества предпринимателей, которые инвестируют капиталы в различные проекты благотворительного и социального характера.

Строительство элитных коттеджных поселков в городе развивает его инфраструктуру, улучшает отношение к городу, тем самым влечет за собой приток потенциальных жителей Тольятти. Увеличение числа жителей может способствовать культурному разнообразию и обмену идеями, что может привести к созданию более инклюзивного и

разнообразного общества. Так же с увеличением числа жителей, растет спрос на товары и услуги, что может стимулировать экономический рост и развитие бизнеса.

В целом, реализация элитного коттеджного поселка может оказать положительное влияние на экономику Тольятти, социальную сферу и качество жизни горожан. Это может привлечь новые инвестиции, создать новые рабочие места и улучшить инфраструктуру города. Таким образом, элитный коттеджный поселок может стать катализатором развития Тольятти и улучшения жизни его жителей.

Инфраструктура электроснабжения - важная составляющая обеспечения бесперебойного функционирования современного поселка, влияющая на комфорт и безопасность жильцов. Сложность проектирования электроснабжения заключается в учете факторов, влияющих на потери электроэнергии и в обеспечении бесперебойной работы электрической сети. Выполнение сложных технических решений не представляется возможным без проекта, соответствующий техническим стандартам и нормативным требованиям.

Таким образом, создание проекта электроснабжения является неделимой частью производства.

Цель выпускной квалификационной работы – проектирование системы электроснабжения коттеджного поселка на территории Лесопаркового шоссе - “Nabokov live residence”.

1 Характеристика объекта

1.1 Общие сведения об объекте проектирования

«Nabokov live residence» - коттеджный комплекс, располагающийся по адресу ул. Лесопарковое шоссе 61 города Тольятти. На рисунке 1 представлено место нахождения объекта проектирования.



Рисунок 1 – Место нахождения объекта проектирования Nabokov live residence

Территория, на которой располагается объект проектирования, имеет площадь 5,24 гектаров, на которых будет строиться 20 комфортабельных вилл и 12 апартаментов, таунхаусы в сосновом лесу, на берегу Волги, в самом центре города.

Участок в данный момент представляет собой КПП и огражденную по периметру территорию, с растущими хвойными и лиственными деревьями.

Соседями района проектирования являются: Клуб пейнтбола и лазертага «Викинги», детский пансионат «Радуга», Яхт-клуб «Чайка», Ресторанный комплекс «Одесса».

Ландшафт строительной площадки представляет собой полого-наклонный рельеф, с уклоном на юг. Высота местности постепенно увеличивается на 20 метров от северной границы к южной. Самая низкая точка участка находится на отметке 53,9 метра, а самая высокая - на 73,9 метра.

До строительной площадки можно добраться круглый год по асфальтированным дорогам местного значения. Эта доступность позволяет осуществлять доставку материалов, оборудования и рабочей силы без перебоев, независимо от сезона или погодных условий. Расстояние до Комсомольского района составляет 10 км, до Центрального – 7 км и до Автозаводского района – 4 км.

1.2 Техническое задание

Под объект проектирования разработан генеральный план, на котором размещаются 12 жилых зданий, таунхаусы, детская площадка, баня, пирс, причал, территория под КПП, трансформаторную подстанцию.



Рисунок 2 – Расположение участков на проектируемой территории

На объекте была проделана работа специалистами из сфер водоснабжения, архитектуры, дизайна, газификации.

В сфере водоснабжения предусмотрена установка труб для канализации и водообеспечения. Канализация поселка, подключаемая к городской сети канализации, предполагает установку насосных станций, так как транспортирование сточных вод самотеком невозможно, в виду перепада высот расположения зданий. Под нужды канализации были подобраны комплектные канализационные насосные станции типа PS.G.22.70.D.DC.SS150.A150.SE/SL, каждая из которых снабжена 1 рабочим, 1 резервным КНС. Под данные станции были подобраны соответствующие шкафы управления LC 241 2x30-37 SST 3x380 MI, необходимые для автоматической работы насосов, с защитой электродвигателей, подачей аварийного сигнала и сигнала о затоплении. Для каждого шкафа управления LC 241 поставлена дополнительная система двойного ввода питания с АВР Control ID 80А АВР-II. Что касается водообеспечения, то по всей территории населённого пункта проложены трубы системы водоснабжения (питьевая вода),

подключаемые к городской системе. На территории объекта предполагается установка гидрантов. Наличие пожарных гидрантов гарантирует скорость работы пожарных. Напор пожарных гидрантов, обеспечивается городской сетью, достаточный, как и для хозяйственных питьевых нужд, так и для пожаротушения. Так, для пожаротушения напор должен составлять 10 метров, а городская сеть гарантирует напор в 36. По всей территории объекта проектирования не предусматривается установка повышающих насосных станций в виду отсутствия высотных зданий.

Дизайнерами были разработаны 3 типа зданий: на 450, 350 и 250 квадратных метров. Основа уникального авторского стиля, созданного эксклюзивно для поселка, представляет собой современный, легкий и минималистичный дизайн. Решение внешней отделки выполнено исключительно натуральными материалами: камень, дерево, металл. Ландшафт участков внедрен таким образом, что позволяет сохранить природную среду и вековые сосны. По словам дизайнеров такой подход способствует слиянию человека с природой. Пример дизайна представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Дизайн дома для участка 17 – 20 соток

Для обеспечения электроснабжения инженером-технологом предоставлены данные об электроприёмниках, их мощности и количестве для каждого типа коттеджей, а также сведения о запасе мощности на подключение дополнительных потребителей по желанию владельца. Данные для каждого коттеджа представлены в таблицах 4-6

Таблица 4 - Приемники электроэнергии и их характеристики для коттеджей площадью 250 квадратных метров

№ ЭП по плану	Наименование	Количество	P_n , кВт	$K_{и}$
1	Холодильник	1	1	0,7
2	Телевизор	2	0,3	0,9
3	Пылесос	1	2	0,3
4	Встраиваемая микроволновая печь	1	2	0,8
5	Электрический чайник	1	1,6	0,7
6	Стиральная машина	1	1,8	0,3
7	Компьютер	1	1	0,9
8	Унитаз с электроподогревом	2	1,5	0,7
9	Утюг	1	1,3	0,5
10	кондиционер со сплит системой	1	1,8	0,5
11	посудомоечная машина	1	0,7	0,4
12	Оборудование для подогрева жидкости	1	2	0,4
13	запас мощности	-	3	-
Расчетная потребляемая активная нагрузка				15,73

Таблица 5 - Приемники электроэнергии и их характеристики для коттеджей площадью 350 квадратных метров

№ ЭП по плану	Наименование	Количество	P_n , кВт	$K_{и}$
1	Оборудование для подогрева жидкости	2	3	0,2
2	Холодильник	3	1	0,7
3	Телевизор	4	0,3	0,9
4	Компьютер	2	1	0,9
5	Утюг	2	1,3	0,5
6	Встраиваемая микроволновая печь	2	2	0,8
7	Электрический чайник	2	1,6	0,7
8	стиральная машина	2	1,8	0,3
9	Унитаз с электроподогревом	2	1,5	0,7
10	кондиционер со сплит системой	4	2,3	0,5

Продолжение таблицы 5

№ ЭП по плану	Наименование	Количество	P_n , кВт	K_u
11	посудомоечная машина	2	1,8	0,5
12	запас мощности	-	3	-
Расчетная потребляемая активная нагрузка				25,5

Таблица 6 - Характеристики основных приемников электроэнергии для коттеджа площадью 450 квадратных метров

№ ЭП по плану	Наименование	Количество	P_n , кВт	K_u
1	Оборудование для подогрева жидкости	4	3,6	0,2
2	Холодильник	2	1,4	0,7
3	Телевизор	4	0,6	0,9
4	Компьютер	2	1,6	0,9
5	Пылесос	2	2,5	0,3
6	Утюг	4	1,7	0,5
7	Встраиваемая микроволновая печь	2	2,5	0,8
8	Электрический чайник	2	1,6	0,7
9	стиральная машина	2	2,5	0,3
10	Унитаз с электроподогревом	3	2	0,7
11	кондиционер со сплит системой	3	3	0,5
12	посудомоечная машина	2	2	0,4
13	Насос для бассейна	1	4,2	1
14	запас мощности	-	3	-
Расчетная потребляемая активная нагрузка				40,02

Расположение дорог по объекту представляет собой закольцованную фигуру с возможностью выезда на пирс. Дороги заасфальтированы, с засеянным по бокам газоном. К каждому коттеджу возможен подъезд со стороны основной дороги. Вдоль дороги предполагается установка освещения. В целях обеспечения благоприятных условий для роста и развития молодого поколения, на территории поселка предусмотрена установка детских площадок. На берегу Волги планируется постройка пирса/причала, к которому могут приставать лодки, яхты.

Безопасность граждан элитного коттеджного поселка –

неотъемлемая часть их комфортной и спокойной жизни. Для обеспечения безопасности применяются устройства видеонаблюдения, электронные пропускные системы, шлагбаум под управлением системы СКУД. Контрольно-пропускной пункт должен быть оборудован для круглосуточного, постоянного нахождения там дежурного персонала.

Согласно техническому заданию, сформулируем цели ВКР:

- необходимо спроектировать подстанцию 6/0,4 кВ. Определить тип подстанции, мощность трансформаторов, коммутационную аппаратуру, автоматику, защиту трансформаторов и строительную часть;
- спроектировать распределение кабельных линий в сети 0,4 кВ внутри территории поселка
- спроектировать систему наружного освещения.

Для того чтобы достичь поставленные цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать технические решения по организации электроснабжения.
- рассчитать ожидаемые электрические нагрузки;
- выбрать трансформаторную подстанцию, защитную аппаратуру и проводники;
- рассчитать токи КЗ;
- разработать систему наружного освещения;
- разработать систему заземления;

Вывод по разделу: предоставлены сведения по объекту проектирования, составлены цели и задачи ВКР.

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Проектирование распределительных сетей

Расчет нагрузок производится после того, как будет определена конфигурация сети с её количеством распределительных устройств.

Для того чтобы определиться с конфигурацией сети рассмотрим преимущества и недостатки основных типов сетей: радиальные, магистральные и смешанные сети.

Радиальные сети характеризуются тем, что энергия передается от источника к конечным потребителям в одном направлении. Преимущество радиальных сетей заключается в их простоте и надежности, поскольку отказ в одной части сети не прерывает энергоснабжение в других частях. Недостатком таких сетей является необходимость в большом количестве оборудования (аппаратов защиты), а также в увеличенном расходе кабельной продукции, под каждый отдельный электроприемник.

Магистральные сети представляют собой линию с односторонним питанием, в которой путем отпаек (ответвлений) или путем захода подключены несколько потребителей. Магистральные сети обладают рядом достоинств, такими как гибкость сети, возможность без переделки сети произвести перестановку оборудования, применение унифицированных элементов (шинопроводов), которые позволяют выполнить монтаж с применением промышленных методов. Недостатком таких сетей является отключение всей сети или ее значительной части, если произойдет сбой в одной лишь части сети.

Смешанные сети объединяют в себе черты как радиальных, так и магистральных сетей. Они могут иметь основную магистральную структуру с отводами, образующими радиальные ветви для подключения к потребителям. Такая смешанная структура может сочетать

преимущества магистральных сетей и радиальных сетей для подключения к конечным потребителям.

Необходимо выбрать сеть, которая бы обеспечила всех потребителей, находящихся на территории этого массива, а именно 21 жилой дом, корпус таунхаусов, наружное освещение, а также вспомогательные объекты. Для обеспечения достаточной надёжности электроснабжения и эстетичного внешнего вида каждого потребителя, рациональней использовать радиальную конфигурацию сети.

Рассмотрим необходимую потребность в фидерах радиальной конфигурации сети. Для питания одного отдельно стоящего коттеджа необходим 1 кабель. Для питания таунхауса необходимо 2 кабеля, для обеспечения II категории надёжности. Для питания КПП необходим 1 кабель. Для питания наружного освещения необходим 1 кабель (подпиточный пункт). Для питания КНС, подразумевается установка насосного распределительного пункта, под нужды которого необходимо 2 кабеля. Так, для питания всех электроприемников необходимо 27 отходящих из ПС фидеров.

Предлагаемые производителем подстанции имеют до 12 отходящих линий, что не может обеспечить необходимую потребность в фидерах, поэтому для уменьшения их количества, питание коттеджей необходимо выполнить от силовых распределительных пунктов (СРП). Выбор количества и местонахождение СРП определяется координатами центра электрических нагрузок. Однако из-за высокой плотности застройки жилых зон редко удается разместить СРП рядом с центром электрических нагрузок. Кроме того, выбор места для установки СРП зависит от размещения других элементов инфраструктуры. На основе построения физической модели, оптимальным значением количества СРП является 5 штук. Один СРП питает до 5 коттеджей. Оптимальное расположение СРП представлено на рисунке 4.



Рисунок 4 – Оптимальное расположение СРП

Энергообеспечение будет выглядеть следующим образом: питание индивидуальных коттеджей будет осуществляться пятью СРП, для питания таунхауса подразумевается свое собственное распределительное устройство с двумя вводами ВРУ, под которые выделяется 2 кабеля. Питание освещения осуществляется от подпиточного пункта, под нужды которого выделяется 1 кабель. Для питания КПП будет выделяется 1 кабель. Для питания КНС необходимо 2 кабеля. Так, для питания всех электроприемников необходимо 11 отходящих из ПС фидеров 0,4кВ, и при этом остается 1 резервный фидер для дальнейшего расширения сети, если вдруг появиться необходимость.

2.2 Расчет электрических нагрузок

В соответствии с исходными данными характеристик электроприемников и с СП 256.1325800.2016 произведем расчёт электрических нагрузок.

Для расчета потребляемой активной нагрузки одноквартирного жилого дома применяется формула:

$$P_{p.k} = K_u \cdot P_n \quad (1)$$

где K_u – расчетный коэффициент использования;

P_n – установленная мощность электроприемников (кроме противопожарных устройств и резервных), кВт.

«Рассчитаем по формуле суммарную расчетную реактивную мощность домов массива жилой застройки, которые подключены к одной линии питания» [21]:

$$Q_{p.сум.к} = P_{p.сум.к} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

где $P_{p.сум.к}$ – для квартир повышенной комфортности, расчетная суммарная потребляемая активная нагрузка, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности

«Рассчитаем по следующей формуле полную мощность массива жилой застройки» [21]:

$$S_{p.сум.к} = \sqrt{P_{p.сум.к}^2 + Q_{p.сум.к}^2} \quad (3)$$

где $P_{p.сум.к}$ – расчетная суммарная потребляемая активная нагрузка квартиры повышенной комфортности, кВт;

$Q_{p.сум.к}$ – расчетная суммарная потребляемая реактивная

нагрузка квартиры повышенной комфортности, кВар.

«По следующей формуле найдем расчетный ток нагрузки массива жилой застройки» [21]:

$$I_{p.сум.к.} = \frac{S_{p.сум.к.}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} \quad (4)$$

где $S_{p.сум.к.}$ – расчетная суммарная потребляемая полная мощность квартиры повышенной комфортности, кВА;
 $U_{л}$ – линейное напряжение, кВ.

«Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир повышенной комфортности, коттеджей, квартир таунхаусов, определяется по формуле» [21]:

$$P_{p.кв} = P_{кв} \cdot n \cdot K_0 \quad (5)$$

где $P_{кв}$ – нагрузка электроприемников квартир повышенной комфортности, кВт;
 n – число квартир;
 K_0 – коэффициент одновременности для квартир повышенной комфортности.

Занесем полученные результаты в таблицу 7.

Таблица 7 – Сводная ведомость электрических нагрузок

Наименование	$P_{уст.},$ кВт	kc	n	$P_{р1},$ кВт	$P_{сум},$ кВт	кодн	$\cos\varphi/tg\varphi$	$P_{р.сум},$ кВт	$Q_{р.сум},$ квар	$S_{р.сум},$ кВА	$I_{р.}$ А
Коттедж 450м.кв	70,18	0,55	2	40	80	-	-	-	-	-	-
Коттедж 350м.кв	43,86	0,625	1	25	25	-	-	-	-	-	-
Коттедж 250м.кв	26,32	0,8	1	15	15	-	-	-	-	-	-
Итого на 1 СРП	131,477	0,61	4	80	120	1	0,97/0,25	120	30	123,69	178,54
Коттедж 450м.кв	70,18	0,55	1	40	40	-	-	-	-	-	-
Коттедж 350м.кв	43,86	0,625	1	25	25	-	-	-	-	-	-
Коттедж 250м.кв	26,32	0,8	2	15	30	-	-	-	-	-	-
Итого на 2 СРП	131,477	0,61	4	80	95	1	0,97/0,25	95	23,75	97,92	141,34
Коттедж 450м.кв	70,18	0,55	1	40	40	-	-	-	-	-	-
Коттедж 350м.кв	43,86	0,625	1	25	25	-	-	-	-	-	-
Коттедж 250м.кв	26,32	0,8	3	15	45	-	-	-	-	-	-
Итого на 3 СРП	131,477	0,61	5	80	110	1	0,97/0,25	110	27,50	113,39	163,66

Продолжение таблицы 7

Наименование	$P_{уст.}$, кВт	kc	n	P_{p1} , кВт	$P_{сум}$, кВт	кодн	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	$P_{p.сум}$, кВт	$Q_{p.сум}$, квар	$S_{p.сум}$, кВА	I_p , А
Коттедж 250м.кв	26,32	0,8	2	15	30	-	-	-	-	-	-
Итого на 4 СРП	58,75	0,68	4	40	80	1	0,97/0,25	80	20,00	82,46	119,02
Коттедж 250м.кв	26,32	0,8	2	15	30	-	-	-	-	-	-
Итого на 5 СРП	18,75	0,80	2	15	30	1	0,97/0,25	30	7,50	30,92	44,63
Таунхаусы	123,077	0,65	1	80	80	0,26	0,97/0,25	72	18,00	74,22	107,12
ЯОУ	-	-	1	2,87	2,87	1	0,97/0,25	2,87	0,7	2,95	4,26
КПП	3,87	0,8	1	3,1	3,1	1	0,97/0,25	3,1	1,83	3,6	5,2
СРП КНС	22,7	1	3	22,7	68,1	0,33	0,89/0,51	22,5	11,5	25,3	36,5
Итого по ТП	617,708	0,65	24	400,57	585,97	-	0,97/0,26	532,37	138,95	550,85	795,07

Таблица 8 - Распределение нагрузки по секциям

Секция шин I	Полная мощность нагрузки, Sp.сум, кВА		Секция шин II
2 СРП	97,92	123,69	1 СРП
4 СРП	82,46	113,39	3 СРП
5 СРП	30,92	2,95	ЯОУ
Таунхаусы	74,22	25,3	СРП КНС
-	-	3,6	ЩП КПП
Итого	287,52	268,93	Итого

Вывод по разделу: был выполнен расчет электрических нагрузок. Нагрузки распределены по секциям шин.

При расчете нагрузок, полная мощность на 1 силовом распределительном пункте составила 123,69 кВА, при токе $I_p = 178,54$ А.

Полная мощность на 2 силовом распределительном пункте составила 97,92 кВА, при токе $I_p = 141,34$ А.

Полная мощность на 3 силовом распределительном пункте составила 113,39 кВА, при токе $I_p = 163,66$ А.

Полная мощность на 4 силовом распределительном пункте составила 82,46 кВА, при токе $I_p = 178,54$ А.

Полная мощность на 5 силовом распределительном пункте составила 30,92 кВА, при токе $I_p = 44,63$ А.

Полная мощность Таунхауса составила 74,22 кВА, при токе $I_p = 107,12$ А.

Полная мощность ящика управления наружным освещением (ЯУО) составила 2,95 кВА, при токе $I_p = 4,26$ А.

Полная мощность на силовом распределительном пункте канализационной насосной станции составила 25,3 кВА, при токе $I_p = 36,5$ А.

Полная мощность трансформаторной подстанции составила 550,85 кВА, при токе $I_p = 795,07$ А.

3 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов подстанции

В зависимости от категории надежности электроснабжения потребителей определяется число трансформаторов и питающих линий. В нашем случае объект принадлежит к II категории надежности, для которой необходима установка двухтрансформаторной подстанции.

«Для жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки не предусматривается» [20].

«По следующей формуле рассчитаем суммарную мощность трансформаторов на ТП, удовлетворяющую условию» [18]:

$$S_{ном.Т} \geq \frac{S_{р.сум.}}{N_T \cdot k_3} = \frac{550,85}{2 \cdot 0,7} = 393,46 \text{кВА.} \quad (6)$$

где $S_{ном.Т}$ – номинальная мощность одного трансформатора, кВА;

$S_{р.сум.}$ – расчетная полная потребляемая мощность на ТП, кВА;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

N_T – количество трансформаторов на ПС.

В соответствии с ГОСТ 11920 – 85 округлим расчетную мощность до стандартной.

Исходя из полученных данных выбираем трансформаторы типа ТМГ – 400/6/0,4.

Паспортные данные трансформатора ТМГ–400/6/0,4 приведены в таблице 8.

Таблица 9 – Паспортные данные трансформатора

Тип	S _н , МВА	Каталожные данные				
		U _{НОМ} , кВ		U _к , %	P _к , кВт	P _х , кВт
		ВН	НН			
ТМГ – 400/6/0,4	400	6	0,4	4,5	5,9	0,83

По следующей формуле определим фактическое значение коэффициента загрузки:

$$k_{ф.з.} = \frac{S_p}{S_H \cdot N_T} = \frac{550,85}{400 \cdot 2} = 0,68. \quad (7)$$

где S_н – номинальная мощность одного трансформатора, кВА;

S_р – расчетная полная потребляемая мощность на ТП, кВА;

K_{фз} – фактический коэффициент загрузки трансформатора;

N_т – количество трансформаторов на ПС.

«Для двухтрансформаторной ТП с преобладающей нагрузкой II категории рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов – 0,65...0,7» [18]. Рекомендации соблюдаются.

Вывод по разделу: рассчитана и приведена к шкале мощностей суммарная мощность трансформаторов, в соответствии с которой были выбраны трансформаторы типа ТМГ–400/6/0,4. Был рассчитан фактический коэффициент загрузки трансформатора, который удовлетворяет рекомендательным условиям.

4 Выбор кабельной продукции

Для того чтобы произвести выбор кабельной продукции первым делом необходимо определиться с её маркой.

При выборе кабельной продукции учитывается способ прокладки, передаваемая мощность и экономическая составляющая.

Для уменьшения затрат на кабельную продукцию рациональней использовать токопроводящие жилы, изготовленные из алюминия. Так как прокладка осуществляется в траншеях, необходимо выбрать бронированный кабель, предназначенный для наружной прокладки на улице. На рынке кабельной продукции представлены 2 вида кабелей, подходящих под наши нужды, марок: АПвБбШв и АВБбШв. Необходимо их сравнить и выбрать подходящую марку.

«Расшифровка кабеля АПвБбШв/АВБбШв:

А – Алюминиевая токопроводящая жила.

Пв – Изоляция жил из сшитого полиэтилена

В – Изоляция жил из поливинилхлоридного пластиката

Б – Броня из двух стальных лент

б – Без подушки, которая является внутренней частью защитного покрова, наложенная под броней с целью предохранения находящегося под ней элемента от коррозии и механических повреждений лентами или проволоками брони.

Шв – Защитный покров в виде впрыснутого шланга из поливинилхлоридного пластиката» [10].

Отличие двух марок кабелей заключается в материале изоляции кабелей. Материал изоляции кабелей определяет условия невозгорания изоляции. Технические различия представлены в таблице 9.

Таблица 10 - Допустимые температуры нагрева токопроводящих жил

Материал изоляции кабелей	Длительно допустимая температура нагрева жил, °С	В режиме перегрузки	Предельная при коротком замыкании	По условию невозгорания при коротком замыкании
Поливинилхлоридный пластикат	70	90	160/140	250
Сшитый полиэтилен	90	130	250	400

После проверки кабелей на невозгорание выяснилось, что рациональней использовать кабель марки АВБбШв, так как данный кабель также как и кабель марки АПвБбШв проходит проверку, но при этом меньше стоит.

Для выбора сечения кабеля необходимо проверить его по следующим критериям:

По нагреву длительно допустимым током нагрузки. Длительно допустимый ток нагрузки рассчитывается с учетом способа прокладки и с учетом параллельно проложенных кабелей.

Применим коэффициент, учитываемый при прокладке нескольких кабелей в земле, не считая резервных кабелей. Прокладка нескольких кабелей в земле не должна превышать расстояния между ними 100 мм.

Таблица 10 – Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями, мм	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Так же вводится поправочный коэффициент допустимых токов нагрузки при различных условиях прокладки, указанный в таблице 11.

Таблица 11 - Поправочные коэффициенты на допустимые длительные токи для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли

Характеристика земли	Удельное тепловое сопротивление земли, Ом·град/Вт	Поправочный коэффициент
Песок с влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва с влажностью более 1 %	80	1,05
Нормальная почва и песок с влажностью 7–9%, песчано-глинистая почва с влажностью 12–14%	120	1
Песок с влажностью 7 %, песчано-глинистая почва с влажностью 8–12 %	200	0,87
Песок с влажностью до 4 %, каменистая почва	300	0,75

«По следующей формуле производим проверку по нагреву длительно допустимым током нагрузки с учетом коэффициентов» [19]:

$$I_p \leq I_{дл.доп} \cdot K_{пр} \cdot K_{кол.каб} \quad (8)$$

где I_p – рабочий ток в линии, А.

$K_{пр}$ – поправочные коэффициенты на допустимые длительные токи для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли;

$K_{кол.каб}$ – поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле;

$I_{дл.доп}$ – длительно допустимый ток, А;

«По допустимым потерям напряжения в нормальном и пусковом режимах» [19]:

«По следующей формуле найдем потери напряжения в кабельной или воздушной линиях электропередачи» [19]:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} \quad (9)$$

где γ – проводимость, для алюминия $\gamma = 32$ м/Ом;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности;
 $I_{\text{раб}}$ – рабочий ток нагрузки, А;
 S – площадь сечения проводника, мм²;
 l – длина линии, м.

Для силовых электроприёмников допустимые потери напряжения составляют $\Delta U = 0,05 \cdot U_{\text{ном}}$.

«По проверке на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания.

Во избежание разрыва оболочек и разрушения концевых заделок с возгоранием кабелей, необходимо выполнить проверку кабеля на невозгорание при воздействии тока КЗ, дабы увеличить надежность работы электроустановок и предотвратить пожары в кабельных сооружениях энергетических объектов» [26].

По следующей формуле найдем интеграл Джоуля:

$$W_{\text{тер}} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_a). \quad (10)$$

где T_a – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ от эквивалентного источника, принимается равной 0,05 с;

$t_{\text{откл}}$ – расчетная продолжительность тока КЗ, с;

$I_{\text{п.о}}$ – действующее значение периодической составляющей тока КЗ, А.

«Расчетную продолжительность КЗ при проверке проводников и электрических аппаратов на термическую стойкость следует определять путем сложения времени действия основной релейной защиты, в зону которой входят проверяемые проводники и электрические аппараты, и полного времени отключения соответствующего выключателя, а при проверке кабелей на невозгораемость – путем сложения времени

действия резервной релейной защиты и полного времени отключения ближайшего к месту КЗ выключателя» [4].

По следующей формуле определим значение температуры жилы до КЗ:

$$Q_n = Q_o + (Q_{од} - Q_{окр}) \cdot \left(\frac{I_{раб}}{I_{од}}\right)^2. \quad (11)$$

где $I_{раб}$ – рабочий ток, А;

$Q_{окр}$ – расчетная температура окружающей среды, °С;

$I_{дд}$ – значение расчетного длительно допустимого тока, А;

Q_o – фактическая температура окружающей среды во время КЗ, °С;

$Q_{дд}$ – расчетная длительно допустимая температура жилы, °С.

Значение коэффициента находится из следующей формулы:

$$k = \frac{\nu \cdot B_{тер}}{S^2}. \quad (12)$$

где S – сечение жилы кабеля, мм²;

ν – постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, равная для алюминия 45,65 мм⁴/кА²·с;

$B_{тер}$ – значение интеграла Джоуля, А²·с.

Определим значение температуры после короткого замыкания, применив монограмму из циркуляра №Ц-02-98(Э). Полученное значение Q_k сравниваем с допустимой температурой жил, при которой не происходит возгорание кабеля, в соответствии с таблицей 1 №Ц-02-98(Э).

По термической стойкости к токам КЗ:

Проверка кабеля по термической стойкости ведется путем

сравнения значения конечной температуры нагрева проводника с предельно допустимой температурой:

$$V_{\text{кн}} \leq V_{\text{доп}} \quad (13)$$

«Для кабелей и изолированных проводов с медными и алюминиевыми жилами и изоляцией из поливинилхлорида предельно допустимые температуры нагрева проводников при КЗ составляют 160 °С» [4].

Пример выбора сечения кабеля для СРП 1.

По нагреву длительно допустимым током нагрузки.

$$I_p \leq I_{\text{дл.доп}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{кол.каб}},$$

$$178,54 \text{ A} \leq 214 \cdot 0,84 \cdot 1 = 179,76 \text{ A}.$$

Исходя у данного условия, выбираем кабель АВББШв 4×95.

По допустимым потерям напряжения в нормальном и пусковом режимах:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 178,54 \cdot 108 \cdot 0,94}{32 \cdot 95} = 1,03\%.$$

Для силовых электроприёмников допустимые потери напряжения составляют $\Delta U = 0,05 \cdot U_{\text{ном}}$. В нашем случае потери составляют 1,03% от $U_{\text{ном}}$. Кабель прошел проверку.

По проверке на возгорание при воздействии тока короткого замыкания.

Найдем значение интеграла Джоуля:

$$W_{\text{тер}} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_a) = 6,84^2 \cdot 0,06 = 2,8 \text{ kA}^2 \cdot \text{с}.$$

Значение температуры жилы до КЗ найдем по следующей формуле:

$$Q_n = Q_o + (Q_{\text{до}} - Q_{\text{окр}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{до}}}\right)^2 = 21,3 + (70 - 15) \cdot \left(\frac{178,54}{214}\right)^2 = 59,58^\circ\text{C}.$$

Значение коэффициента К найдем по следующей формуле:

$$K = \frac{v \cdot B_{\text{мер}}}{S^2} = \frac{45,65 \cdot 2,8}{95^2} = 0,06 \approx 0,1.$$

Используя номограмму для выбора силовых кабелей при токах КЗ найдем значение температуры жил в конце КЗ (рисунок 5).

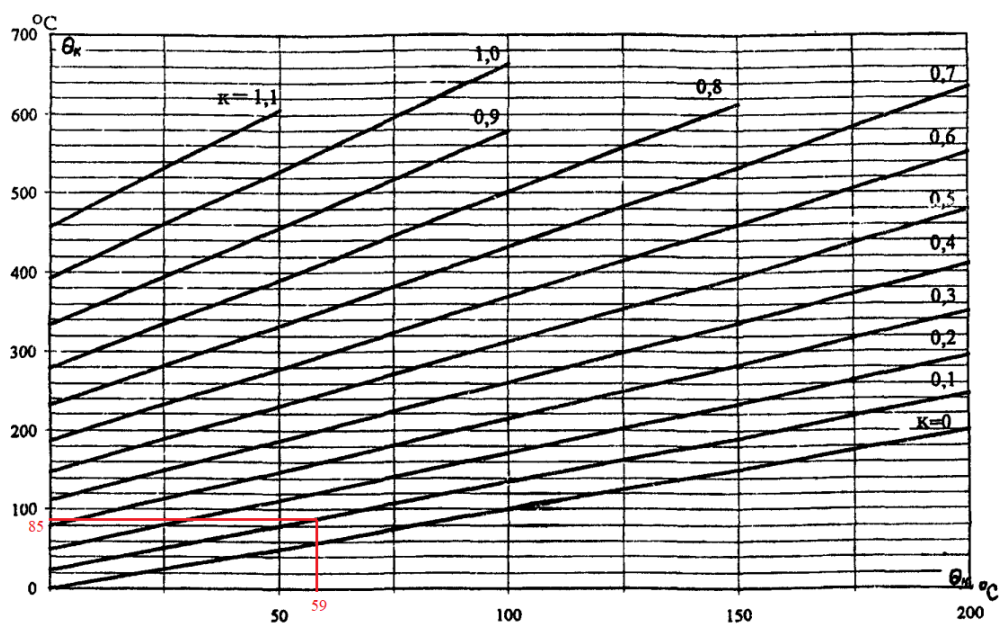


Рисунок 5 – Номограмма выбора силовых кабелей при токах КЗ

Из графика видно, что конечная температура составляет 85°C .

«Температура жил кабеля составляет — 350°C , для бронированных кабелей с ПВХ изоляцией на напряжение до 1 кВ» [28]. $350^\circ\text{C} > Q_k = 85^\circ\text{C}$, кабель прошел проверку.

По термической стойкости к токам КЗ:

«Степень термического воздействия тока КЗ определяют по конечной температуре нагрева проводника $v_{\text{кн}}$, её сравнивают с предельно допустимой температурой $v_{\text{доп}}$. Условие проверки определяется выражением» [4]:

$$v_{\text{кн}} \leq v_{\text{доп}}$$
$$85^{\circ}\text{C} \leq 160^{\circ}\text{C}$$

Кабель удовлетворяет условиям проверки.

Выбор кабельной продукции с условиями проверок, занесены в таблицу 12.

Таблица 12 - Сводная ведомость выбора кабельной продукции

Маркировка кабеля	Трасса		Кабель			Условия проверки			
	Начало	Конец	по проекту			$I_p \leq I_{\text{дл.доп}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{кол.каб}}$	$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S}$	$\Theta_{\text{кн}} < \Theta_{\text{доп}}$	$V_{\text{кн}} \leq V_{\text{доп}}$
			Марка	Кол-во кабелей и сечение жил	Длина, м				
<u>Кабельные линии 0,4 кВ</u>									
ф.1	яч.1 РУ-0,4 кВ КТП	СРП-1	АВБбШв	1каб. 4×95	108	178,54≤179,76	1,03≤5	85<350	85≤160
ф.2	яч.2 РУ-0,4 кВ КТП	СРП-2	АВБбШв	1каб. 4×50	199	141,34≤149,52	3,02≤5	105<350	105≤160
ф.3	яч.3 РУ-0,4 кВ КТП	СРП-3	АВБбШв	1каб. 4×95	302	163,66≤179,76	4,2≤5	80<350	80≤160
ф.4	яч.4 РУ-0,4 кВ КТП	СРП-4	АВБбШв	1каб. 4×50	353	119,02≤120,12	3,57≤5	100<350	100≤160
ф.5	яч.5 РУ-0,4 кВ КТП	СРП-5	АВБбШв	1каб. 4×10	238	44,63≤49,56	1,81≤5	70<350	70≤160
ф.6	яч.6 РУ-0,4 кВ КТП	ВРУ	АВБбШв	1каб. 4×50	71	107,12≤120,12	0,81≤5	95<350	95≤160
ф.7	яч.7 РУ-0,4 кВ КТП	ЩР- КПП	АВБбШв	1каб. 4×6	76	30,15≤36,96	0,22≤5	60<350	60≤160
ф.8	яч.8 РУ-0,4 кВ КТП	СРП- КНС	АВБбШв	1каб. 4×6	675	36,5≤36,96	0,26≤5	65<350	65≤160
ф.9	ЯУО	опора 41	АВБбШв	1каб. 5×2,5	162	4,26≤23,52	0,01≤5	30<350	30≤160

Вывод по разделу: с учетом способа прокладки, передаваемой мощности и экономической составляющей были выбраны кабели марки АВБбШв.

Исходя из условий проверок выбраны следующие кабели:

Для 1 фидера – АВБбШв 4×95, на расстояние в 108 м.

Для 2 фидера – АВБбШв 4×50, на расстояние в 199 м.

Для 3 фидера – АВБбШв 4×95, на расстояние в 302 м.

Для 4 фидера – АВБбШв 4×50, на расстояние в 353 м.

Для 5 фидера – АВБбШв 4×10, на расстояние в 238 м.

Для 6 фидера – АВБбШв 4×50, на расстояние в 71 м.

Для 7 фидера – АВБбШв 4×6, на расстояние в 76 м.

Для 8 фидера – АВБбШв 4×6, на расстояние в 675 м.

Для 9 фидера – АВБбШв 5×2,5, на расстояние в 162 м.

5 Расчётов токов КЗ

Расчет ведется в именованных единицах, по методике указанной в ГОСТ 28249-93.

Для проверки релейной защиты по чувствительности необходимо определить токи в самой удаленной точке возникновения КЗ, а для проверки коммутационных аппаратов в точке самого мощного электроприемника. Для данных целей достаточно найти токи КЗ, лишь на СРП 4, как на самом удаленном, и на СРП 1, как на самом мощном потребителе. На рисунке 5 представлена расчетная схема, на рисунке 6 – схема замещения.

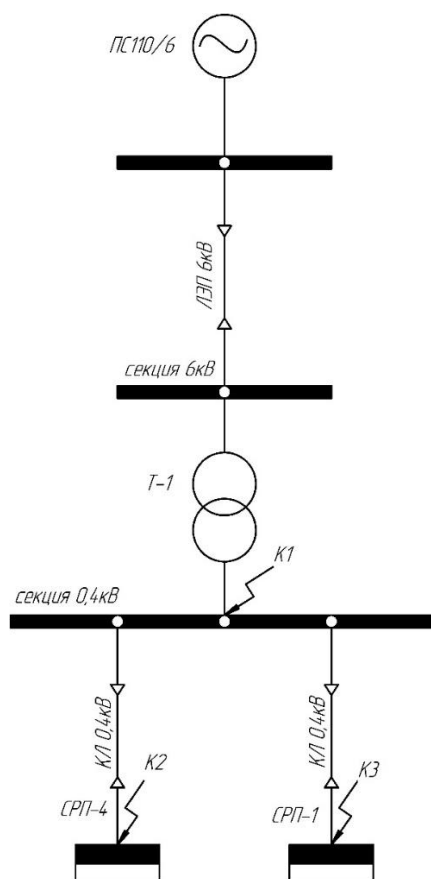


Рисунок 5 – Расчетная схема

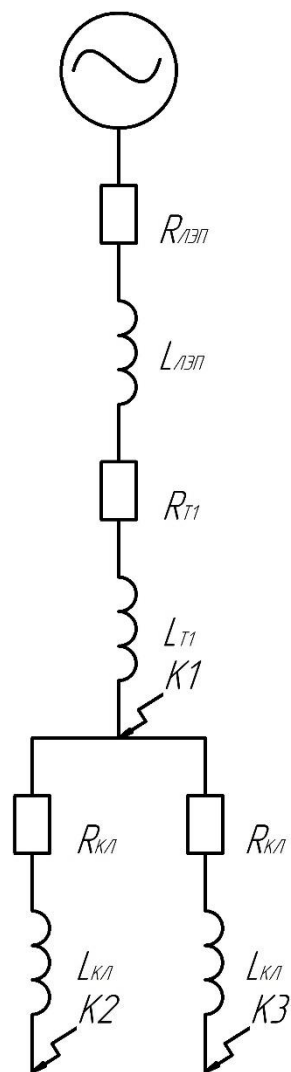


Рисунок 6 – Схема замещения

По следующей формуле рассчитывается сопротивление силового трансформатора:

$$R_T = P_K \cdot \left(\frac{U_{HH}}{S_T}\right)^2 \cdot 10^6,$$

$$Z_T = u_K \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_T} \cdot 10^4,$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}.$$

где U_{HH} – линейное напряжение обмотки НН, кВ;

S_T – полная мощность трансформатора, кВА;

P_k – потери мощности КЗ трансформатора, кВт;

u_k – напряжение мощности КЗ трансформатора, %.

«Сопротивления контакторов, трансформаторов тока и автоматических выключателей зависят от класса напряжения:

$x_A = 0,45 \cdot 10^{-4}$ Ом, $r_A = 0,6 \cdot 10^{-4}$ Ом – сопротивление автоматов;

$x_{ТТ} = 3,5 \cdot 10^{-4}$ Ом, $r_{ТТ} = 2 \cdot 10^{-4}$ Ом – сопротивления трансформаторов тока;

$r_K = 150 \cdot 10^{-4}$ Ом – сопротивление контакторов» [1].

«По следующим формулам рассчитываются сопротивления кабельных линий» [1]:

$$R_L = r_0 \cdot L_L, \quad (14)$$

$$X_L = x_0 \cdot L_L. \quad (15)$$

где L_L – протяженность линии, м;

r_0 и x_0 – удельное активное и индуктивное сопротивления соответственно, мОм/м.

«По следующей формуле рассчитываются удельные активные сопротивления для расчета трехфазных и двухфазных токов КЗ» [1]:

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S}. \quad (16)$$

где S – сечение проводника, мм²;

γ – удельная проводимость материала, м/(Ом·мм²).

«Для алюминия удельная проводимость материала считается равной $\gamma = 30$ м/(Ом·мм²).

Для кабельных линий удельные реактивные сопротивления считается равным $x_0 = 0,06$ мОм/м.

Удельное индуктивное сопротивление петли «фаза-ноль» для КЛ и проводов в трубах считается равным $x_{0(L-N)} = 0,15$ мОм/м,

для изолированных проводов, при открытом способе прокладки удельное индуктивное сопротивление петли «фаза-ноль» считается равным $x_{0(L-N)} = 0,4$ мОм/м» [1]:

«По следующей формуле рассчитывается удельное активное сопротивление петли ‘фаза-ноль’» [1]:

$$r_{0(L-N)} = 2 \cdot r_0. \quad (17)$$

«По следующей формуле рассчитываются сопротивления элементов на стороне ВН, приведенные к стороне НН по формулам» [1]:

$$R_{НН} = R_{ВН} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}}\right)^2, \quad (18)$$

$$X_{НН} = X_{ВН} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}}\right)^2. \quad (19)$$

где $U_{НН}$ и $U_{ВН}$ – напряжение на низких и высоких сторонах трансформатора соответственно, кВ;

$R_{НН}$ и $X_{НН}$ – активные и реактивные сопротивления соответственно, приведенные к низкой стороне, мОм;

$R_{ВН}$ и $X_{ВН}$ – активные и реактивные сопротивления на высокой стороне, мОм.

«По следующей формуле рассчитывается ток трехфазного короткого замыкания» [1]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\text{кл}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}. \quad (20)$$

где Z_{κ} – полное сопротивление до КЗ, Ом.

$U_{\text{к.л}}$ – линейное напряжение в месте КЗ, кВ;

«По следующей формуле рассчитывается ток двухфазного короткого замыкания» [1]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\kappa}^{(3)} = 0,87 \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (21)$$

«По следующей формуле рассчитывается ток однофазного короткого замыкания» [1]:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{U_{\kappa.ф}}{Z_{L-N} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}. \quad (22)$$

где $Z_T^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора однофазному КЗ, для ТМ-400/6/0,4, Д/УН-11 равно 0,019 Ом.

Z_{L-N} – полное сопротивление петли «фаза-ноль» до точки КЗ, Ом;

$U_{\kappa.ф}$ – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;

«По следующей формуле рассчитывается ударный ток короткого замыкания» [1]:

$$i_y = \sqrt{3} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (23)$$

«Значения K_y , следует принимать:

$K_y = 1,2$ при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью до 400 кВА;

$K_y = 1$ при КЗ в более удаленных точках;

$K_y = 1,8$ при КЗ в сетях высокого напряжения, где активное сопротивление не оказывает существенного влияния» [1].

В таблице 13 приведены результаты расчетов.

Таблица 13 – Расчет токов КЗ

Точка КЗ	$Z_k, \text{МОм}$	$I^{(3)}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$I_{\text{по}}, \text{кА}$	$I^{(2)}, \text{кА}$	$Z_{L-N}, \text{МОм}$	$I^{(1)}, \text{кА}$
К1	24,81	9,31	19,35	6,84	8,09	-	-
К2	229,19	1	1,7	0,96	0,87	441,62	0,5
К3	60,2	3,83	6,49	3,34	3,33	99,44	1,95

Вывод по разделу: была составлена схема замещения электроснабжения, по которой происходил расчет токов короткого замыкания. Были рассчитаны однофазный, двухфазный, трехфазный и ударный токи КЗ.

В точке К1 трехфазный ток составил 9,31 кА, двухфазный - 8,09 кА, ударный - 19,35 кА.

В точке К2 трехфазный ток составил 1 кА, двухфазный - 0,87 кА, однофазный - 0,5 кА, ударный - 1,7 кА.

В точке К3 трехфазный ток составил 3,83 кА, двухфазный - 3,33 кА, однофазный - 1,95 кА, ударный - 6,49 кА.

6 Выбор подстанции, проверка оборудования

Первым делом необходимо выбрать электрическую схему подстанции.

«Обеспечение надежности, перспектив развития, проведение ремонтных работ и безопасность эксплуатации являются основными критериями выбора схем подстанции» [6].

Проектируемая подстанция в нашем случае имеет тупиковый тип, так как находится в конце линии электроснабжения

«Под тупиковой подстанцией понимается подстанция, которая получает электроэнергию от одной электроустановки по одной или нескольким параллельным линиям» [6].

В соответствии с нормами технического проектирования СТО 34.01-3.1-002-2016 выберем схему ПС. Так, на низкой стороне будет предусмотрено АВР, а на высокой стороне переключение между шинами будет производиться путем ручного секционирования. Пример типового варианта представлен на рисунке 7.

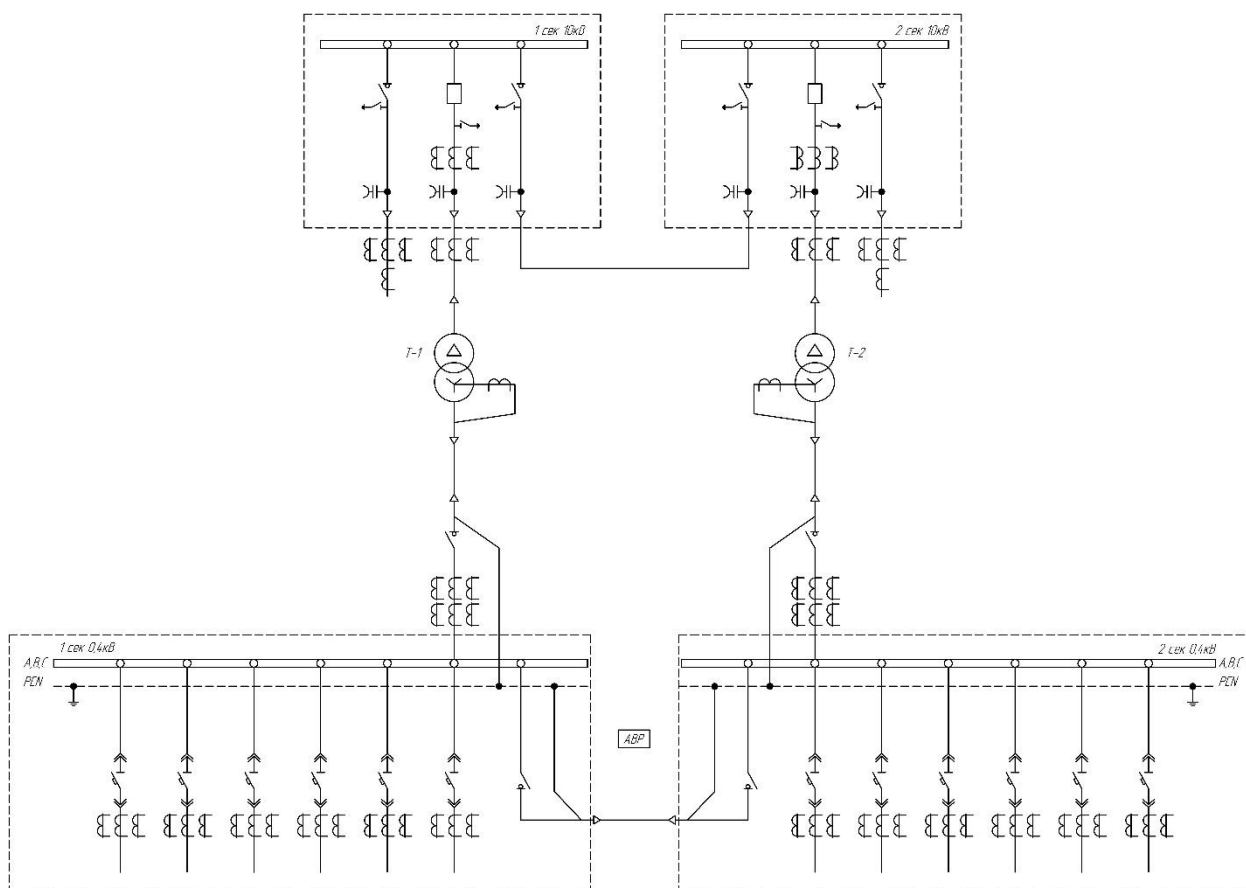


Рисунок 7 – ТП 6(10)/0,4 кВ РУ 6(10) кВ 2 моноблока, трансформаторы мощностью 250-1600 кВА

Под необходимые нужды была выбрана трансформаторная подстанция типа 2БКТП (трансформаторная подстанция комплектная двухблочного исполнения). Завод-изготовитель «ЭЗОИС-Поволжье».

Блочные комплектные трансформаторные подстанции (БКТП) служат для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока промышленной частоты и предназначены для использования в системах электроснабжения городских жилищно-коммунальных, общественных и промышленных объектов, а также зон индивидуальной застройки и коттеджных поселков.

2БКТП поставляется в полной заводской готовности, что обеспечивает уменьшение затрат на монтаж электрооборудования, а также уменьшает сроки ввода подстанции в эксплуатацию.

Преимуществом 2БКТП также являются маленькие габариты ТП,

обусловленные компоновкой оборудования.

Данные о технических характеристиках 2БКТП представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики 2БКТП

Наименование параметра	Значение
Мощность силового трансформатора. кВа	400
Тип силового трансформатора	с масляным охлаждением герметичного типа (ТМГ)
Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ	6
Номинальное напряжение на стороне НН, кВ	0,4
Номинальный ток сборных шин на стороне ВН, А	630
Номинальный ток сборных шин на стороне НН, А	1250
Наличие АВР на стороне	НН
Схема с АВР- НН	оснащена приводом коммутационных аппаратов мотор-редукторами и контактами сигнализации положения аппаратов. Однократного действия.
Оборудование РУ-ВН	КСО-322- 6/ 630-40-1
Тип РЗА	vip-300 (максимальная токовая защита, токовая отсечка и защита от К.З. на землю)
Ток термической стойкости сборных шин на стороне ВН,кА/1с	20
Оборудование РУ-НН	автоматические выключатели
Марка автоматических выключателей РУНН на вводе	ВА88-43 1000А
Марка автоматических выключателей РУНН на отходящих линиях	ВА57-31 100А ВА57-35 250А
Учет электроэнергии	есть
АИISKУЭ	есть
Схема РУНН	до 26 присоединений на луч
Уровень ответственности	II
Степень огнестойкости здания	I
Климатическое исполнение по ГОСТу 15150	У1 (при температуре окружающей среды ниже -25°С)
Степень защиты по ГОСТу 14254	IP23
Сейсмичность района сооружения, баллов по шкале МСК-64	До 9
Высота над уровнем моря, м	До 3000
Срок службы, лет	Не менее 25

Таблица 15 - Конструктивные характеристики БКТП

Элемент (наименование)	Обозначение	Габариты, мм (Ш×Д×В)	Масса*, т	Высота внутри блока, мм
Объемный прямоугольник «ОП-46»	ОП-ЕС-Д	2380x4560x885	4,9	800
Объемный блок «ОБ-46»	ОК-ЕС-Д-В	2460x4640x3000	13,5	2475

Ввод в ТП осуществляется кабельными линиями.

6.1 Проверка оборудования распределительного устройства высокого напряжения

На высокой стороне применяется камера КСО-322-10/630-40-1 УЗ «Светлояр» - ячейка защиты силового трансформатора с предохранителями.

Исходя из следующих параметров, выбираются предохранители:

По напряжению – $U_{уст} \leq U_{ном}$:

$$U_{уст} = 6кВ \leq U_{ном} = 6кВ.$$

Номинальному длительному (рабочему) току – $I_{max} \leq I_{ном}$:

$$I_{max} = 53,86А \leq I_{ном} = 100 А,$$

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6} = 53,88 А.$$

Току отключения:

$$I_{п.о} = 6,84кА \leq I_{откл.п} = 20кА.$$

Выбранный предохранитель подходит для установки в КСО.

Результаты проверки приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Условия проверки и выбора предохранителя

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{сет. ном}$
$I_{max} = 53,88 \text{ А}$	$I_{ном} = 100 \text{ А}$	$I_{max} \leq I_{ном}$
$I_{п.о} = 6,84 \text{ кА}$	$I_{откл.п} = 20 \text{ кА}$	$I_{п.о} \leq I_{откл.п}$

Выбираем трансформатор тока класса напряжения 6кВ с литой изоляцией – ТОЛК-6.

Исходя из следующих параметров, проверяется выбранный трансформатор (ТТ) тока:

Номинальное напряжение – $U_{ном} \leq U_{сет. ном}$:

$$U_{ном} = 6 \text{ кВ} = U_{сет. ном} = 6 \text{ кВ}.$$

Номинальный длительный (рабочий) ток – $I_{раб} \leq I_{I ном}$:

$$I_{раб} = 38,5 \text{ А} \leq I_{I ном} = 40 \text{ А},$$

$$I_{раб} = \frac{S_{Т. ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6} = 38,5 \text{ А}.$$

При недогрузке первичной обмотки появляется дополнительная погрешность, поэтому необходимо номинальный первичный ток привести к более близкому значению рабочего тока уставки.

Электродинамическая стойкость – $i_{уд} \leq i_{дин} = K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{I ном}$

$$i_{уд} = 9,31 \text{ кА} \leq i_{дин} = 9,7 \text{ кА}.$$

Термическая стойкость – $B_k \leq K_T^2 \cdot I_{ном}^2 \cdot t_T = I_T^2 \cdot t_T$

$$B_k = I_{п,о}^2 (t_{откл} + T_a) = (6,84 \cdot 10^3)^2 (0,065 + 0,03) = 4,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с},$$

$$B_k = 19,42 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с} \leq I_T^2 \cdot t_T = (3,84 \cdot 10^3)^2 \cdot 3 = 44,23 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}.$$

где $t_{откл} = 0,065 \text{ с}$ – время отключения короткого замыкания.

Конструкция и класс точности – ТТ с элегазовым заполнением и фарфоровой изоляцией, класс точности равен 0,2;

Вторичная нагрузка:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}.$$

«Исходя условий прочности сечение для медных жил должно быть не менее 2,5 мм², для алюминиевых – 4,0 мм²» [6].

Все данные заносим в таблицу 17.

Таблица 17 - ТОЛК-6 условия проверки ТТ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
$I_{раб} = 38,5 \text{ А}$	$I_{ном} = 40 \text{ А}$	$I_{раб} \leq I_{ном}$
$i_{уд} = 9,31 \text{ кА}$	$i_{дин} = 9,7 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{дин}$
$B_{красч} = 4,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{кТТ} = 44,23 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{красч} \leq B_{кТТ}$

6.2 Проверка оборудования распределительного устройства низкого напряжения

В качестве РУ-НН используются панели распределительного щита серии ЩО70, на базе автоматических выключателей.

Выбор и проверка рубильника:

Условия выбора рубильника, определяются:

Номинальным напряжением – $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$:

$$U_{\text{ном}} = 0,4\text{кВ} = U_{\text{сет.ном}} = 0,4\text{кВ}.$$

Номинальным длительным током – $I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}}$:

$$I_{\text{мах}} = 808,86\text{А} \leq I_{\text{ном}} = 1000\text{ А} ,$$

$$I_{\text{мах}} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,29\text{ А} .$$

Электродинамической стойкостью:

$$i_{\text{уд}} = 9,31\text{кА} \leq i_{\text{дин}} = 40\text{кА} .$$

Термической стойкостью:

$$B_{\text{к}} \leq I_{\text{Т}}^2 \cdot t_{\text{Т}} , \text{ при условии } t_{\text{откл}} \succ t_{\text{Т}} ;$$

$$\text{если } t_{\text{откл}} \prec t_{\text{Т}} , \text{ то } B_{\text{к}} \leq I_{\text{Т}}^2 \cdot t_{\text{откл}} ,$$

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{пв.откл}} = 0,01 + 0,055 = 0,065\text{с} ,$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п,о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}) = (6,84 \cdot 10^3)^2 (0,065 + 0,03) = 4,44 \cdot 10^6\text{ А}^2\text{с} .$$

Условие проверки имеет следующий вид, так как $t_{откл} = 0,065\text{с} < t_T = 3\text{с}$:

$$B_k = 4,44 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = (20 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,065 = 26 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}.$$

Запишем полученные результаты в таблицу 18.

Таблица 18 - Условия выбора и проверки рубильника ВНК-41-31130-1000А

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
$I_{max} = 808,86 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{max} \leq I_{ном}$
$i_{уд} = 9,31 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 40 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{дин}$
$B_{к\text{расч}} = 4,44 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$	$B_{к\text{выкл}} = 26 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$	$B_{к\text{расч}} \leq B_{к\text{выкл}}$

Исходя из следующих параметров, проверяется выбранный трансформатор (ТТ) тока:

Номинальное напряжение – $U_{ном} \leq U_{сет.ном}$:

$$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ}.$$

Номинальный длительный (рабочий) ток – $I_{раб} \leq I_{Iном}$:

$$I_{раб} = 577,35 \text{ А} \leq I_{Iном} = 600 \text{ А},$$

$$I_{раб} = \frac{S_{Т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577,35 \text{ А}.$$

При недогрузке первичной обмотки появляется дополнительная

погрешность, поэтому необходимо номинальный первичный ток привести к более близкому значению рабочего тока уставки.

$$\text{Электродинамическая стойкость} - i_{уд} \leq i_{дин} = K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном}$$

$$i_{уд} = 9,31 \text{ кА} \leq i_{дин} = 9,7 \text{ кА} ,$$

$$\text{Термическая стойкость} - B_k \leq K_T^2 \cdot I_{ном}^2 \cdot t_T = I_T^2 \cdot t_T$$

$$B_k = I_{н,о}^2 (t_{откл} + T_a) = (6,84 \cdot 10^3)^2 (0,065 + 0,03) = 4,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с} ,$$

$$B_k = 4,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с} \leq I_T^2 \cdot t_T = (3,84 \cdot 10^3)^2 \cdot 3 = 44,23 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с} .$$

где $t_{откл} = 0,065 \text{ с}$ – время отключения короткого замыкания

Вторичная нагрузка:

$$Z_2 \leq Z_{2ном} .$$

«Исходя условий прочности сечение для медных жил должно быть не менее $2,5 \text{ мм}^2$, для алюминиевых – $4,0 \text{ мм}^2$ » [27].

Все данные заносим в таблицу 19.

Таблица 19 - ТШП-0,66 условия проверки ТТ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
$I_{раб} = 577,35 \text{ А}$	$I_{Iном} = 600 \text{ А}$	$I_{раб} \leq I_{Iном}$
$i_{уд} = 9,31 \text{ кА}$	$i_{дин} = 9,7 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{дин}$
$B_{к расч} = 4,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{к ТТ} = 44,23 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{к расч} \leq B_{к ТТ}$

Проверка автоматических выключателей

«Проверка автоматических выключателей ведется по следующим параметрам:

По надежности срабатывания» [27]:

$$I_K^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р.}$$

где $I_{н.р.}$ – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, кА;

$I_K^{(1)}$ – минимальный ток однофазного КЗ, кА.

«По отключающей способности» [27]:

$$I_{откл} \geq I_{к.мах}^{(3)}$$

где $I_{откл}$ – ток отключения автоматического выключателя, кА;

$I_{к.мах}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного короткого замыкания, кА.

«Исходя из самых неблагоприятных условий короткого замыкания в нагруженных точках, необходимо проверить автоматические выключатели именно в этих местах» [27].

Данные о проверке автоматических выключателей представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Проверка автоматических выключателей на ТП

Место установки	Автоматический выключатель	Условия проверки	
		$I_K^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р.}$	$I_{откл} \geq I_{к.мах}^{(3)}$
яч.1 РУ-0,4 кВ КТП(отходящая линия)	ВА57-35 250А	$1,95 \geq 3 \cdot 0,25$	$40 \geq 3,83$
Вводной автоматический выключатель	ВА88-43 1000А	$9,31 \geq 3 \cdot 1$	$40 \geq 9,31$
Секционный выключатель	ВА88-43 1000А	$9,31 \geq 3 \cdot 1$	$40 \geq 9,31$

Вывод по разделу: выбраны устройства распределения и защиты электроэнергии. На высокой стороне в КТП устанавливается камера КСО-322, ячейка защиты силового трансформатора с предохранителями. На низкой стороне располагается распределительная панель для одностороннего обслуживания ЩО70, на базе автоматических выключателей. Для данных ячеек было подобрано необходимое оборудование исходя из условий проверки и выбора.

7 Выбор комплектации и оборудования СРП

Выбор комплектации СРП необходимо производить из условия номинального тока ввода, вида защитных аппаратов, степени защиты, числа отходящих линий, номинального тока аппаратов для присоединений.

Под необходимые нужды подойдут распределительные пункты ПР8503, защищающие электроустановки от токов КЗ и перегрузок.

Щиты ПР 8503-138-4 выполнены на базе металлических корпусов ЩМП-200.80.30 (AISI 304) из нержавеющей стали размером 2000x800x300 мм, степень защиты IP66, с нижним вводом кабелей. В качестве вводного аппарата используется выключатель нагрузки ВА51-35M2-300016.

Щиты ПР 8503-138-4 поставляются комплектными, заводской готовности. Производитель комплектует их автоматическими выключателями серии АЕ 2050М с комбинированным термомагнитным расцепителем (защита от перегрузки и КЗ). В щите предусмотрено освещение и технологическая розетка 220 В для подключения переносного электроинструмента.

В шкафу ЩМП предполагается расположение системы автоматизированного коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), вместе с счётчиками потребителей, что уменьшает количество щитов учета электроэнергии. «АСКУЭ выполнено на базе каналов связи GSM/GPRS/3G и NB-IoT. Применяемые каналы связи обеспечивают своевременную и достоверную передачу информации о потреблении, о внештатных ситуациях, позволяют выявить факты хищений электроэнергии и дистанционно отключить неплательщиков. Весь необходимый функционал доступен администратору системы» [5]. Счета по электроэнергии каждый месяц отправляются оп почте потребителю. Информацию о показаниях счетчика пользователь АСКУЭ может

посмотреть дома, используя дистанционный пульт.

В качестве счетчика электроэнергии выступает трехфазный многотарифный счетчик CE308-S31 СПОДЭС/DLMS, трансформаторного или непосредственного включения. «Полностью соответствует требованиям ПП РФ №890 от 19.06.2020 к приборам учета электроэнергии, сертифицирован и внесен в Государственный реестр средств измерений РФ, а также соответствует требованиям технического регламента Таможенного Союза. Счетчик максимально защищен от хищений электроэнергии и используется в составе АСКУЭ для передачи измеренных параметров» [5].

Произведем проверку автоматов АЕ 2050М, в соответствии со следующими неравенствами:

Номинальное напряжение автомата должно быть больше напряжения сети:

$$U_{\text{сет.ном}} \leq U_{\text{ном}}.$$

Отстройка номинальный ток теплового расцепителя должен быть отстроен от максимального расчётного тока линии:

$$K_H I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}.$$

Предельно допустимый ток отключения автомата должен быть больше трехфазного тока короткого замыкания:

$$I_K^{(3)} \leq I_{\text{а.пр}}.$$

Для того чтобы автоматы срабатывали селективно ток уставки срабатывания $I_{\text{э.р.у}}$ электромагнитного расцепителя должен быть не меньше ток срабатывания отсечки $I_{\text{с.о}}$:

$$I_{c.o} = 1,25 \cdot I_{расч},$$

$$I_{c.o} \leq I_{э.р.у}.$$

Коэффициент чувствительности отсечки электромагнитного расцепителя определяется следующим неравенством:

$$K_{ч.о} = \frac{I_K^{(2)}}{I_{э.р.у}} \geq 1,1.$$

Коэффициент чувствительности теплового расцепителя определяется следующим неравенством:

$$K_{ч.т.р} = \frac{I_K^{(1)}}{I_{ном}} \geq 3.$$

Проверка произведена на примере СРП-1, как самого мощного потребителя. В таблице 21 представлены сведения по проверке.

Таблица 21 – Проверка автоматических выключателей АЕ 2050М

Место установки	Условия проверки					
	$U_{сет.ном} \leq U_{ном}$	$K_H I_{расч} \leq I_{ном}$	$I_K^{(3)} \leq I_{a.пр}$	$I_{c.o} \leq I_{э.р.у}$	$K_{ч.о} \geq 1,1$	$K_{ч.т.р} \geq 3$
Коттедж 450м.кв	$0,4 \leq 0,4$	$59,51 \leq 100$	$3,83 \leq 40$	$74,38 \leq 100$	$0,9 \geq 1,1$	$1,95 \geq 3$
Коттедж 350м.кв	$0,4 \leq 0,4$	$37,19 \leq 100$	$3,83 \leq 40$	$46,48 \leq 100$	$0,9 \geq 1,1$	$1,95 \geq 3$
Коттедж 250м.кв	$0,4 \leq 0,4$	$22,32 \leq 100$	$3,83 \leq 40$	$27,9 \leq 100$	$0,9 \geq 1,1$	$1,95 \geq 3$

Вывод по разделу: для распределения электроэнергии по отходящим линиям на отдельно стоящие дома, были выбраны комплектные щиты ПР 8503-138-4, на базе металлических корпусов ЩМП-200.80.30 (AISI 304) из нержавеющей стали размером 2000x800x300 мм. Для учета электроэнергии отдельных домов предусмотрена система автоматизированного коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). АСКУЭ выполнено на базе каналов связи GSM/GPRS/3G и NB-IoT. В качестве счетчика электроэнергии выбран трехфазный многотарифный счетчик SE308-S31 СПОДЭС/DLMS. Были проверены автоматические выключатели серии АЕ 2050М, установленные на отходящих линиях СРП. Данные автоматы прошли проверку по номинальному напряжению, отстройке по номинальному току теплового расцепителя, предельно допустимому току отключения автомата и коэффициентам чувствительности.

8 Наружное освещение

Основное освещение коттеджного поселка организуется с помощью установки светильников на опоры освещения средней высоты 3-5 м. Это оптимальная высота, позволяющая избежать эффекта заливающего освещения и попадания такого светового потока в окна малоэтажных домов. Питание наружного освещения предусматривается силовой сети 0,4 кВ.

Для обеспечения эстетичности среды необходимо использовать одинаковые опоры освещения или декоративные столбы, которые вносят свой вклад в создание образа элитного и комфортабельного поселка.

Стиль опор освещения и светильников должен совпадать по архитектуре коттеджного поселка. Нельзя совмещать ультрасовременные светильники в стиле техно с чугунными опорами, выполненными под старину.

В нынешнее время большинство разрабатываемых светильников применяют системы с высоким коэффициентом мощности и эффективностью. Наиболее распространёнными являются светодиодные устройства.

Под вышеперечисленные требования подойдут светодиодные светильники ДТУ-54-АF-60Вт, установленные на декоративных опорах "Солярис-5" высотой 4,2 м. Опоры устанавливаются на железобетонный фундамент с закладной деталью, ввод кабеля осуществляется через технологический лючок в закладной детали. Внешний вид и кривая силы света данных светильников представлены на рисунке 8.

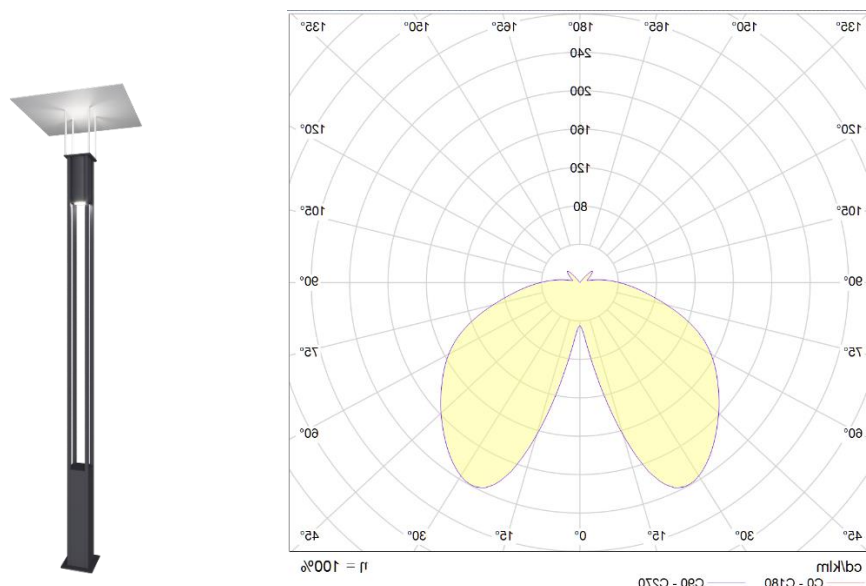


Рисунок 8 - Внешний вид и КСС светильника

Пролёт между опорами составляет не более 25 м. Освещённость обеспечивается не менее, чем требуется в соответствии с СП 52.13330-2016.

Питание наружного освещения осуществляется по трёхфазной кабельной линии с пофазным подключением светильников. Подключение выполняется в технологическом отсеке у основания опоры без разрезания магистрального провода. Присоединение светильников выполняется отрезком кабеля ВВГнг-1 3x1,5.

Управление наружным освещением территории выполняется на базе комплектного щита ЯУО 9603-3674, установленного в РУ-0,4 кВ проектируемой подстанции 2БКТП-400/6/0,4. Управление освещением реализовано в функции времени от таймера, входящего в комплектацию щита. Предусмотрена возможность ручного и дистанционного управления (с кнопочного поста или таймера, установленного на КПП). Таймер обеспечивает отключение и включение уличного освещения по заранее записанному в память годовому графику. Память контроллера энергонезависимая, не требует перезаписывания графика при

обесточивании щита.

Вывод по разделу: исходя из стиля архитектуры коттеджного поселка, из средней высоты опор освещения 3-5 м, а также из эффективности энергопотребления, кривой силы света, освещённости, были выбраны светодиодные светильники ДТУ-54-АФ-60Вт, установленные на декоративных опорах "Солярис-5" высотой 4,2 м. Пролёт между опорами выполнен на расстоянии не более 25 м. На базе комплектного щита ЯУО 9603-3674, было разработано управление наружным освещением территории. Управление освещением реализовано в функции времени от таймера, а также есть возможность ручного и дистанционного управления. Присоединение светильников выполнено отрезком кабеля ВВГнг-1 3х1,5. Питание наружного освещения выполнено от силовой сети 0,4 кВ.

9 Расчет заземляющих устройств

«Все нетоковедущие части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, должны быть заземлены» [19].

Для проектируемой 2БКТП-400/6/0,4 и щитов СРП предусмотрены самостоятельные заземляющие устройства.

Наружный контур заземления 2БКТП-400/6/0,4 кВ будет выполняться из 12 вертикальных заземлителей, соединенных стальной полосой размером 5х40 мм в замкнутый контур.

Полоса заземления прокладывается в траншее Т-1 (по тип.серии А5-92-13). Глубина прокладки полосы 0,5 м от планировочной отметки земли. Контур прокладывается на расстоянии 1,0 м от поддонов КТП.

Присоединение КТП к наружному контуру выполняется в четырёх точках при помощи заземляющих выпусков. Заземляющий выпуск представляет собой из стальную полосу 5х40 мм, полоса прокладывается от горизонтального заземлителя к поддону в траншее (горизонтально), подъём в точке присоединения выполняется вертикально вдоль стенки поддона.

Наружный контур заземления щитов СРП будет выполняться из 3 вертикальных заземлителей, соединенных стальной полосой размером 5х40 мм в замкнутый контур, длиной $L=3\text{м}$.

Полосу заземления прокладывается в траншее Т-1 (по тип.серии А5-92-13). Глубина прокладки полосы 0,5 м от планировочной отметки земли. Контур проложить на расстоянии 0,6 м от подземной части фундамента. Положение заземляющего устройства относительно фундамента может быть симметричным.

Присоединение металлической рамы к наружному контуру выполняется в двух точках при помощи заземляющих выпусков из стальной полосы 5х40 мм.

Заземляющие устройства необходимо рассчитывать следующим способом:

«Определим значение уточнённого удельного сопротивления грунта»
[3]:

$$\rho = \rho_{уд} \cdot \Psi .$$

где $\rho_{уд}$ – удельное сопротивление грунта, Ом м;

Ψ – коэффициент сезонного изменения удельного сопротивления.

«Рассчитаем по следующей формуле сопротивление вертикального электрода, стального уголка» [3]:

$$R_в = \frac{0,366 \cdot \rho}{L_в} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot L_в}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot t + L_в}{4 \cdot t - L_в} \right) .$$

где L – длина уголка, м;

b – ширина уголка, м;

t – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

«Рассчитаем по следующей формуле сопротивление горизонтального электрода» [3]:

$$R_г = \frac{0,366 \cdot \rho}{L_г} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot L_г^2}{b_г \cdot t_г} \right) .$$

где $L_г$ – длина полосы, м;

$b_г$ – ширина полосы, м;

$t_г$ – расстояние от поверхности земли до середины полосы, м.

«Коэффициент использования для вертикальных электродов составляет $K_{ив} = 0,76$, а для горизонтальной полосы $K_{иг} = 0,56$ » [3]:

«Рассчитаем по следующей формуле суммарное сопротивление вертикальных электродов» [3]:

$$R_{в.сум} = \frac{R_в}{n \cdot K_{ув}}$$

где n – количество вертикальных электродов.

«Рассчитаем по следующей формуле суммарное сопротивление полосы» [3]:

$$R_{г.сум} = \frac{R_г}{K_{уг}}$$

«Рассчитаем по следующей формуле полное сопротивление заземляющего устройства» [3]:

$$R_з = \frac{R_{в.сум} \cdot R_{г.сум}}{R_{в.сум} + R_{г.сум}}$$

«Для проверки сопротивления заземляющего контура воспользуемся неравенством» [3]:

$$R_з \leq R_{норм.}$$

где $R_{норм}$ – нормируемое ПУЭ значение сопротивления заземляющего устройства.

«Для защитного заземления сопротивление заземляющих устройств в любое время года составляет не более 4 Ом при линейном напряжении 380 В источника трехфазного тока, для повторного заземления нулевого провода не более 30 Ом» [19]:

В таблице 22 представлены результаты расчетов.

Таблица 22 – Расчет заземляющих устройств

Заземляющее устройство	ρ , Ом м	$R_{в}$, Ом	$R_{г}$, Ом	$R_{в.сум}$, Ом	$R_{г.сум}$, Ом	$R_{з}$, Ом	$R_{з} \leq R_{норм}$
2БКТП	110	30,1	5,1	3,3	9,1	2,5	$2,5 \leq 4$
СРП	110	30,1	6	10	9,3	4,5	$4,5 \leq 30$

Вывод по разделу: были разработаны заземляющие устройства. Так, Наружный контур заземления 2БКТП-400/6/0,4 кВ спроектирован из 12 вертикальных заземлителей, соединенных стальной полосой размером 5x40 мм в замкнутый контур. Наружный контур заземления щитов СРП выполнен из 3 вертикальных заземлителей, соединенных стальной полосой размером 5x40 мм в замкнутый контур. Исходя из расчета сопротивлений заземляющих устройств, было получено сопротивление равное 2,5 Ом для БКТП и 4,5 Ом для СРП. Полученные значения удовлетворяют требованиям ПУЭ.

Заключение

По итогу выполнения выпускной квалификационной работы, были разработаны технические решения для электроснабжения новостроящегося коттеджного поселка «Nabokov live residence», расположенного по адресу ул. Лесопарковое шоссе 61 города Тольятти.

Электроснабжение поселка было представлено в виде радиальной конфигурации сети. При этом для обеспечения необходимого количества фидеров, питание коттеджей выполнено от силовых распределительных пунктов (СРП). Для питания КПП выделен 1 кабель. Для питания КНС выделено 2 кабеля. Для питания таунхауса выделено 2 кабеля. Так, для питания всех электроприемников необходимо 11 отходящих фидеров 0,4кВ.

Перед тем как выбирать оборудование для обеспечения электроснабжения был произведен расчет электрических нагрузок. Расчет электрических нагрузок производился на основании предоставленных данных инженером-технологом, по методике описанной в СП 256.1325800.2016. Полная мощность трансформаторной подстанции составила 550,85 кВА, при токе $I_p = 795,07$ А.

По полученным данным электрических нагрузок, а также исходя из того, что объект имеет II категорию надежности электроснабжения были выбраны 2 трансформатора типа ТМГ – 400/6/0,4. Также был рассчитан фактический коэффициент загрузки трансформаторов равный 0,68, что удовлетворяет рекомендательному коэффициенту загрузки.

Престижный поселок получает электроэнергию кабельными линиями, для достижения необходимой эстетики. При прокладке кабельных линий учитывались способ прокладки, передаваемая мощность и экономическая составляющая. Исходя из вышеперечисленных требований был выбран кабель марки АВБбШв. Для питания СРП-1, СРП-3 применяется кабель АВБбШв 4х95. Для питания

СРП-2, СРП-4, ВРУ применяется кабель АВБбШв 4х50. Для питания СРП-5 применяется кабель АВБбШв 4х10. Для питания ЩР-КПП, СРП-КНС применяется кабель АВБбШв 4х6. Для питания ЯУО применяется кабель АВБбШв 5х2,5. Кабели прошли условия проверки по допустимым потерям напряжения, по термической стойкости, по проверке на возгорание.

Выбрана трансформаторная подстанция типа 2БКТП, Завод-изготовителя «ЭЗОИС-Поволжье». Комплектация 2БКТП предполагает установку АВР на низкой стороне и ручной привод на высокой. РУ-ВН представляет собой камеру КСО-322- 6/ 630-40-1 УЗ «Светлояр» - ячейка защиты силового трансформатора с предохранителями. На стороне ВН выбран трансформатор тока - ТОЛК-6. РУ-НН представляет собой панели распределительного щита серии ЩО70, на базе автоматических выключателей. На стороне НН выбран трансформатор тока - ТШП-0,66. На стороне НН выбран рубильник ВНК-41-31130-1000А.

Компоновка Силовых распределительных пунктов выполнена на базе щитов ПР 8503-138-4 в металлическом корпусе ЩМП-200.80.30 (АISI 304). В качестве вводного аппарата используется выключатель нагрузки ВА51-35М2-300016. Для отходящих линий используется автоматический выключатель марки АЕ 2050М с комбинированным термомагнитным расцепителем. Учет электроэнергии выполнен на базе системы АСКУЭ с применением каналов связи GSM/GPRS/3G и NB-IoT. В качестве счетчика электроэнергии выбран трехфазный многотарифный счетчик СЕ308-S31 СПОДЭС/DLMS.

Наружное освещение выполнено на базе светильников ДТУ-54-АФ-60Вт, установленные на декоративных опорах "Солярис-5" высотой 4,2 м.

Разработана система заземления, для которой были рассчитаны сопротивления заземляющих устройств. Полученные значения удовлетворяют требованиям ПУЭ.

Поставленные задачи выполнены, цель ВКР достигнута.

Список используемых источников

1. ГОСТ 28249-93. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кв. М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 1992.
2. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ Р 58882 – 2020. Заземляющие устройства. системы уравнивания потенциалов. заземлители. Заземляющие проводники М.: Стандартинформ, 2020.
4. ГОСТ Р 52736-2007. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. М.: Стандартинформ, 2007.
5. Каталог. АСКУЭ на базе каналов связи GSM/GPRS/3G и NB-IoT [Электронный ресурс]: ООО «Энергоспец» URL: <https://enspec.ru/nb-iot.html> (дата обращения: 22.03.2024).
6. Каталог. Блочные комплектные трансформаторные подстанции 2БКТП [Электронный ресурс]: ООО «ЭЗОИС» URL: <https://www.ezois.ru/solutions-and-services/products/bktp/> (дата обращения: 22.03.2024).
7. Каталог. Выключатели автоматические типа АЕ2040; АЕ2050М; АЕ2050М1 [Электронный ресурс]: ООО «КЭАЗ» URL: <https://files.keaz.ru/f/881/manual-ae2040-ae2050-ae2050m1.pdf?1599132503> (дата обращения: 22.03.2024).
8. Каталог. Выключатели автоматические типа ВА51-35 [Электронный ресурс]: ООО «КЭАЗ» URL: <https://ru-keaz.com/docs/f/885/manual-va51-35.pdf> (дата обращения: 22.03.2024).
9. Каталог. Выключатель нагрузки ВНК-41-31130-1000А-IP32-УХЛ3-КЭАЗ [Электронный ресурс]: ООО «КЭАЗ» URL:

<https://keaz.ru/catalog/product/113123> (дата обращения: 22.03.2024).

10. Каталог. Кабельная продукция марки - АВБбШв [Электронный ресурс]: ООО «НКЛ» URL: http://energocable.com/cabel_plastmas/224/.

11. Каталог. Корпуса металлические ЩМП [Электронный ресурс]: ООО «iEK» URL: <https://om-ek.ru/TechDesc/b987072c20a45e482d260ed0c6e472c7.pdf> (дата обращения: 22.03.2024).

12. Каталог. Панели распределительных щитов серии шо-70 на напряжение 0,4 кВ [Электронный ресурс]: ООО «Тяжмаштрейд» URL: <https://tmtrade.ru/common/download/private/tmt-shcho70-ti.pdf> (дата обращения: 22.03.2024).

13. Каталог. Светильники «Солярис-5» [Электронный ресурс]: ООО «ALFRESCO» URL: https://www.allfresco.ru/catalog/dekorativnoe_ulichnoe_osveshchenie/solyaris_5/ (дата обращения: 22.03.2024).

14. Каталог. Счетчик электроэнергии трехфазный многотарифный СЕ308-S31 СПОДЭС/DLMS [Электронный ресурс]: ООО «Энергоспец» URL: <https://enspec.ru/schetchik-elektroenergii-trexfaznyij-mnogofunkczionalnyij-ce308-s31-spodes/dlms.html> (дата обращения: 22.03.2024).

15. Каталог. Трансформаторы тока ТОЛК-6 [Электронный ресурс]: ООО «Свердловский завод трансформаторов тока» URL: https://tkenergo.com/upload/iblock/f51/re_tolk_6.pdf (дата обращения: 22.03.2024).

16. Каталог. Трансформаторы тока ТОП-0,66; ТОП-0,66-I; ТШП-0,66; ТШП-0,66-I [Электронный ресурс]: ООО «Свердловский завод трансформаторов тока» URL: https://tkenergo.com/upload/iblock/15a/re_top_0_66_-top_0_66_i.pdf (дата обращения: 22.03.2024).

17. Каталог. Ящик управления освещением ЯУО9603-3674 [Электронный ресурс]: ООО «IEK GROUP» URL:

https://www.iek.ru/products/catalog/tipovye_resheniya_nku/yashchiki_upravleniya_osveshcheniem/nku_yashchiki_upravleniya_osveshcheniem_yauo/yashchiki_upravleniya_osveshcheniem_yauo_ot_taymera/yashchik_upravleniya_osveshcheniem_yauo9603_3674_avtomaticheskie_vyklyuchateli_3p_1kh50a_1p_1kh1a_kontaktor_1kh40a_taymer_fotorele_iek (дата обращения: 22.03.2024).

18. Пилипенко О.И. Выбор силовых трансформаторов: методические указания к расчетно-графическому заданию. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2020.

19. Правила устройства электроустановок. М.: ЭНАС, 2015. 552 с.

20. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей: нормативно-технический материал: Минтопэнерго РФ, 1994.

21. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа: нормативно-технический материал: Москва, Стандартинформ, 2016.

22. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал: Москва, Стандартинформ, 2016.

23. СТО 34.01-3.1-002-2016. Типовые технические решения подстанций 6-110 кВ М.: Стандарт организации ПАО «РОССЕТИ», 2016.

24. Типовой проект. Шифр А5-92. Прокладка кабелей напряжением до 35 кВ в траншеях: сборник технических решений: Москва, ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект», 1992.

25. Типовой проект. Шифр. САНТ.674836.002. БКТП в ж/б оболочке напряжением 6(10)/0,4 кВ мощностью 100-1250кВА.

26. Циркуляр № Ц-02-98 (Э). О проверке кабелей на возгорание при воздействии тока короткого замыкания: нормативно-технический материал: Москва, 1998.

27. Ю.В. Черненко. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учебно-методическое пособие – Тольятти: ФГБОУ ВО ТГУ, 2020.

28. Fokeev A., Subgatullin B. and Ahmed Y. E. Methods of electrical loads calculation and selection of electrical power equipment 2019 [Электронный ресурс] : International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. Ufa, Russia, 2019, pp. 1-6. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8949966> (дата обращения: 10.11.2021).

29. Gorgulu S., Kocabey S. An energy saving potential analysis of lighting retrofit scenarios in outdoor lighting systems : A case study for a university campus [Электронный ресурс]. Istanbul, Turkey, 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620311070> (дата обращения: 21.12.2023).

30. Ivanova V.R., Ivanov I.Y., Kiselev I.N. Calculation and Diagnostic System of the Technical Condition of Grounding Devices of Electrical Installations // Proceedings of ICEPP. 2021. pp. 64–75.

31. Scheffler J. Operation of low voltage distribution networks with decentralised combined heat and power fuel cell systems for residential application Transmission and Distribution Conference and Exposition [Электронный ресурс] : Developing New Perspectives. Atlanta, GA, USA, pp. 759-763 vol.2. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/971333> (дата обращения: 08.12.2023).

32. Wang P., Xu J. Q. and Su J. The research of urban distribution network high-reliability power supply construction International Conference on Advanced Power System Automation and Protection [Электронный ресурс]. Beijing, China, 2011, pp. 1497-1500. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6180744> (дата обращения: 27.11.2023).