

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение жилого комплекса «Поле Чудес»

Студент

К.Д. Котенко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Терентьев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрена тема электроснабжения жилого комплекса ЖК «Поле чудес».

Работа включает в себя расчет электрических нагрузок, выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов. Расчет токов короткого замыкания, выбор коммутационной аппаратуры на стороне высокого и низкого напряжения ТП, её проверка на термическую и электродинамическую стойкость. Технико-экономическое сравнение нескольких марок кабелей разных производителей. Выбор кабелей на стороне 0,4 и 6 кВ конкретной марки, выбор их сечения по длительно допустимому току, проверка на термическую стойкость, невозгорание, на абсолютные и относительные потери напряжения. А также расчет искусственного заземления.

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 60 страниц, содержит 16 таблиц, 6 рисунков, графическую часть на 6 листах формата А1.

Abstract

The title of graduation work is electricity supply of the residential complex "Field of Miracles".

The aim of the work is to implement an electricity supply system that meets modern reliability requirements, and at the same time is the most economical.

The key issue of the graduation project is to development a power supply system for a residential complex located in the city of Togliatti.

Cities are large consumers of electric energy, not only domestic, but also industrial. The need for electricity in cities accounts for 40% of all electricity generated in the country. From year to year, there is an increase in electricity consumption, associated not only with the development of industry, but also with the penetration of electrical energy into all spheres of human life. As a result, the systematic development of electrical networks is necessary, therefore, an adequate electricity supply system should be provided.

Taking into consideration the fact that there is a problem of rational implementation of electricity supply systems for cities, therefore the topic of this graduation work is considered actual.

The graduation project consists of an explanatory note on 60 pages, introduction 2 pages, including 6 figures, 16 tables, the list of 34 references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

Содержание

Введение	5
1 Характеристика объекта.....	7
2 Расчет нагрузок потребителей.....	11
3 Выбор типа, числа и мощности силового трансформатора.....	18
4 Выбор кабелей.....	21
5 Проверка кабелей на потери напряжения.....	27
6 Расчет токов КЗ.....	31
7 Проверка кабелей на термическую стойкость и на возгорание.....	38
8 Выбор электрических аппаратов.....	44
9 Расчет заземления.....	53
Заключение	56
Список использованных источников	58

Введение

Электрическая энергия один из самых важных видов энергии. Она может передаваться на большие расстояния потребителю.

Чтобы обеспечить надежную и бесперебойную подачу электрической энергии потребителю, для уменьшения потерь энергии в электрических сетях тепловые электрические станции, ТЭЦ и ГЭС с помощью линии электропередач высокого напряжения объединяют в единую энергосистему, которая работает на общую распределительную сеть. Энергосистема представляет собой совокупность устройств, а именно: источник питания, распределительные устройства, понижающие и повышающие электрические подстанции, ЛЭП и приемники электрической энергии.

Потребители электрической энергии по характеру режима работы делятся на: транспортные, промышленные, сельскохозяйственные и городские (коммунальные).

Города – это крупные потребители электрической энергии, не только бытовые, но и промышленные. Потребность в электроэнергии городов составляет по стране 40 % всей вырабатываемой электроэнергии. Это исходит из того, что в больших городах присутствуют объекты общественно-коммунального характера, электрические нагрузки и электропотребление которых сравнимы с крупными промышленными предприятиями. Объекты представляют из себя: городской электрифицированный транспорт, водопровод и канализация, спортивные комплексы, больницы, гостиницы, торгово-развлекательные комплексы. Всё это дает непрерывный рост электропотребления, требующий систематического развития электрических сетей, поэтому должна предусматриваться соответствующая система электроснабжения. Она включает электросети 35 – 110 кВ, которые связаны с сетями 220 – 330 кВ, а так же распределительную сеть напряжением 6 – 10 кВ от которой питается большинство потребителей. Распределительная сеть для питания электроприёмников общего пользования имеет напряжение 0,38/0,22 кВ.

Из года в год происходит рост электропотребления, связанный не только с развитием промышленности, но и с проникновением электрической энергии во все сферы жизнедеятельности человечества. Существует проблема рационального выполнения систем электроснабжения городов, поэтому тема данной бакалаврской работы считается актуальной.

В представленной бакалаврской работе разработан проект системы электроснабжения жилого комплекса находящегося в городе Тольятти. Целью работы является выполнение системы электроснабжения, отвечающей современным требованиям надежности, и при этом наиболее выгодной с экономической точки зрения.

1 Характеристика объекта

1.1 Краткая физико-географическая характеристика района работ

Объектом электроснабжения является жилой комплекс «Поле чудес» расположенный по адресу: Российская Федерация, Самарская область, городской округ Тольятти, Центральный район, улица Ленинградская 68 (71 квартал). В данный жилой комплекс входят здания и сооружения жилищного, торгового, социально-бытового назначения с подземными автостоянками. А именно, жилой дом переменной этажности со встроенными нежилыми помещениями позиция №1, также планируется постройка жилого дома переменной этажности позиция №2, подземной автостоянки, торгово-офисного центр с подземной парковкой. Жилой дом со встроенными нежилыми помещениями позиция №1 делится на несколько секций, его этажность 17/12/5/17 этажей. Количество подземных этажей 1. Данные архитектурные строения занимают земельный участок площадью 24091 кв.м. В том числе площадь подземной части 5492,94 куб.м. Площадь подземной автостоянки 100,0 кв.м. Площадь стоянки для автомобилей 40,0 кв.м. Общая площадь квартир 22016,61 кв.м. Количество квартир – 470 шт. В том числе: однокомнатных – 369, двухкомнатных – 44, трёхкомнатных – 57.



Рисунок 1 – Объект электроснабжения: жилой дом переменной этажности со встроенными нежилыми помещениями позиция №1

1.2 Климат

В городе Тольятти присутствует умеренно континентальный климат с холодной зимой и жарким летом. Климат смягчается Куйбышевским водохранилищем, которое влияет на территории расстоянием 1 – 3 км (Центральный район только в районе Портпоселка, Автозаводский и Комсомольский районы города). Город состоит из обособленных районов, разделённых лесными массивами, это значительно влияют на климат. Средняя температура января $-10,6$ °С, средняя температура июля $+20,9$ °С. Количество солнечных часов (дней) в году – 2113 часов (285 дней). Продолжительность периода с постоянным снежным покровом – 143 дня, средняя высота которого достигает 33 сантиметра. Заморозки возможны до середины мая. Среднее количество осадков – 492 мм в год, из которых треть приходится на холодное время года. Влажность воздуха в городе Тольятти достигает 80 – 85 % зимой и 55 – 70 % в тёплый период. Среднегодовая скорость ветра около 3,9 м/с.

1.3 Геоморфологические условия

Рельеф города Тольятти определяется нахождением города в Среднем Заволжье (часть Русской равнины). Абсолютные отметки поверхности земли в феврале 2015 года (по устьям скважин) изменялись от 93,91 до 100,42 м.

1.4 Свойства грунтов

В соответствии с табл. 1 ГОСТ 9.602-2005, до глубины 5,0 м, грунты обладают низкой коррозионной агрессивностью по отношению к углеродистой и низколегированной стали.

В соответствии с табл. 2 ГОСТ 9.602-2005, до глубины 5,0 м, грунты обладают низкой коррозионной агрессивностью по отношению к свинцовым оболочкам кабелей.

В соответствии с табл. 4 ГОСТ 9.602-2005, до глубины 5,0 м, грунты обладают низкой коррозионной агрессивностью по отношению к алюминиевым оболочкам кабелей.

1.5 Гидрогеологические условия

Подземные воды на территории выполнения работ встречены не были.

1.6 Опасные геологические процессы

- Сейсмичность. Согласно картам общего сейсмического районирования ОСР-97 «Список населенных пунктов Российской Федерации, расположенных в сейсмических районах, с указанием расчетной сейсмической интенсивности в баллах шкал MSK – 64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности – А (10%), В(5%), С(1%) в течение 50 лет», район г. Тольятти по картам С (1%) оценивается в 7 баллов. (СП 14.13330.2011).

- Морозное пучение грунтов. Нормативная глубина сезонного промерзания насыпных грунтов составляет 1,88 м, суглинков – 1,54 м .

- Заболачивание территории. В периоды интенсивного снеготаяния и ливневых дождей в насыпных грунтах возможно возникновение вод типа «верховодка», а в понижениях рельефа возможно образование зеркала открытой воды. Затрудненный естественный дренаж может привести к активизации процесса заболачивания территории.

1.7 Задачи необходимые для реализации данного проекта

Для выполнения системы электроснабжения надежной и при этом наиболее выгодной с экономической точки зрения поставлены следующие задачи.

1. Необходимо произвести расчет нагрузок электроприемников. Согласно Правилам устройств электроустановок (ПУЭ) все электроприемники для обеспечения надежности электроснабжения

подразделены на три категории. Один потребитель может иметь электроприемники разных категорий по надежности электроснабжения. Жилой дом от 6 до 16 этажей включительно относится ко второй категории, но при этом есть электроприемники и первой категории (пожарные насосы, пожарная сигнализация, электродвигатели системы дымоудаления, лифты, аварийное и эвакуационное освещение). Чтобы обеспечить надежность электроснабжения применяют соответствующие схемы построения питающих и распределительных сетей, используют резервные источники питания, сетевую автоматику, то есть совокупность устройств для автоматического отключения и включения кабельных и воздушных линий электропередачи, трансформаторов, шин при нарушении электроснабжения.

2. Произвести выбор количества установки трансформаторных подстанций, это зависит от суммарной расчетной нагрузки потребителей и применяемой мощности трансформаторов.

3. Рассчитать токи короткого замыкания необходимые для выбора аппаратов защиты линий электропередачи и трансформатора, проверка этих аппаратов защиты на термическую и электродинамическую стойкость.

4. Выбрать силовые кабели для высокой и низкой стороны, проверка их на термическую стойкость, невозгорание и на потери напряжения.

5. Выбрать оборудование БКТП на высокой и низкой стороне.

6. В соответствии с ПУЭ произвести расчет заземляющего устройства здания.

2 Расчет нагрузок потребителей

Расчет нагрузок строящегося жилого дома позиция №1 в 71 квартале, расположенного по адресу РФ, Самарская область, город Тольятти, Центральный район, улица Ленинградская 68, на шинах 0,4 кВ ТП производится в соответствии с нормативными документами:

1) РД 34.20.185-94 «Инструкция по проектированию городских электрических сетей» [3].

2) СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» [4].

3) Правила устройства электроустановок, 7 изд. [1].

При определении расчетной электрической нагрузки линии или на шинах 0,4 кВ ТП должны учитываться суммарное количество квартир, лифтовых установок и другого силового электрооборудования, питающегося от ТП, и потери мощности в питающих линиях 0,38 кВ.

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир определяется по формуле:

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

где $P_{уд.кв}$ - удельная нагрузка 1 квартиры в жилом доме,

n - число квартир.

В соответствии с СП 31-110-2003, таблица 6.1 [4]. Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир (с плитами электрическими) принимается: для секции №1 $P_{уд.кв} = 1,36 \text{ кВт}$, для секции №2 $P_{уд.кв} = 1,5 \text{ кВт}$, для секции №3 $P_{уд.кв} = 1,95 \text{ кВт}$, для секции №4 $P_{уд.кв} = 1,36 \text{ кВт}$.

Для определения значения утреннего или дневного максимума нагрузок применяется коэффициент 0,7 - для жилых домов с электрическими плитами:

$$P_{кв.макс} = 0,7 \cdot P_{кв.}, \quad (2)$$

где $P_{кв.}$ - расчетная нагрузка электроприемников квартир, кВт;

В соответствии с примечанием к таблице 6.1 СП 31-110-2003 [4] «Удельные расчетные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения общедомовых помещений (лестничных клеток, подполий, технических этажей, чердаков и т.д.), а также нагрузку слаботочных устройств и мелкого силового оборудования (щитки противопожарных устройств, автоматики, учета тепла и т.п., зачистные устройства мусоропроводов, подъемники для инвалидов)», производится расчет собственных нужд дома.

Мощность собственных нужд рассчитывается исходя из силовых электроприемников жилого дома, в данном случае лифтовых установок. В секциях здания предусмотрены пассажирские лифты грузоподъемностью 630 кг, со скоростью 0,71 м/сек и мощностью электродвигателя 5 кВт.

Мощность лифтовых установок $P_{р.л}$, кВт, определяется по формуле:

$$P_{р.л} = k'_c \sum_1^{n_л} P_{ni} , \quad (3)$$

где k'_c - коэффициент спроса по табл. 2.1.2 (РД 34.20.185-94);

$n_л$ - количество лифтовых установок;

P_{ni} - установленная мощность электродвигателя лифта, кВт.

В виду отсутствия данных силовых установок о которых упоминается выше мощность собственных нужд:

$$P_{с.н} = P_{р.л} , \quad (4)$$

Расчетная нагрузка каждой секции жилого дома (квартир и силовых электроприемников) определяется по формуле:

$$P_p = P_{кв} + 0,9 \cdot P_{с.н} . \quad (5)$$

Суммарная активная мощность жилого дома:

$$P_{р.ж.д} = \sum P_p . \quad (6)$$

Полная мощность каждой секции жилого дома:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi} , \quad (7)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности, принят в соответствии с п. 6.12 СП 31-110-2003 и равен 0,96.

Суммарная полная мощность жилого дома на шинах ТП:

$$S_{p.ж.д} = \sum S_{ж.кв} . \quad (8)$$

В ВРУ полученные значения нагрузок каждой секции дома распределяется между вводами 1 и 2.

Производится расчет тока протекающего по вводам 1 и 2 по формуле:

$$I_{1,2} = \frac{P_{в.1,2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} , \quad (9)$$

где $P_{в.1,2}$ - нагрузка одного из вводов 1 или 2 каждой секции, кВт

$U_{ном}$ - напряжение сети, кВ

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности

Ток аварийного режима, определяется следующим образом:

$$I_p = \sum I . \quad (10)$$

Аварийный режим заключается в следующем, когда один из кабелей выходит из строя, то всю нагрузку должен выдержать второй исправный кабель, весь ток, который протекал по двум кабелям, будет протекать по одному, это необходимо при аварийных ситуациях, так как некоторые из данных электроприемников относятся ко второй категории надежности, где перерыв в электроснабжении нежелателен.

Далее производится расчет для каждой секции жилого дома с помощью представленных формул.

2.1 Расчет нагрузок секций жилого дома позиция №1

Исходные данные:

Этажность секции № 1 - 17 этажей;

Количество квартир -176 шт.

Этажность секции № 2 – 12 этажей;

Количество квартир – 142 шт.

Этажность секции № 3 – 5 этажей;

Количество квартир – 34 шт.

Этажность секции № 4 – 17 этажей;

Количество квартир – 202 шт.

Плиты электрические, мощностью 8,5 кВт.

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир:

Для секции I

$$P_{кв.I} = 1,36 \cdot 176 = 239,36 \text{ кВт} .$$

Для секции II

$$P_{кв.II} = 1,5 \cdot 142 = 213 \text{ кВт} .$$

Для секции III

$$P_{кв.III} = 1,95 \cdot 34 = 66,3 \text{ кВт} .$$

Для секции IV

$$P_{кв.IV} = 1,36 \cdot 202 = 274,72 \text{ кВт} .$$

Утренний или дневной максимум нагрузок:

$$P_{кв.маx I} = 0,7 \cdot 239,36 = 167,55 \text{ кВт} .$$

$$P_{кв.маx II} = 0,7 \cdot 213 = 149,1 \text{ кВт} .$$

$$P_{кв.маx III} = 0,7 \cdot 66,3 = 46,41 \text{ кВт} .$$

$$P_{кв.маx IV} = 0,7 \cdot 274,72 = 192,3 \text{ кВт} .$$

Мощность лифтовых установок:

В секции I установлено 2 лифта ,так как более 12 этажей, то $k'_c = 0,9$,
 $P_{ли} = 5$ кВт.

$$P_{р.л} = 2 \cdot 0,9 \cdot 5 = 9 \text{ кВт} .$$

В секции II установлено 2 лифта ,так как этажность 12 этажей, то $k'_c = 0,8$, $P_{ли} = 5$ кВт.

$$P_{p.I} = 2 \cdot 0,8 \cdot 5 = 8 \text{ кВт} .$$

В секции III лифты не предусмотрены

$$P_{p.II} = 0 \text{ кВт} .$$

В секции IV установлено 2 лифта, этажность более 12 этажей, $k'_c = 0,9$,
 $P_{ni} = 5 \text{ кВт}$.

$$P_{p.IV} = 2 \cdot 0,9 \cdot 5 = 9 \text{ кВт} .$$

Мощность собственных нужд:

$$P_{с.н.I} = 9 \text{ кВт} .$$

$$P_{с.н.II} = 8 \text{ кВт} .$$

$$P_{с.н.III} = 0 \text{ кВт} .$$

$$P_{с.н.IV} = 9 \text{ кВт} .$$

Расчетная нагрузка секций I-IV жилого дома (квартир и силовых электроприемников):

$$P_{p.I} = 239,36 + 0,9 \cdot 9 = 247,46 \text{ кВт} .$$

$$P_{p.II} = 213 + 0,9 \cdot 8 = 220,2 \text{ кВт} .$$

$$P_{p.III} = 66,3 + 0,9 \cdot 0 = 66,3 \text{ кВт} .$$

$$P_{p.IV} = 274,72 + 0,9 \cdot 9 = 282,82 \text{ кВт} .$$

Суммарная активная мощность жилого дома:

$$P_{p.ж.д} = 247,6 + 220,2 + 66,3 + 282,82 = 816,78 \text{ кВт} .$$

Полная мощность секций I-IV жилого дома:

$$S_{p.I} = \frac{247,46}{0,96} = 257,77 \text{ кВА} ,$$

$$S_{p.II} = \frac{220,2}{0,96} = 229,37 \text{ кВА} ,$$

$$S_{p.III} = \frac{66,3}{0,96} = 69,06 \text{ кВА} ,$$

$$S_{p.IV} = \frac{282,82}{0,96} = 294,6 \text{ кВА}.$$

Суммарная полная мощность жилого дома на шинах ТП:

$$S_{p.ж.д} = 257,77 + 229,37 + 69,06 + 294,6 = 850,8 \text{ кВА}.$$

Расчетная нагрузка питающей линии до секции I $P_{p.1,2} = 247,46 \text{ кВт}$,
распределяется между вводами 1 и 2 таким образом, ввод 1 = 135,05 кВт,
ввод 2 = 112,41 кВт.

Ток протекающий по вводу 1:

$$I_1 = \frac{135,05}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,96} = 203,06 \text{ А}.$$

Ток протекающий по вводу 2:

$$I_2 = \frac{112,41}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,96} = 169 \text{ А}.$$

Ток аварийного режима:

$$I_{p.I} = 203,06 + 169 = 372,06 \text{ А}.$$

Расчетная нагрузка питающей линии до секции II $P_{p.1,2} = 220,2 \text{ кВт}$,
распределяется между вводами 1 и 2 таким образом, ввод 1 = 110,57 кВт,
ввод 2 = 109,63 кВт.

Ток протекающий по вводу 1:

$$I_1 = \frac{110,57}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,96} = 166,24 \text{ А}.$$

Ток протекающий по вводу 2:

$$I_2 = \frac{109,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,96} = 164,83 \text{ А}.$$

Ток аварийного режима:

$$I_{p.II} = 166,24 + 164,83 = 331,07 \text{ А}.$$

Расчетная нагрузка питающей линии до секции III $P_{p.1,2} = 66,3 \text{ кВт}$,
распределяется между вводами 1 и 2 таким образом, ввод 1 = 36,1 кВт,
ввод 2 = 30,2 кВт.

Ток протекающий по вводу 1:

$$I_1 = \frac{36,1}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,96} = 54,28 \text{ А}.$$

Ток протекающий по вводу 2:

$$I_2 = \frac{30,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,96} = 45,41 \text{ А}.$$

Ток аварийного режима:

$$I_{p.III} = 54,28 + 45,41 = 99,69 \text{ А}.$$

Расчетная нагрузка питающей линии до секции IV $P_{p.1,2} = 282,82 \text{ кВт}$,
распределяется между вводами 1 и 2 таким образом, ввод 1 = 142,34 кВт,
ввод 2 = 140,48 кВт.

Ток протекающий по вводу 1:

$$I_1 = \frac{142,34}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,96} = 214,01 \text{ А}.$$

Ток протекающий по вводу 2:

$$I_2 = \frac{140,48}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,96} = 211,21 \text{ А}.$$

Ток аварийного режима:

$$I_{p.IV} = 214,01 + 211,21 = 425,22 \text{ А}.$$

Таким образом были рассчитаны нагрузки потребителей, необходимые
для выбора числа, типа и мощности силовых трансформаторов.

3 Выбор типа, числа и мощности силового трансформатора

Согласно нормативам жилые дома высотой до 5 этажей с газовыми плитами и дома с электроплитами с количеством квартир менее 9 шт. их электроснабжение осуществляют по третьей категории надежности. Дома высотой более 5 этажей с газовыми плитами и дома с электроплитами с количеством квартир более 8 шт. подлежат электроснабжению по второй категории надежности. По первой категории надежности в основном осуществляют электроснабжение общественных зданий, которые входят в следующие критерии, такие как, здания с количеством работающих свыше 2000 человек, отделения больниц и т. д. А так же группа электроприемников: пожарная сигнализация, системы дымоудаления при пожаре, пожарные насосы, эвакуационное освещение, лифты, относятся к первой категории надежности.

Многоквартирный жилой дом переменной этажности со встроенными нежилыми помещениями позиция №1 относится ко II и III категории надежности. При второй категории надежности жилой дом запитывается двумя кабелями, которые отходят от разных секций шин двухтрансформаторной подстанции. При поломке одного из трансформаторов или при выходе из строя одного из двух кабелей, электроснабжение дома осуществляется через второй исправный кабель, являющийся резервным. Перерыв в электроснабжении допустим на время необходимое для подключения нагрузок всего дома к работающему кабелю специальным дежурным электротехническим персоналом.

Существует две разновидности питания дома от двух трансформаторов. В первом случае в нормальном режиме нагрузки распределены равномерно по обоим трансформаторам, а в аварийном режиме вся нагрузка переходит на один исправный трансформатор. Во втором случае в нормальном режиме питание происходит через один кабель, вся нагрузка на один трансформатор, а второй кабель является резервным при возникновении аварийного режима.

В любом из этих случаев кабели запитаны от двух трансформаторов. Исходя из этого целесообразно установить двухтрансформаторную подстанцию.

При проектировании трансформаторной подстанции предусматривают резерв по мощности, так как может увеличиваться нагрузка за счет постройки новых зданий. В жилом комплексе «Поле Чудес», в ближайшее время по мимо жилого дома переменной этажности с нежилыми помещениями позиция №1, планируется постройка жилого дома переменной этажности позиция №2, подземной автостоянки, торгово – офисного центра с подземной парковкой.

Поэтому предусматривается резерв по мощности в объеме 50% от полной мощности на шинах ТП:

$$S_{зан.} = S_{р.ж.д} \cdot 1,5, \quad (11)$$

$$S_{зан.} = 850,8 \cdot 1,5 = 1276,2 \text{ кВА}.$$

Определяется расчетная мощность трансформатора:

$$S_{р.тр} = \frac{S_{зан.}}{K_3 \cdot N_T}, \quad (12)$$

где K_3 - коэффициент загрузки равный 0,7 при использовании двух трансформаторов,

N_T - число трансформаторов.

$$S_{р.тр} = \frac{1276,2}{0,7 \cdot 2} = 911,57 \text{ кВА}.$$

Исходя из полученного значения $S_{р.тр}$ по шкале мощностей силовых трансформаторов выбирается трансформатор мощностью 1000 кВА.

Фактический коэффициент загрузки для силового трансформатора мощностью 1000 кВА:

$$K_{з.ф} = \frac{S_{зан.}}{N_T \cdot S_{ном.Т}}, \quad (13)$$

где $S_{ном.Т}$ - номинальная мощность трансформатора,

N_T - число трансформаторов.

$$K_{з.ф} = \frac{1276,2}{2 \cdot 1000} = 0,64.$$

Так как $K_{з.ф} \leq 0,7$, то выбранный трансформатор удовлетворяет данным условиям.

Таким образом, для двух трансформаторной подстанции выбран трансформатор типа ТМГ – 1000/6/0,4 в количестве двух штук [14].

Таблица 1 – Каталожные данные трансформаторов типа ТМГ

Тип	$S_{ном.Т}$	Каталожные данные								
		$U_{ном}$ обмоток, кВ		Потери, кВт		$u_{кз},$ %	$I_{xx},$ %	Сопротивление, мОм		
		ВН	НН	$\Delta P_{хх}$	$\Delta P_{кз}$			R_T	X_T	Z_T
ТМГ – 1000/6/0,4	1000	6	0,4	1,9	10,8	5,5	1,2	1,7	8,6	8,8



Рисунок 2 – Внешний вид силового трансформатора типа ТМГ – 1000/6/0,4 кВА

4 Выбор кабелей

4.1 Выбор марки и производителя кабелей 0,4 и 6 кВ

Выбор марки и производителя кабелей производился на основании технико-экономического сравнения. Сравнение выполнено по техническим характеристикам выпускаемого изделия, а так же по суммарным затратам.

Для сравнения приняты три производителя кабельной продукции:

- «Камкабель», г.Пермь;
- «Электрокабель» кольчугинский завод» г. Кольчугино;
- «Севкабель», г. Санкт-Петербург.

Технико-экономические характеристики выпускаемых кабельных изделий на напряжение до 1 кВ представлены в таблице 2, на напряжение 6 кВ представлены в таблице 3.

Таблица 2 - Кабельные изделия 0,4 кВ

Производитель Марка	«Камкабель» АПВБШв	«Электрокабель» АВБШв	«Севкабель» АСБШв
Описание	С алюминиевыми жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена, броня из стальных оцинкованных или стальных лент, защитный шланг из поливинилхлоридного пластиката.	Жилы выполнены из алюминия, с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката. Защитный покров выполнен в виде брони из стальных лент.	Кабель выполнен с алюминиевыми жилами, с пропитанной бумажной изоляцией, в свинцовой оболочке, бронированный, защитный покров выполнен в виде шланга из ПВХ пластиката.
Эксплуатация при температура – туре окружа– ющей среды	от -60 до +50 °С	от -50 до +50 °С	от -50 до +50 °С
Длительно допустимая температура нагрева жил	+90 °С	+70 °С	+80 °С

Продолжение таблицы 2

Производитель Марка	«Камкабель» АПвБбШв	«Электрокабель» АВБбШв	«Севкабель» АСБШв
Температура жил при работе в аварийном режиме	+130°C	+80°C	+105°C
Максимальная температура при коротком замыкании	+250°C	+160°C	+250°C
Продолжительность короткого замыкания	Не более 4 сек	Не более 4 сек	Не более 4 сек
Прокладка без предварительного нагрева	Не ниже -20 °С	Не ниже -15 °С	Не ниже 0 °С
Номинальное переменное напряжение частоты 50 Гц(кВ)	0,4	0,4	0,4
Минимальный радиус изгиба кабелей, (наружных диаметров):	7,5	7,5	15
Стоимость			
4x35	161,77 руб./м.	148,52 руб./м.	120,69 руб./м.
4x95	342,18 руб./м.	346,92 руб./м.	321,56 руб./м.
4x185	599,49 руб./м.	624,64 руб./м.	572,35 руб./м.
4x240	863,82 руб./м.	846,17 руб./м.	794,28 руб./м.
Стандарт	ГОСТ 16442-80	ГОСТ 16442-80	ТУ 3530-024-05755714-2007
Гарантийный срок эксплуатации (год)	5	5	4,5
Гарантийный срок службы (лет)	30	30	30

На основании технико – экономического сравнения целесообразно закладывать кабельную продукцию марки АПвББШв производителя «Камкабель» для кабельных линий 0,4 кВ [9]. Данные кабели имеют высокие технические и эксплуатационные характеристики и относятся к средней ценовой категории.

Таблица 3 – Кабельные изделия 6 кВ

Производитель Марка	«Камкабель» АПвБПг	«Электрокабель» АВБВ	«Севкабель» АСБШв
Описание	С алюминиевыми жилами, экран по жиле и изоляции, изоляция из сшитого полиэтилена, полупроводящий водоблокирующий слой, экран из медных проволок намотанных на каждую жилу, внутренняя оболочка из полиэтилена, ленточная броня изготовлена из стальных оцинкованных лент.	Жилы выполнены из алюминия, с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката, поясная изоляция выполнена из поливинилхлоридного пластиката. Электропроводящий экран наложен из ленты электропроводящей кабельной бумаги. Металлический экран из медных лент или медной фольги. Броня из двух стальных оцинкованных лент.	Кабель выполнен с алюминиевыми жилами, с пропитанной бумажной изоляцией, в свинцовой оболочке, броня из стальных оцинкованных лент, экран из электропроводящей бумаги, защитный покров выполнен в виде шланга из ПВХ пластиката.
Эксплуатация при температуре окружающей среды	от -60 до +50 °С	от -50 до +50 °С	от -50 до +50 °С
Длительно допустимая температура нагрева жил	+90 °С	+70 °С	+80 °С

Продолжение таблицы 3

Производитель Марка	«Камкабель» АПвБПг	«Электрокабель» АВБВ	«Севкабель» АСБШв
Температура жил при работе в аварийном режиме	+130°C	+80°C	+105°C
Максимальная температура при коротком замыкании	+250°C	+160°C	+200°C
Продолжительность короткого замыкания	Не более 4 сек	Не более 4 сек	Не более 4 сек
Прокладка без предварительного нагрева	Не ниже -20 °С	Не ниже -15 °С	Не ниже 0 °С
Номинальное переменное напряжение частоты 50 Гц(кВ)	6	6	6
Минимальный радиус изгиба кабелей, (наружных диаметров):	15	12	15
Стоимость 3х35	580,14 руб./м.	334,44 руб./м.	550,65 руб./м.
Стандарт	ТУ 16.К180 – 014 – 2009	ТУ 16.К73.111-2013	ТУ 3530-024-05755714-2007
Гарантийный срок эксплуатации (год)	5	5	4,5
Гарантийный срок службы (лет)	30	30	30

На основании технико – экономического сравнения целесообразно закладывать кабель 6 кВ марки АПвБПг производителя «Камкабель» [9]. Кабели имеют высокие (а по ряду пунктов значительно более высокие) технические и эксплуатационные характеристики по сравнению с кабелями других производителей.

4.2 Выбор сечения кабелей 0,4 и 6 кВ

Согласно ПУЭ [1], для того, чтобы определить сечение по нагреву необходимо знать значения токов аварийного режима, которые были определены в пункте «Расчет нагрузок» для каждого кабеля, которые запитывают каждую из секций I – IV жилого дома. По таблице допустимых нагрузок кабелей [1] выбирается их стандартное сечение, в соответствии с условием:

$$I_{\partial} \geq I_p \quad (14)$$

где I_{∂} - допустимые нагрузки кабелей на напряжение до 1 кВ, А

I_p - ток аварийного режима каждой секции, А.

Для кабеля 0,4 кВ питающего секцию I ток аварийного режима $I_{p,I} = 372,06 \text{ А}$, значение тока округляется до ближайшего стандартного значения 401 А, ему соответствует сечение 240 мм^2 , допустимая токовая нагрузка проходит проверку $401 \geq 372,06 \text{ А}$.

Аналогичным образом выбраны сечения кабелей 0,4 кВ для секций II – IV. Полученные данные сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбранные сечения кабелей 0,4 кВ

Кабель	Секции I	Секции II	Секции III	Секции IV
Ток аварийного режима, А	372,06	331,07	99,69	425,22
Допустимая нагрузка кабелей, А	401	348	137	2x240

Продолжение таблицы 4

Кабель	Секции I	Секции II	Секции III	Секции IV
Сечение жилы, мм ²	240	185	35	2x95
$I_o \geq I_p$	$401 \geq 372,06$	$348 \geq 331,07$	$137 \geq 99,69$	$2 \times 240 \geq 425,22$

Для кабелей 6 кВ чтобы выбрать сечение по нагреву, необходимо знать наибольший расчетный ток в нормальном режиме, который протекает по кабелю.

Номинальный ток находится по следующей формуле:

$$I_{ном.} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (15)$$

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

U_n – напряжение сети, кВ.

$$I_{ном.} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96,23 \text{ A}.$$

Для значения найденного тока соответствует допустимая нагрузка кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6 кВ равная $126 \geq 96,23 \text{ A}$ этой нагрузке соответствует сечение 35 мм^2 .

Кабели прокладываются в земле, в траншеях. Значительным достоинством прокладки кабелей в земле является хорошее охлаждение, позволяющее наиболее рационально использовать сечение кабеля. Расстояние между кабелями должно быть не менее 100 мм, чтобы обеспечить охлаждение и требуемую надежность [7].

5 Проверка кабелей на потери напряжения

Проверка кабелей 0,4 и 6 кВ на потери напряжения в конце линии проводится с помощью методики, приведенной ниже.

5.1 Проверка кабелей на абсолютные потери напряжения

Абсолютные потери напряжения в конце кабельной линии, В:

$$\Delta U, B = \frac{P_{пер.} \cdot r_0 + tg\varphi \cdot x_0}{n_{пар.} \cdot U_{ном.}} \cdot L_{л} , \quad (16)$$

где $P_{пер}$ - активная мощность передаваемая по линии, кВт

$L_{л}$ - длина линии, км

r_0, x_0 - удельное активное и реактивное сопротивления линии, Ом/км

$n_{пар}$ - число параллельных кабелей в линии, шт.

$U_{ном}$ - номинальное напряжение линии, кВ

Абсолютные потери напряжения кабеля 0,4 кВ отходящего от секции I, ввод №1 жилого дома. Кабель выполнен сечением 240 мм², с алюминиевыми жилами, поэтому ему соответствуют удельное активное и реактивное сопротивления следующих значений $r_0 = 0,06$ Ом/км, $x_0 = 0,15$ Ом/км .

$$\Delta U, B = \frac{135,05 \cdot 0,06 + 0,29 \cdot 0,15}{1 \cdot 0,4} \cdot 0,184 = 6,44 B .$$

Потери ввода №2:

$$\Delta U, B = \frac{112,41 \cdot 0,06 + 0,29 \cdot 0,15}{1 \cdot 0,4} \cdot 0,184 = 5,36 B .$$

Потери кабеля в аварийном режиме:

$$\Delta U, B = \frac{247,46 \cdot 0,06 + 0,29 \cdot 0,15}{1 \cdot 0,4} \cdot 0,184 = 11,8 B .$$

Таким же образом рассчитаны абсолютные потери напряжения кабелей вводов №1, №2 и потери при аварийном режиме кабелей секций II, III, и IV жилого дома. Полученные значения сведены в таблицу 5

Таблица 5 – Сводная ведомость абсолютной потери напряжения кабелей 0,4 кВ.

Секция I	Сечение мм ²	r_0 , Ом/км.	x_0 Ом/км.	$L_{л.}$ км.	$P_{пер.}$ кВт.	$n_{пар.}$ шт.	$tg\varphi$	ΔU , В.
Ввод №1	240	0,06	0,15	0,184	135,05	1	0,29	6,44
Ввод №2					112,41			5,36
Аварийный режим					247,46			11,8
Секция II								
Ввод №1	185	0,06	0,2	0,108	110,57	1	0,29	3,52
Ввод №2					109,63			3,49
Аварийный режим					220,2			7,02
Секция III								
Ввод №1	35	0,064	1,01	0,082	36,1	1	0,29	2,64
Ввод №2					30,2			2,21
Аварийный режим					66,3			4,86
Секция IV								
Ввод №1	95	0,06	0,41	0,046	142,34	2	0,29	1,47
Ввод №2					140,48			1,45
Аварийный режим					282,82			2,91

Абсолютные потери напряжения кабеля 6 кВ отходящего от ГПП «Южная» до БКТП – 349. Кабель выполнен сечением 35 мм², с алюминиевыми жилами, поэтому ему соответствуют удельное активное и реактивное сопротивления следующих значений $r_0 = 0,064$ Ом/км, $x_0 = 1,01$ Ом/км.

$$\Delta U, B = \frac{816,78 \cdot 0,064 + 0,29 \cdot 1,01}{1 \cdot 6} \cdot 1,44 = 69,96 B.$$

5.2 Проверка кабелей на относительные потери напряжения

Относительные потери напряжения в конце кабельной линии (в % от $U_{\text{ном}}$):

$$\Delta U, \% = \frac{\Delta U, \text{В}}{U_{\text{ном.}}} \cdot 100\% , \quad (17)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, В

Потери напряжения кабеля 0,4 кВ отходящего от секции I ввода №1 жилого дома:

$$\Delta U, \% = \frac{6,44}{0,4} \cdot 100\% = 1,61\% .$$

Потери ввода №2:

$$\Delta U, \% = \frac{5,36}{0,4} \cdot 100\% = 1,34\% .$$

Потери кабеля в аварийном режиме:

$$\Delta U, \% = \frac{11,8}{0,4} \cdot 100\% = 2,95\% .$$

Согласно ГОСТ 32144–2013 [10] нормально допустимое значение отклонения напряжения на зажимах электроприемника не должно превышать $\pm 5\%$, а предельно допустимое значение не должно превышать $\pm 10\%$.

Поэтому кабельные линии должны удовлетворять следующему условию проверки на потери напряжения:

$$\Delta U, \% \leq 10\% \quad (18)$$

Исходя из выше сказанного, кабели прошли проверку на потери напряжения, так как видно, что потери не превышают 10%.

Были рассчитаны относительные потери напряжения кабелей вводов №1, №2 и потери при аварийном режиме кабелей секций II, III, и IV жилого дома. Полученные значения сведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Сводная ведомость рассчитанных значений относительной потери напряжения кабелей 0,4 кВ.

Секция I	$\Delta U, В$	$U_{ном}, В$	$\Delta U, \%$	$\Delta U, \% \leq 10\%$
Ввод №1	6,44	0,4	1,61	$1,61 \leq 10\%$
Ввод №2	5,36		1,34	$1,34 \leq 10\%$
Аварийный режим	11,8		2,95	$2,95 \leq 10\%$
Секция II				
Ввод №1	3,52	0,4	0,88	$0,88 \leq 10\%$
Ввод №2	3,49		0,87	$0,87 \leq 10\%$
Аварийный режим	7,02		1,76	$1,76 \leq 10\%$
Секция III				
Ввод №1	2,64	0,4	0,66	$0,66 \leq 10\%$
Ввод №2	2,21		0,55	$0,55 \leq 10\%$
Аварийный режим	4,86		1,22	$1,22 \leq 10\%$
Секция IV				
Ввод №1	1,47	0,4	0,37	$0,37 \leq 10\%$
Ввод №2	1,45		0,36	$0,36 \leq 10\%$
Аварийный режим	2,91		0,73	$0,73 \leq 10\%$

Относительные потери напряжения кабеля 6 кВ отходящего от ГПП «Южная» до БКТП – 349:

$$\Delta U, \% = \frac{69,96}{6} \cdot 100\% = 1,17\% .$$

Кабель напряжением 6 кВ удовлетворяет условию проверки на потери напряжения:

$$1,17\% \leq 10\% .$$

6 Расчет токов КЗ

Расчет токов короткого замыкания необходим для выбора электрических аппаратов, проводников и проверка их на термическую и электродинамическую стойкость. На стороне 0,4 кВ наиболее опасными являются трехфазные короткие замыкания, поэтому будет произведен расчет, именно, этого вида токов КЗ, в именованных единицах. Точки КЗ выбраны следующим образом: самая удаленная точка – К1, это кабельная линия 0,4 кВ отходящая от секции I; самый мощный ввод ВРУ – точка К2, это кабельная линия 0,4 кВ отходящая от секции IV; точка на трансформаторной подстанции сборной шины 0,4 кВ – точка КЗ.

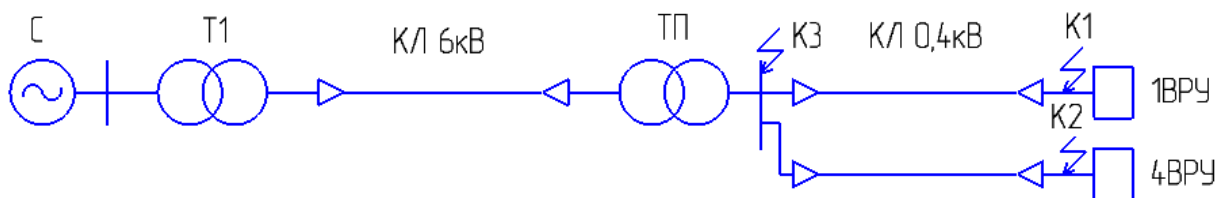


Рисунок 3 – Расчетная схема

Для данной расчетной схемы была составлена схема замещения, изображенная на рисунке 4.

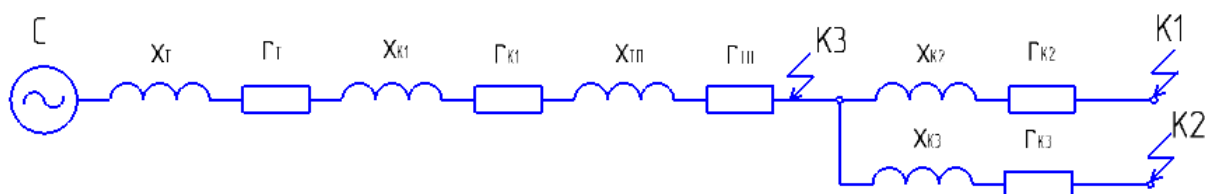


Рисунок 4 – Схема замещения

Чтобы рассчитать сопротивления схемы замещения, необходимо знать расчетные параметры системы, кабельных линий, силовых трансформаторов, защитных аппаратов, трансформатора тока.

Произведен расчет сопротивления системы:

$$S_{\delta} = 100 \text{ МВА}, U_{\delta} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$X_C = \frac{U_{\delta}^2}{S_{\delta}} = \frac{0,4^2}{100} = 0,0016 \text{ Ом}. \quad (19)$$

Сопротивления силового трансформатора ГПП:

$$U_{K3} = 10,5 \% , \Delta P_{XX} = 0,019 \text{ МВт}, \Delta P_{K3} = 0,085 \text{ МВт}, S_{\text{ном.Т}} = 16 \text{ МВА}$$

$$r_{T1} = \Delta P_{K3} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном.Т}}^2} = 0,085 \cdot \frac{0,4^2}{16^2} = 0,00005 \text{ Ом}, \quad (20)$$

$$Z_{T1} = \frac{U_{K3}}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{16} = 0,00105 \text{ Ом}, \quad (21)$$

$$X_{T1} = \sqrt{Z_{T1}^2 - r_{T1}^2} = \sqrt{0,00105^2 - 0,00005^2} = 0,00105 \text{ Ом}. \quad (22)$$

Сопротивления кабельной линии 6 кВ:

$$x_0 = 1,01 \text{ Ом/км}, r_0 = 0,064 \text{ Ом/км}, L = 1440 \text{ м} = 1,44 \text{ км}$$

$$X_{K1} = x_0 \cdot L \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{\text{ном.}}^2} = 1,01 \cdot 1,44 \cdot \frac{0,4^2}{6^2} = 0,00646 \text{ Ом}, \quad (23)$$

$$r_{K1} = r_0 \cdot L \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{\text{ном.}}^2} = 0,064 \cdot 1,44 \cdot \frac{0,4^2}{6^2} = 0,00041 \text{ Ом}. \quad (24)$$

Сопротивление силового трансформатора БКТП:

$$U_{K3} = 5,5 \% , \Delta P_{XX} = 0,0019 \text{ кВт}, \Delta P_{K3} = 0,0108 \text{ кВт}, S_{\text{ном.Т}} = 1 \text{ кВА}$$

$$r_{T2} = \Delta P_{K3} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном.Т}}^2} = 0,0108 \cdot \frac{0,4^2}{1^2} = 0,00173 \text{ Ом},$$

$$Z_{T2} = \frac{U_{K3}}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1} = 0,0088 \text{ Ом},$$

$$X_{T2} = \sqrt{Z_{T2}^2 - r_{T2}^2} = \sqrt{0,0088^2 - 0,00173^2} = 0,00863 \text{ Ом}.$$

Сопротивления автоматического выключателя и трансформатора тока:

$$X_{AB} = 0,0005 \text{ Ом}, r_{AB} = 0,0011 \text{ Ом}.$$

$$X_{TT} = 0,0003 \text{ Ом}, r_{TT} = 0,0002 \text{ Ом}.$$

Сопrotивления кабельной линии 0,4 кВ отходящий от секции I:

$$x_0 = 0,15 \text{ Ом/км}, r_0 = 0,06 \text{ Ом/км}, L = 184 \text{ м} = 0,184 \text{ км}$$

$$X_{K2} = x_0 \cdot L = 0,15 \cdot 0,184 = 0,02765 \text{ Ом}, \quad (25)$$

$$r_{K2} = r_0 \cdot L = 0,06 \cdot 0,184 = 0,01106 \text{ Ом}. \quad (26)$$

Сопrotивления кабельной линии 0,4 кВ отходящий от секции IV:

$$x_0 = 0,41 \text{ Ом/км}, r_0 = 0,06 \text{ Ом/км}, L = 46 \text{ м} = 0,46 \text{ км}$$

$$X_{K3} = x_0 \cdot L = 0,41 \cdot 0,46 = 0,01889 \text{ Ом},$$

$$r_{K3} = r_0 \cdot L = 0,06 \cdot 0,46 = 0,00276 \text{ Ом}.$$

6.1 Расчет трехфазного К.З. для точки КЗ

Арифметическим суммированием определяется сопротивление до точки КЗ:

$$X_{3\Sigma} = X_C + X_{T1} + X_{K1} + X_{T2}, \quad (27)$$

$$X_{3\Sigma} = 0,0016 + 0,00105 + 0,00646 + 0,00863 = 0,01774 \text{ Ом}.$$

$$R_{3\Sigma} = R_{T1} + R_{K1} + R_{T2}, \quad (28)$$

$$R_{3\Sigma} = 0,00005 + 0,00041 + 0,00173 = 0,00219 \text{ Ом}.$$

Полное суммарное сопротивление до точки КЗ:

$$Z_{3\Sigma} = \sqrt{X_{3\Sigma}^2 + R_{3\Sigma}^2} = \sqrt{0,01774^2 + 0,00219^2} = 0,01787 \text{ Ом}, \quad (29)$$

Ток металлического трехфазного К.З.:

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{3\Sigma}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,01787} = 12,92 \text{ кА}. \quad (30)$$

Ток трехфазного К.З. определяется с использованием снижающего коэффициента [11 стр.48] для начального момента К.З. (K_{c1}) и для установившегося К.З. (K_{c2}).

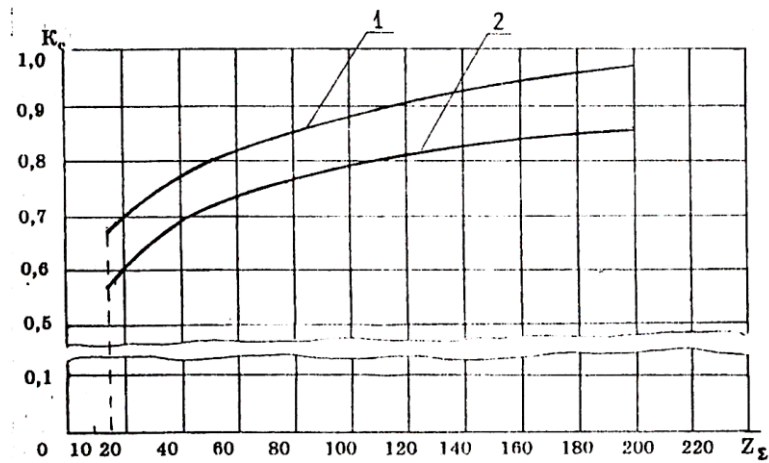


Рисунок 5 - Кривые зависимости K_C от сопротивления цепи КЗ

1 – начало процесса дугового замыкания $t_{КЗ} < 0,05$ с ;

2 – установившийся процесс дугового замыкания $t_{КЗ} > 0,05$ с

При $Z_{3\Sigma} = 0,01787 \text{ Ом} = 17,87 \text{ мОм}$, $K_{C1} = 0,65$, $K_{C2} = 0,55$, ток металлического трехфазного К.З. определяется по формуле:

$$I_{КД}^{(3)} = I_{КМ}^{(3)} \cdot K_C, \quad (31)$$

$$I_{КД}^{(3)} = 12,92 \cdot 0,65 = 8,4 \text{ кА}, \text{ для } t=0 \text{ сек.}$$

$$I_{КД}^{(3)} = 12,92 \cdot 0,55 = 7,11 \text{ кА}, \text{ для } t > 0,05 \text{ сек.}$$

Ударный ток К.З. определяется по формуле:

$$i_V = K_V \cdot \sqrt{2} \cdot I_{КМ}^{(3)}, \quad (32)$$

Ударный коэффициент определяется по характеристике представленной на рисунке 4 [11 стр.48].

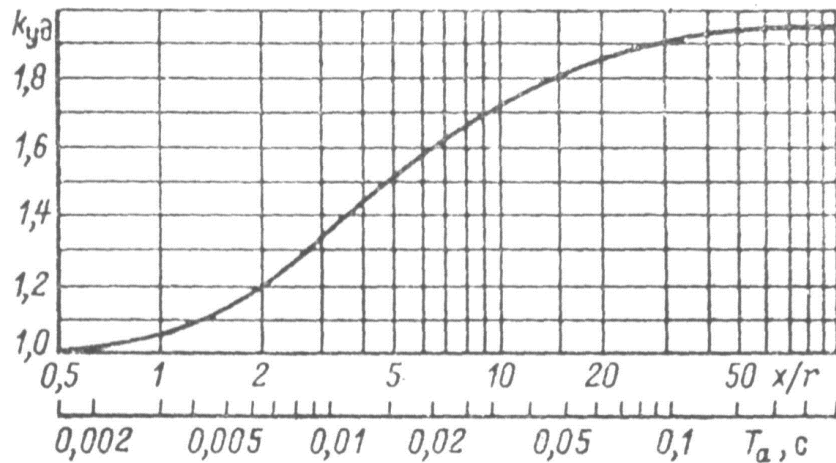


Рисунок 6 – Зависимость ударного коэффициента $K_{y\partial}$ от постоянной времени $T_a = X/R$

Определено соотношение постоянной времени:

$$T_a = \frac{X_{3\Sigma}}{R_{3\Sigma}} = \frac{0,01774}{0,00219} = 8,1 . \quad (33)$$

Этому соотношению соответствует $K_y = 1,67$

$$i_y = 1,67 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,92 = 30,51 \text{ кА} .$$

6.2 Расчет трехфазного КЗ для точки К2

Сопротивление до точки К2:

$$X_{2\Sigma} = X_C + X_{T1} + X_{K1} + X_{T2} + X_{AB} + X_{TT} + X_{K3} , \quad (34)$$

$$X_{2\Sigma} = 0,0016 + 0,00105 + 0,00646 + 0,00863 + 0,0005 + 0,0003 + 0,01889 = 0,03743 \text{ Ом}$$

$$R_{2\Sigma} = R_{T1} + R_{K1} + R_{T2} + R_{AB} + R_{TT} + R_{K3} , \quad (35)$$

$$R_{2\Sigma} = 0,00005 + 0,00041 + 0,00173 + 0,0011 + 0,0002 + 0,00276 = 0,00625 \text{ Ом}$$

Полное суммарное сопротивление до точки К2:

$$Z_{2\Sigma} = \sqrt{0,03743^2 + 0,00625^2} = 0,03795 \text{ Ом} .$$

Ток металлического трехфазного КЗ:

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,03795} = 6,09 \text{ кА}.$$

При $Z_{2\Sigma} = 0,03795 \text{ Ом} = 37,95 \text{ мОм}$, $K_{C1} = 0,76$, $K_{C2} = 0,68$, ток
металлического трехфазного КЗ:

$$I_{KD}^{(3)} = 6,09 \cdot 0,76 = 4,63 \text{ кА}, \text{ для } t=0 \text{ сек.}$$

$$I_{KD}^{(3)} = 6,09 \cdot 0,68 = 4,14 \text{ кА}, \text{ для } t > 0,05 \text{ сек.}$$

Соотношение постоянной времени:

$$T_a = \frac{0,03743}{0,00625} = 5,99.$$

Этому соотношению соответствует $K_v = 1,57$

$$i_v = 1,57 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,09 = 13,52 \text{ кА}.$$

6.3 Расчет трехфазного КЗ для точки К1

Сопротивление до точки К1:

$$X_{1\Sigma} = X_C + X_{T1} + X_{K1} + X_{T2} + X_{AB} + X_{TT} + X_{K2}, \quad (36)$$

$$X_{1\Sigma} = 0,0016 + 0,00105 + 0,00646 + 0,00863 + 0,0005 + 0,0003 + 0,02765 = 0,04619 \text{ Ом}$$

$$R_{1\Sigma} = R_{T1} + R_{K1} + R_{T2} + R_{AB} + R_{TT} + R_{K2}, \quad (37)$$

$$R_{1\Sigma} = 0,00005 + 0,00041 + 0,00173 + 0,0011 + 0,0002 + 0,01106 = 0,01455 \text{ Ом}$$

Полное суммарное сопротивление до точки К1:

$$Z_{2\Sigma} = \sqrt{0,04619^2 + 0,01455^2} = 0,04843 \text{ Ом}.$$

Ток металлического трехфазного КЗ:

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,04843} = 4,77 \text{ кА}.$$

При $Z_{2\Sigma} = 0,04843 \text{ Ом} = 48,43 \text{ мОм}$, $K_{C1} = 0,8$, $K_{C2} = 0,72$, ток металлического трехфазного КЗ:

$$I_{КД}^{(3)} = 4,77 \cdot 0,8 = 3,82 \text{ кА}, \text{ для } t=0 \text{ сек.}$$

$$I_{КД}^{(3)} = 4,77 \cdot 0,72 = 3,43 \text{ кА}, \text{ для } t > 0,05 \text{ сек.}$$

Соотношение постоянной времени:

$$T_a = \frac{0,04619}{0,01455} = 3,17 .$$

Этому соотношению соответствует $K_y = 1,33$

$$i_y = 1,33 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,77 = 8,97 \text{ кА}.$$

Составлена таблица 7 с полученными расчетными данными токов КЗ.

Таблица 7 – Сводная ведомость трехфазных токов КЗ

Точка КЗ	$R_{\Sigma}, \text{ Ом}$	$X_{\Sigma}, \text{ Ом}$	$Z_{\Sigma}, \text{ Ом}$	$I_{KM}^{(3)}, \text{ кА}$	K_{C1}	K_{C2}	$I_{КД}^{(3)}, \text{ кА};$ для $t=0$ сек.	$I_{КД}^{(3)}, \text{ кА};$ для $t > 0,05$ сек.	T_a	K_y	$i_y, \text{ кА}$
К3	0,002 19	0,017 74	0,017 87	12,92	0,65	0,55	8,4	7,11	8,1	1,67	30,51
К2	0,006 25	0,037 43	0,037 95	6,09	0,76	0,68	4,63	4,14	5,99	1,57	13,52
К1	0,014 55	0,046 19	0,048 43	4,77	0,8	0,72	3,82	3,43	3,17	1,33	8,97

Таким образом, наиболее опасное трехфазное КЗ преобладает в точке К3, соответственно, в этой точке наибольший ударный ток .

7 Проверка кабелей на термическую стойкость и на невозгорание

Проверка кабельных линий на термическую стойкость и на невозгорание при КЗ выполнена в соответствии с нормами технического проектирования и ГОСТ 52736–2007 «Короткие замыкания в электроустановках» [6] по методике, приведенной ниже.

7.1 Проверка кабелей на термическую стойкость

Подробный расчет произведен для кабеля напряжением 0,4 кВ отходящего от секции I.

При $t_{откл} > 3 \cdot T_{a.э}$ интеграл Джоуля определяется по формуле:

$$W_K = I_{n.o}^2 \cdot t_{откл.} + T_{a.э} , \quad (38)$$

$$W_K = 6,09^2 \cdot 0,16 + 0,02 = 6,68 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} .$$

где $I_{n.o}$ - действующее значение периодической составляющей тока КЗ, кА

$t_{откл.}$ - расчетная продолжительность КЗ в электроустановке, сек

$T_{a.э}$ - эквивалентная постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, в соответствии с техническим циркуляром Ц–02–98(Э) [5] допустимо принимать равной 0,02 для сети напряжением 0,4 кВ.

За действующее значение периодической составляющей тока КЗ в расчете принимается значение тока трехфазного короткого замыкания:

$$I_{n.o} = I_{KM} , \quad (39)$$

$$I_{n.o} = 6,09 \text{ кА} .$$

Расчетная продолжительность КЗ в электроустановке определяется как сумма времени действия основной релейной защиты и собственного времени отключения выключателя:

$$t_{откл.} = t_{p.з.} + t_{в.откл.} , \quad (40)$$

$$t_{откл.} = 0,12 + 0,04 = 0,16 \text{ сек} .$$

Условие проверки проводника на термическую стойкость при КЗ:

$$S \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C_m}, \quad (41)$$

$$240 \geq \frac{\sqrt{6,68}}{90},$$

$$240 \geq 0,03.$$

где S - сечение проводника, мм²

C_m - теплофизический параметр, определяемый справочно (ГОСТ 52736–2007, таблица 8) [6], для кабелей до 10 кВ с алюминиевыми жилами равен 90 Ас/мм²

Откуда минимальный ток термической стойкости для кабеля заданного сечения:

$$I_{\text{ТЕРМ}} = \frac{S \cdot C_m}{\sqrt{t_{\text{откл.}} + T_{\text{а.э}}}}, \quad (42)$$

$$I_{\text{ТЕРМ}} = \frac{240 \cdot 90}{\sqrt{0,16 + 0,02}} = 50911,69 \text{ А} = 50,9 \text{ кА}.$$

Проверка кабелей на термическую стойкость производилась сравнением минимального тока термической стойкости с током трехфазного КЗ:

$$I_{\text{ТЕРМ}} > I_{\text{н.о}}, \quad (43)$$

$$50,9 > 6,09 \text{ кА}.$$

Таким образом, кабель 0,4 кВ отходящий от секции I прошел проверку на термическую стойкость. Аналогично рассчитываются кабельные линии 0,4 кВ отходящие от секций II – IV и кабель напряжением 6 кВ. Результаты расчетов сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Сводная ведомость проверки кабелей 0,4 и 6 кВ на термическую стойкость

Кабель:	секции I	секции II	секции III	секции IV	6 кВ
$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	6,68	6,68	6,68	4,1	0,13
$S, \text{мм}^2$	240	185	35	2x95	35
$I_{н.о}, \text{кА}$	6,09	6,09	6,09	4,77	$12,92 \cdot \frac{0,4}{6} = 0,86$
$t_{откл}, \text{сек.}$	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
$S \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C_m}$	$240 \geq 0,03$	$185 \geq 0,03$	$35 \geq 0,03$	$2 \times 95 \geq 0,02$	$35 \geq 0$
$I_{ТЕРМ}, \text{кА}$	50,9	39,2	7,4	40,3	7,4
$I_{ТЕРМ} > I_{н.о}$	$50,9 > 6,09$	$39,2 > 6,09$	$7,4 > 6,09$	$40,3 > 4,77$	$7,4 > 0,86$

Все представленные кабели 0,4 и 6 кВ прошли проверку на термическую стойкость.

7.2 Проверка кабелей на невозгорание

Подробный расчет произведен для кабеля напряжением 0,4 кВ отходящего от секции I.

Значение начальной температуры жилы до КЗ:

$$Q_n = Q_o + Q_{до} - Q_{окр.} \cdot \left(\frac{I_{норм.расч.}}{I_{дл.доп.} \cdot Kn} \right), \quad (44)$$

$$Q_n = 20 + 90 - 15 \cdot \left(\frac{203,05}{401} \right) = 49,49, \text{ } ^\circ\text{C}$$

где Q_o - фактическая температура окружающей среды во время КЗ, равная 20°C

$Q_{до}$ - расчетная длительно допустимая температура жилы, для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена равная 90 °С.

$Q_{окр.}$ - значение расчетной температуры окружающей среды, при прокладке кабелей в земле по Самарской области, равное 15 °С

$I_{норм.расч.}$ - расчетный ток кабельной линии в нормальном режиме, А

$I_{дл.доп.}$ - длительно допустимый ток кабельной линии, А

$Kп$ - коэффициент, учитывающий ухудшение условий охлаждения при параллельной прокладке нескольких кабелей и равный 0,9.

Значение температуры жилы после КЗ:

$$Q_k = Q_n \cdot e^k + a \cdot e^k - 1, \quad (45)$$

$$Q_k = 49,49 \cdot e^{0,0053} + 228 \cdot e^{0,0053} - 1 = 50,96 \text{ °С.}$$

где Q_n - температура жилы до КЗ, °С

$a = 228$ - величина обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0 °С.

$$k = \frac{b \cdot B_{тер}}{S^2}, \quad (46)$$

$$k = \frac{45,65 \cdot 6,68}{240^2} = 0,0053.$$

где b - постоянная, характеризующая теплофизические свойства материала жилы, для кабелей с алюминиевыми жилами равная 45,65

$B_{тер}$ - интеграл Джоуля или тепловой импульс от тока КЗ, $кА^2 \cdot с$

S - сечение жилы, $мм^2$

Предельно допустимая температура нагрева кабеля при КЗ (Q) принимается в соответствии с технической документацией завода – изготовителя, для кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 0,4 и 6 кВ равна 250 °С.

Проверка кабелей на возгорание производится сравнением конечной температуры жилы после КЗ и предельно допустимой температуры нагрева кабеля при КЗ:

$$Q > Q_k, \quad (47)$$

$$250 > 50,96 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким образом, кабель 0,4 кВ отходящий от секции I прошел проверку на возгорание [5]. Аналогично рассчитываются кабельные линии 0,4 кВ отходящие от секций II – IV и кабель напряжением 6 кВ. Результаты расчетов сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Сводная ведомость проверки кабелей 0,4 и 6 кВ на возгорание при протекании тока в нормальном режиме.

Кабель:	секции I	секции II	секции III	секции IV	6 кВ
$I_{\text{норм.расч.}}, A$	203,05	166,24	54,28	214,01	61,58
$I_{\text{дл.доп.}}, A$	401	348	113	2x240	126
$Q_n, \text{ } ^\circ\text{C}$	49,49	46,24	46,54	42,86	76,2
$K = \frac{b \cdot V_{\text{тер}}}{S^2}$	0,0053	0,0089	0,2489	0,0052	0,0048
$Q_k, \text{ } ^\circ\text{C}$	50,96	48,69	124,13	44,27	77,66
$Q > Q_k$	250 > 50,96	250 > 48,69	250 > 124,13	250 > 44,27	250 > 77,66

Все представленные кабели 0,4 и 6 кВ прошли проверку на возгорание в нормальном режиме.

Помимо проверки кабелей на возгорание при протекании тока по кабелям в нормальном режиме, была произведена проверка при протекании тока в аварийном режиме, где температура жил при работе в аварийном режиме для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена равна 130 °С. Результаты расчетов представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Сводная ведомость проверки кабелей 0,4 и 6 кВ на невозгорание при протекании тока в аварийном режиме.

Кабель:	секции I	секции II	секции III	секции IV	6 кВ
$I_{ав.расч.}, A$	372,06	331,07	99,69	425,22	61,58
$I_{дл.доп.}, A$	401	348	113	2x240	126
$Q_n, ^\circ C$	119	124,08	109,5	110,25	76,2
$K = \frac{b \cdot B_{мер}}{S^2}$	0,0053	0,0089	0,2489	0,0052	0,0048
$Q_k, ^\circ C$	120,84	127,23	204,88	112,01	77,66
$Q > Q_k$	250 > 120,84	250 > 127,23	250 > 204,88	250 > 112,01	250 > 77,66

В аварийном режиме, кабели 0,4 и 6 кВ, так же, прошли проверку на невозгорание.

8 Выбор электрических аппаратов

8.1 Оборудование 6 кВ

Высоковольтный выключатель

Расчетная продолжительность КЗ в электроустановке определяется как сумма времени действия основной релейной защиты и собственного времени отключения выключателя:

$$t_{откл.} = t_{р.з.} + t_{в.откл.}, \quad (48)$$

$$t_{откл.} = 0,12 + 0,05 = 0,17 \text{ сек.}$$

Термическая стойкость с продолжительностью КЗ. $t_{откл} = 0,17$ с составляет:

$$B_k = I_{н.о}^2 \cdot (t_{откл} + T_{а.э}), \quad (49)$$

где $I_{н.о}$ - действующее значение периодической составляющей тока КЗ, кА

$t_{откл.}$ - расчетная продолжительность КЗ в электроустановке, сек

$T_{а.э}$ - эквивалентная постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, в соответствии с техническим циркуляром Ц-02-98(Э) [5] допустимо принимать равной 0,1 для сети напряжением 6 кВ.

$$B_k = 0,86^2 \cdot (0,17 + 0,1) = 0,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Определяется максимальное значение аperiodической составляющей тока к.з.:

$$i_{а,τ} = \sqrt{2} \cdot I_{н.о} \cdot e^{\frac{-t_{откл.}}{T_{а.э}}}, \quad (50)$$

$$i_{а,τ} = \sqrt{2} \cdot 12,92 \cdot e^{\frac{-0,17}{0,1}} = 3,51 \text{ кА}.$$

Выбран вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-20/1000 [19] на основании каталожных и расчетных параметров представленных в таблице 11.

Таблица 11 – Сводная ведомость каталожных и расчетных параметров выключателя ВВ/TEL-10-20/1000

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном.расч.} = 61,58 \text{ А}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А}$
$I_{н,о} = 12,92 \text{ кА}$	$I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{а,т} = 3,51 \text{ кА}$	$i_{аном} = (\sqrt{2} \cdot \beta / 100) \cdot I_{откл.ном} = (\sqrt{2} \cdot 30 / 100) \cdot 20 = 8,49 \text{ кА}$
$I_{н,о} = 12,92 \text{ кА}$	$I_{дин.} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = 30,51 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 51 \text{ кА}$
$B_{к} = 0,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_{откл} = 20^2 \cdot 0,17 = 66 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Выключатель ВВ/TEL-10-20/1000 соответствует всем требованиям.

Трансформатор тока

Выбран трансформатор тока ТОЛ – 10 [18] на основании каталожных и расчетных параметров, представленных в таблице 12.

Таблица 12 – Трансформатор тока ТОЛ-10

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном.расч.} = 61,58 \text{ А}$	$I_{ном.} = 150 \text{ А}$
$i_{уд} = 30,51 \text{ кА}$	$I_{дин.} = 31,8 \text{ кА}$
$B_{к} = 0,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T = 12,5 \text{ кА}$

Для проверки трансформатора тока по вторичной нагрузке, пользуясь схемой включения и каталожными данными приборов, определяется нагрузка по фазам для наиболее загруженного трансформатора тока (таблица 13).

Таблица 13 – Вторичная нагрузка трансформатора тока ТОЛ-10

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, В·А		
		А	В	С
Амперметр	ЩПО2П	6	–	6
Счетчик активной энергии	Меркурий 230АМ-00	7,5	–	7,5
Счетчик реактивной энергии	Меркурий 230 АR-00 R	7,5	–	7,5
Итого		21	–	21

Нагрузка распределена по фазам А и С равномерно.

Общее сопротивление приборов:

$$Z_{\text{приб.}} = \frac{S_{\text{приб.}}}{I_{\text{ном.2}}^2}, \quad (51)$$

где $S_{\text{приб.}}$ - полная мощность, потребляемая подключенными приборами, В·А

$I_{\text{ном.2}}$ - ток вторичной обмотки трансформатора тока, А

$$Z_{\text{приб.}} = \frac{21}{5^2} = 0,84 \text{ Ом}.$$

Сопротивление проводов:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном.}} - Z_{\text{приб.}} - Z_{\text{к}}, \quad (52)$$

где $Z_{\text{к}}$ - сопротивление контактов, равное 0,1 Ом

$Z_{2\text{ном.}}$ - номинальное полное сопротивление нагрузки вторичной обмотки трансформатора тока в выбранном классе точности, Ом

$$Z_{\text{пр}} = 3 - 0,84 - 0,1 = 2,06 \text{ Ом}.$$

По вторичной нагрузке, трансформатор тока ТОЛ – 10 соблюдает данное условие:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном.}}, \quad (53)$$

$$2,06 \leq 3 \text{ Ом}.$$

Трансформатор тока ТОЛ – 10 соответствует всем требованиям.

Принимая длину соединительных проводов 8 метров с алюминиевыми жилами, определяется сечение:

$$s = \frac{\rho \cdot l_{p.}}{Z_{np}}, \quad (54)$$

где ρ - удельное сопротивление материала провода, для алюминиевых жил равно 0,0283

$l_{p.} = \sqrt{3} \cdot l$ - расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформатора тока, в данном случае неполная звезда.

$$s = \frac{0,0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 8}{0,84} = 0,47 \text{ мм}^2.$$

Принимается стандартное сечение для алюминиевых жил 4 мм².

8.2 Оборудование БКТП 6/0,4

БКТП комплектуется двухобмоточными силовыми трансформаторами типа ТМГ – 1000/6/0,4 [14]; комплектным распределительным устройством ВН 6 кВ и распределительным устройством НН 0,4 кВ [12].

Оборудование 6 кВ

В БКТП в качестве комплектного распределительного устройства высокого напряжения применяется малогабаритное КРУ тип RM6 компании «Schneider Electric» [12].

В корпусе ячейки RM6 размещены сборные шины, выключатели нагрузки линейных присоединений и выключатель присоединения трансформатора.

Каталожные и расчетные параметры представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики ячейки RM6

Выключатель нагрузки линейного присоединения	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 6 \text{ кВ}$
$I_{ном.расч.} = 61,58 \text{ А}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А}$
$I_{ном.расч.} = 61,58 \text{ А}$	Ток отключения нагрузки: 630 А
$I_{н,о} = 12,92 \text{ кА}$	Ток термической стойкости при КЗ (действующее значение, 1 с): 21 кА
$i_{уд} = 30,51 \text{ кА}$	Ток включения выключателя нагрузки и заземляющего разъединителя (мгновенное значение): 52,5 кА
Выключатель силового трансформатора	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 6 \text{ кВ}$
$I_{ном.расч.} = 61,58 \text{ А}$	$I_{ном.} = 200 \text{ А}$
$I_{н,о} = 12,92 \text{ кА}$	Ток отключения КЗ: 21 кА
$i_{уд} = 30,51 \text{ кА}$	Ток включения (мгновенное значение): 52,5 кА

Ячейка RM6 соответствует всем требованиям.

Оборудование 0,4 кВ

Распределительное устройство низкого напряжения состоит из вводных, линейных и секционных панелей ЩО–70 [22].

Каталожные параметры представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Технические характеристики панелей ЩО–70

Номер панели	Тип шкафа, панели	Назначение панели	Состав оборудования	Тип, марка оборудования	Кол. яч. в РУ 0,4 кВ
№1,7,8	ЩО – 70 – 2 – 09	Линейная	Разъединитель; Автоматический выключатель; Трансформатор тока; Амперметр; Счетчик активной энергии; Счетчик реактивной энергии.	РЕ19-39-630А; ВА – 51 – 39/630А; ТШЛ-0,66 600/5А; Э47 600/5А 0-600 А; Меркурий 230АМ-00; Меркурий 230 АR-00 R.	3
№2,6	ЩО – 70 – 2 – 45	Вводная	Разъединитель; Автоматический выключатель; Трансформатор тока; Амперметр; Вольтметр; Счетчик активной энергии; Счетчик реактивной энергии.	РЕ19-41-1000А; ВА – 55 – 41/1000А; ТШЛ-0,66 1000/5А; Э47 1000/5А 0-1000А; Э47 1000/5А 0-500В; Меркурий 230АМ-00; Меркурий 230 АR-00 R.	2
№3,5	ЩО – 70 – 2 – 08	Линейная	Разъединитель; Автоматический выключатель; Счетчик активной энергии; Счетчик реактивной энергии.	РЕ19-37-400А; ВА – 04 – 36/250А, 400А; Меркурий 230АМ-00; Меркурий 230 АR-00 R.	2

Продолжение таблицы 15

Номер панели	Тип шкафа, панели	Назначение панели	Состав оборудования	Тип, марка оборудования	Кол. яч. в РУ 0,4 кВ
№4	ЩО – 70 – 2 – 73	Секционная	Разъединитель; Автоматический выключатель.	РЕ19-43-1600А; ВА – 55 – 41/1000А	1

Панель ЩО–70 соответствует всем требованиям.

8.3 ВРУ, оборудование 0,4 кВ

Вводно распределительные устройства (ВРУ) [21] устанавливаются в жилых зданиях. Предназначенные для приема, распределения, учета электрической энергии в сетях 380/220 В и для защиты линии при перегрузках и коротких замыканиях. Ошиновка ВРУ выдерживает без повреждений ударный ток КЗ величиной 15 кА.

Комплекуются из отдельных панелей. Внутри каждой панели находится коммутационные аппараты и измерительные приборы.

Каталожные параметры ВРУ представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики ВРУ

Номер ВРУ	Расчетный ток, А		Тип ВРУ	Наименование ВРУ	Номинальный ток, А	Состав оборудования	Тип, марка оборудования
	Ввод1	Ввод2					
№1	203,05	169,01	ВРУ1-13-20 УХЛ4	Вводная панель	2х400А	Трансформатор тока; Автоматический выключатель Счетчики (учет общих нагрузок); Рубильник; Автоматический выключатель сигнализации; Лампы накаливания.	ТШЛ-0,66 400/5А; ВА88 – 37 /400А ЦЭ6803 5А; ВД-1-375 400А; ВА47-29 1р 6А; Е27.
№2	166,24	164,83					
№3	54,28	45,41	ВРУ1-11-10 УХЛ4	Вводная панель	2х250А	Трансформатор тока; Автоматический выключатель; Счетчики (учет общих нагрузок); Рубильник; Автоматический выключатель сигнализации; Лампы накаливания.	ТШЛ-0,66 200/5А; ВА88 – 35/250А ЦЭ6803 5А; ВД-1-375 400А; ВА47-29 1р 6А; Е27.

Продолжение таблицы 16

Номер ВРУ	Расчетный ток, А		Тип ВРУ	Наименование ВРУ	Номинальный ток, А	Состав оборудования	Тип, марка оборудования
	Ввод1	Ввод2					
№4	214,01	211,21	ВРУ1-15-30 УХЛ4	Вводная панель	2x630	Трансформатор тока; Автоматический выключатель; Счетчики (учет общих нагрузок); Рубильник; Автоматический выключатель сигнализации; Лампы накаливания.	ТШЛ-0,66 600/5А; ВА88 – 40/630А ЦЭ6803 5А; ВР32 630А; ВА47-29 1р 6А; Е27.

9 Расчет заземления

Согласно требованиям главы 1.7 нормативного документа ПУЭ [1], все нетоковедущие части электроустановок, не находящиеся под напряжением, необходимо заземлить. В качестве искусственного заземлителя используется наружный контур заземления.

Наружный контур состоит из вертикальных электродов, соединенных в замкнутый контур с помощью горизонтального заземлителя (горизонтальной полосы). Функцию вертикального электрода выполняет стальной прут диаметром $D = 18$ мм из стали марки СтЗпс5 длиной $L = 3$ м. Функцию горизонтального электрода выполняет стальная полоса сечением 5×40 мм из стали марки СтЗпс5. Полоса укладывается в кабельной траншее на глубине $0,7$ м от планировочной отметки земли, на расстоянии 1 м от фундамента здания. Все соединения выполнены сваркой для обеспечения электрической непрерывности.

Исходные данные о составе и состоянии грунта в районе строительства приняты по результатам инженерно – геологических изысканий:

Вид грунта – песок мелкий средней плотности

Степень водонасыщения – низкая

Коррозионная агрессивность к конструкции из стали – низкая

Удельное сопротивление грунта в районе строительства принято 100 Ом·м, сезонный коэффициент колебания значения удельного сопротивления принят равным $1,1$ [8].

Расчет заземляющего устройства выполняется в соответствии с Нормами технического проектирования по исходной методике.

1. Уточненное удельное сопротивление грунта в районе строительства:

$$\rho = \rho_{уд} \cdot \Psi, \quad (55)$$

где $\rho_{уд}$ - удельное сопротивление грунта, Ом·м

Ψ - коэффициент сезонного изменения удельного сопротивления

$$\rho = 100 \cdot 1,1 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

2. Сопротивление вертикального электрода:

$$R_e = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right), \quad (56)$$

где L - длина стержня, м

d - внешний диаметр стержня, м

t - расстояние от поверхности земли до середины электрода, м

$$R_e = \frac{0,366 \cdot 110}{3} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,018} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 34,31 \text{ Ом}$$

3. Сопротивление горизонтального электрода:

$$R_z = \frac{0,366 \cdot \rho}{L_{II}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{II} \cdot L_{II}}{b \cdot t}, \quad (57)$$

где L_{II} - длина полосы, м

b - ширина полосы, м

t - расстояние от поверхности земли до полосы, м

$$R_z = \frac{0,366 \cdot 110}{340,11} \cdot \lg \frac{2 \cdot 340,11 \cdot 340,11}{0,04 \cdot 0,7} = 0,78 \text{ Ом}$$

4. Суммарное сопротивление вертикальных электродов:

$$R_{e.сум.} = \frac{R_e}{n \cdot K_{ув}}, \quad (58)$$

где $K_{ув}$ - коэффициент использования вертикальных электродов, равный 0,76 при количестве вертикальных электродов 12 шт. и при расстоянии между электродами равного 3 м.

$$R_{e.сум.} = \frac{34,31}{12 \cdot 0,76} = 3,76 \text{ Ом}$$

5. Суммарное сопротивление горизонтальных электродов (полосы):

$$R_{z.сум.} = \frac{R_z}{K_{ум}}, \quad (59)$$

где $K_{ин}$ - коэффициент использования горизонтальных электродов, равный 0,56 при количестве вертикальных электродов 12 шт. и при расстоянии между электродами равного 3 м.

$$R_{з.сум.} = \frac{0,78}{0,56} = 1,4 \text{ Ом}$$

6. Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_з = \frac{R_{в.сум.} \cdot R_{з.сум.}}{R_{в.сум.} + R_{з.сум.}}, \quad (60)$$

$$R_з = \frac{3,76 \cdot 1,4}{3,76 + 1,4} = 1,02 \text{ Ом}$$

7. Проверка сопротивления заземляющего контура на соответствие требованиям ПУЭ:

$$R_з < R_{норм.}, \quad (61)$$

где $R_{норм.} = 4 \text{ Ом}$ – нормируемое ПУЭ [1] значение сопротивления заземляющего устройства

$$1,02 < 4 \text{ Ом}$$

Полученные расчеты заземляющего устройства соответствуют требованиям главы 1.7 ПУЭ [1].

Внешнее заземляющее устройство состоит из замкнутого контура длиной 340,11 м и 12 – ти вертикальных электродов, расположенных по периметру контура равномерно на расстоянии друг от друга не менее 3 м.

Сопротивление заземляющего устройства в любое время года не превышает 4 Ом. В случае отклонения фактического измеренного значения удельного сопротивления грунта от принятого в расчетах и не соответствии сопротивления заземляющего устройства требованиям главы 1.7 ПУЭ [1] допускается забить дополнительные вертикальные электроды.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе выполнена система электроснабжения жилого комплекса, отвечающей современным требованиям надежности.

Произведен расчет электрических нагрузок электроприемников жилого дома. По результатам расчета потребляемой мощности, с учетом 50% запаса, так как планируется постройка жилого дома переменной этажности позиция №2, подземная автостоянка, торгово-офисный центр с подземной парковкой, был выбран силовой трансформатор ТМГ– 1000/6/0,4 в количестве 2 штук. Силовые трансформаторы устанавливаются в двухтрансформаторную блочную комплектную трансформаторную подстанцию (БКТП) производителя ЭЗОИС Поволжье.

Выбор марки и производителя кабелей на стороне 0,4 и 6 кВ производился на основании технико-экономического сравнения. В итоге был выбран кабель марки АПвБШв производителя «Камкабель» для кабельных линий 0,4 кВ питающие 4 секции жилого дома . Для кабельных линий 6 кВ был выбран кабель марки АПвБПг производителя «Камкабель», отходящие от ГПП до БКТП. Сечение представленных кабелей определено по длительно допустимому току.

Также рассчитаны токи короткого замыкания для выбора и проверки коммутационных аппаратов на термическую и электродинамическую стойкость, а кабели на термическую стойкость, невозгорание и проверка на абсолютные и относительные потери напряжения. Выбранные кабели соответствуют пройденным проверкам.

Со стороны ГПП 6 кВ были выбраны коммутационные аппараты, такие как, высоковольтный выключатель ВВ/TEL-10-20/1000 и трансформатор тока ТОЛ – 10. БКТП комплектуется двухобмоточными силовыми трансформаторами типа ТМГ – 1000/6/0,4, комплектным распределительным устройством ВН 6 кВ и распределительным устройством НН 0,4 кВ. В качестве комплектного распределительного устройства высокого

напряжения применяется малогабаритное КРУ тип RM6 компании «Schneider Electric». Распределительное устройство низкого напряжения состоит из вводных, линейных и секционных панелей ЩО–70. Был выбран состав оборудования и его марка для панелей, а именно, разъединитель, автоматический выключатель, трансформатор тока, амперметр, вольтметр, счетчик активной и реактивной энергии.

Затем было выбрано вводное распределительное устройство (ВРУ) для жилого дома, а именно вводные панели для каждой секции здания. Внутри каждой панели выбраны коммутационные аппараты и измерительные приборы: рубильник, автоматический выключатель, трансформатор тока, счетчик учета общих нагрузок.

Произведен расчет заземления жилого дома. Заземляющее устройство выполнено в виде замкнутого контура длиной 340 м и 12-ти вертикальных электродов, расположенных по периметру контура равномерно на расстоянии друг от друга не менее 3 м. Сопротивление заземляющего устройства 1,02 Ом .

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Норматика, 2016. – 816 с.
2. Библия электрика. ПУЭ, ПОТ, ПТЭ. Норматика, 2017. – 672 с.
3. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей. – М.: МНТОЭ, 1999. – 23 с.
4. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Свод правил по проектированию и строительству: СП 31-110-2003. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2004. – 58 с.
5. Ц-02-98(Э) Расчёт кабелей на невозгорание. 1998 – 14 с.
6. ГОСТ Р 52736-2007 Методы расчёта электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. – М.: Стандартинформ, 2007. – 44 с.
7. Ц-16.2007 Прокладка взаиморезервируемых кабелей в траншеях. 2007. – 80 с.
8. С.В. Петухов, С.В. Бутаков, В.В. Радюшин. Расчёт заземляющего устройства: методические указания. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2011. – 22 с.
9. Номенклатурный каталог. Камский кабель, 2014. – 130 с.
10. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
11. В.В. Вахнина, В.Л. Горячева, Ю.В. Степкина. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. – Тольятти: ТГУ, 2004. – 92 с.
12. Блочные комплектные трансформаторные подстанции. Проекты и сети. ЭЗОИС Поволжье, Самара, 2016. – 33 с.
13. Трансформаторные подстанции. ЭЗОИС Поволжье, Самара, 2016. – 10 с.

14. Номенклатурный каталог. Тольяттинский трансформатор, Тольятти, 2016. – 126 с.
15. МГСН 3.01-01 Жилые здания. Электротехнические устройства, электрооборудование (с Дополнением N 1). Москва, 2001. – 104 с.
16. Л. С. Синенко, Е. Ю. Сизганова, Ю. П. Попов. Электроснабжение. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : учебное пособие. – Электрон.– Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 146 с.
17. Практическое руководство по выбору оптимальных параметров измерительных трансформаторов для измерения и защиты электрических установок. Ritz, 2016. – 24 с.
18. Каталог продукции 2017. Свердловский завод трансформаторов тока, 2017. – 272 с.
19. Вакуумный выключатель ВВ/TEL-10. Руководство по эксплуатации. Таврида электрик, 2016. – 58 с.
20. Каталог счетчиков электрической энергии и дополнительного оборудования «Меркурий». ООО «ТК Метрия», 2011. – 51 с.
21. Номенклатурный каталог. Вводно-распределительные устройства. ООО «Производственное объединение «Волгоэлектролюкс», 2016. – 16 с.
22. Каталог продукции. Низковольтные сборки ЩО – 70. Энергоимпульс, Хабаровск, 2014. – 36 с.
23. А.Г. Ус, Л.И. Евминов. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. Учебное пособие. – Мн.: НПООО «ПИОН», 2002. – 457 с.
24. Коробов Г. В., Картавец В. В., Черемисинова Н. А. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 192 с.
25. Киреева Э.А., Цырук С.А. Электроснабжение жилых и общественных зданий. – М.: НТФ "Энергопрогресс", 2005. – 96 с.
26. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2015. – 234 с.

27. Холянов В.С., Холянова О.М. Электроснабжение непромышленных объектов: Учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 121 с.
28. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: учеб. Для студ. Сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
29. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М. : Энергосервис, 2009. – 386 с.
30. M. Batty, K.W. Axhausen, F. Giannotti, A. Pozdnoukhov, A. Bazzani, M. Wachowicz, G. Ouzounis, and Y. Portugali. Smart cities of the future, 2012. – 56 с.
31. Bauke Steenhuisen and Mark de Bruijne. Reflections on the role of energy network companies in the energy transition, 2015. – 74 с.
32. Gernot Stoeglehner, Wolfgang Baaske, Hermine Mitter, Nora Niemetz, Karl-Heinz Kettl, Michael Weiss, Bettina Lancaster and Georg Neugebauer. Sustainability appraisal of residential energy demand and supply - a life cycle approach including heating, electricity, embodied energy and mobility, 2014. – 69 с.
33. Huijie Li, Ilan Chabay, Ortwin Renn, Andreas Weber and Grace Mbungu. Exploring smart grids with simulations in a mobile science exhibition, 2015. – 93 с.
34. Stephan Maier. Smart energy systems for smart city districts: case study Reininghaus District, 2016. – 84 с.