

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический

Кафедра Энергетики

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина

« _____ » _____ 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование системы электроснабжения напряжением 0,4-10 кВ в районе бухты Федорова города Владивосток

Исполнитель

студент группы 942-узб

подпись, дата

Д.Г. Блошенко

Руководитель

профессор, канд.техн.наук

подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

Консультант по

безопасности и

экологичности

доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

Н.В. Савина

« 19 » 04 2023 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Д.Г. Блошенко

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы электроснабжения напряжением 0,4-10 кВ в районе бухты Федорова города Владивосток

(утверждена приказом от 02.04.2023г. № 1942)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 09.06.2023.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: план жилой застройки в районе бухты Федорова города Владивосток, интерактивная карта портала по технологическому присоединению подстанций, которые обслуживает АО «ДРСК», однолинейная схема ПС Бурная, ПС Эгершельд, ПС Залив, контрольный замер Приморских электрических сетей декабрь 2022 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): общая характеристика района проектирования, проектирование системы внутреннего электроснабжения, выбор числа и мощности трансформаторов ТП, расчёт токов короткого замыкания, проверка аппаратов и кабелей 0,4 кВ, проектирование системы наружного электроснабжения, компенсация реактивной мощности и ёмкостных токов в центре питания, выбор оборудования 10 кВ центра питания, релейная защита и автоматика, заземление ТП.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план сетей 0,4 кВ, варианты выполнения сетей 10 кВ, микропроцессорная защита трансформатора 10/0,4 кВ, однолинейная схема сети 10 кВ, микропроцессорная защита «Сириус-2-Л» на КЛ 10 кВ, план, разрезы и однолинейная схема КТП 10/0,4 кВ

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): Безопасность и экологичность – доцент, канд.техн.наук Булгаков А.Б.

7. Дата выдачи задания 19.04.2023

Руководитель выпускной квалификационной работы: профессор,
канд.техн.наук Мясоедов Ю.В.

Задание принял к исполнению (дата): 19.04.2023

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 120 с, 6 рисунков, 37 таблиц, 31 использованный источник.

ЦЕНТР ПИТАНИЯ, КОМПЛЕКТНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ДОПУСТИМАЯ НАГРУЗКА, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ПЕТЛЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КОМПЛЕКСНАЯ ЗАСТРОЙКА, ДВУХЛУЧЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ ТЕРМИНАЛЫ ЗАЩИТЫ, РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.

В выпускной квалификационной работе разработана система электроснабжения объектов многофункционального комплекса «Аквамарин», в связи с развитием комплексной застройки жилыми и общественными зданиями в районе бухты Федорова. Проектируемая система электроснабжения обеспечивает требуемую пропускную способность, надёжность электроснабжения, а так же бесперебойность подачи электроэнергии. Выбраны параметры силового оборудования системы электроснабжения 10-0,4 кВ, определена схема подключения к существующим центрам питания распределительных сетей 10 кВ.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Общая характеристика района проектирования	9
1.1 Характеристика объекта электроснабжения	9
1.2 Характеристика рассматриваемого района электроснабжения	10
2 Проектирование системы внутреннего электроснабжения	12
2.1 Нагрузка жилых зданий	12
2.2 Нагрузка общественных зданий	17
2.3 Нагрузки освещения улиц	21
2.4 Определение места расположения ТП 10/0,4 кВ	21
2.5 Нагрузки фидеров 0,4 кВ	22
2.6 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП	27
2.7 Предварительный выбор автоматических выключателей 0,4 кВ	28
2.8 Предварительный выбор кабелей 0,4 кВ	31
3 Выбор числа и мощности трансформаторов ТП	33
4 Расчёт токов короткого замыкания	37
4.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 10 кВ	37
4.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ	40
5 Проверка аппаратов и кабелей 0,4 КВ	44
5.1 Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ	44
5.2 Проверка кабелей 0,4 кВ	46
6 Проектирование системы внешнего электроснабжения	49
6.1 Приведенная нагрузка на ТП	49
6.2 Выбор кабелей 10 кВ	52
6.3 Технико-экономическое сравнение вариантов сети 10 кВ	56
6.4 Предохранители 10 кВ	58

6.5 Выключатели нагрузки 10 кВ	60
6.6 Проверка кабелей 10 кВ	62
7 Компенсация реактивной мощности и ёмкостных токов в центре питания	65
8 Выбор оборудования 10 кВ центра питания	67
8.1 Выбор КРУ	67
8.2 Выбор выключателей	69
8.3 Выбор трансформаторов тока	74
8.4 Выбор трансформатора напряжения	78
8.5 Выбор ограничителей перенапряжения	80
8.6 Выбор предохранителей	84
8.7 Выбор жестких шин	86
9 Релейная защита и автоматика	90
9.1 Расчет релейной защиты трансформатора 10/0,4 кВ	90
9.2 Расчет релейной защиты кабельных линий 10 кВ	93
9.3 Устройства автоматического включения резерва	98
10 Заземление ТП	100
11 Безопасность и экологичность	105
11.1 Безопасность	105
11.2 Экологичность	109
11.3 Чрезвычайные ситуации	111
Заключение	115
Библиографический список	116

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- ВЛ – воздушная линия;
- ВН – высшее напряжение;
- АБ - аккумуляторная батарея
- АВР - автоматический ввод резерва (резервного питания)
- БК - батарея конденсаторов
- ВН - высшее напряжение
- ВРУ - вводные распределительные устройства
- ДГР - дугогасящий реактор
- ЗРУ - закрытое распределительное устройство
- ЗУ - заземляющее устройство
- КЗ - короткое замыкание
- КЛ - кабельная линия электропередачи
- КРУ - комплектное распределительное устройство
- КСО - комплектные стационарные распределительные устройства
одностороннего обслуживания
- КТП - комплектная трансформаторная подстанция
- НН - низшее напряжение
- ОПН - ограничитель перенапряжения нелинейный
- ПКЭ - показатели качества электроэнергии
- ПС - подстанция
- РД - руководящий документ
- РЗА - релейная защита и автоматика
- ТН - трансформатор напряжения
- ТОиР - техническое обслуживание и ремонт
- ТП - трансформаторная подстанция
- ТТ - трансформатор тока

ВВЕДЕНИЕ

Отмеченные на ВЭФ-2022 направления развития и перспективы роста города Владивосток являются определяющими для планирования агломерационной деятельности близко расположенных районов города Владивосток. Выявленная тенденция и направленность развития комплексной жилой застройки города Владивосток опирается на масштабную современную застройку и соответствующие инженерные решения.

Для города Владивосток характерен постоянный рост объёмов потребления электрической энергии по группам потребителей промышленность и население. В итоге складывается потребность для систематического развития электрических сетей и их модернизации под нужды потребителей.

Разработка и использование актуальных планов застройки города Владивосток протекает одновременно с модернизацией центров питания распределительных электрических сетей, в результате чего замедление реализации какого-либо этапа приводит к нарушению всей логической цепочки ввода в эксплуатацию районов электроснабжения.

В районе бухты Фёдорова города Владивосток с 2018 года разрабатывается и реализуется план комплексно застройки жилыми и общественными зданиями, в 2021 году введены в эксплуатацию первые объекты жилой застройки, однако большая часть планов застройки не реализована, реализация дальнейших объёмов застройки должна будет проходить с проектной работой по разработке системы электроснабжения 0,4-10 кВ.

Необходимость в проведении ряда расчётов по выбору оборудования 10-0,4 кВ, схемы питания ТП 10/0,4 кВ, проводников в сетях 10-0,4 кВ, проверки оборудования на способность эффективно защищать и эксплуатировать проектируемые распределительные сети 10-0,4 кВ

обеспечивают актуальность разработки данной темы выпускной квалификационной работы.

Новизна выпускной квалификационной работы обуславливается выполнением расчётов по действующим нормативно-техническим документам, что в конечном счёте позволит использовать расчёты нагрузок и параметров оборудования 10-0,4 кВ в перспективных планах развития района застройки.

Применимость расчётных планов, схем и данных по результату выполнения выпускной квалификационной работы может быть определена в соответствии со стадией предварительных расчётов системы электроснабжения города Владивосток и требует окончательного согласования со стороны собственников муниципальных земельных участков.

Цель выполнения выпускной квалификационной работы – осуществление расчётов системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ в районе бухты Фёдорова города Владивосток.

Этапы выполнения расчётов включают в себя нахождение нагрузки в сети 10-0,4 кВ, выбор оборудования ТП 10/0,4 кВ и центра питания сетей 10 кВ, его проверка по стойкости к токам КЗ, расчёт чувствительности и выбор уставок средств РЗА, расчёт заземления ТП, обеспечение мер безопасности при эксплуатации сети 0,4-10 кВ.

Практическая значимость проработки темы выпускной квалификационной работы представляет собой достаточный объем исходных и расчётных данных для выполнения системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ в районе бухты Фёдорова города Владивосток.

Исходные данные к выполнению выпускной квалификационной работы получены во время преддипломной практики и из открытых источников сети Интернет, все соответствующие ссылки приведены по тексту работы.

В оформлении выпускной квалификационной работы задействовались сертифицированные программные комплексы MS Office Word 2007; MS Office Excel 2007; MS Visio 2007. Расчёт выполнен при помощи MS Office Excel 2007.

Формат предоставленных файлов выпускной квалификационной работы .doc, pdf, vsd.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 Характеристика объекта электроснабжения

Сооружаемый комплекс в бухте Фёдорова состоит из 4-х двухсекционных жилых домов по 36 этажей (блок 1, 2 4, 5, 6, 7, 8, 9) и одного точечного жилого дома – 48 этажей (блок 3). Кроме того, предусмотрена стилобатная часть и встроенные помещения общественного назначения [2].

Общая площадь комплекса 364712 м²; Площадь застройки – 31844 м²;

Общая площадь жилых зданий – 241144 м²;

Общая площадь а/парковки на 2250 м/мест – 91600 м²;

Общая площадь общественной части - 31968 м².

На отм. 0.000 на эксплуатируемой крыше располагаются бассейн, детские и хозяйственные площадки, мини-гольф клуб, искусственная река, зоны отдыха и т.п. Жилые дома разделены на блоки. Каждый блок высотных зданий оснащен двумя незадымляемыми лестничными клетками типа Н2 с выходом из них на этаж через тамбур шлюз с подпором воздуха при пожаре. Жилые блоки обеспечены четырьмя лифтами, в том числе работающих в режиме «перевозка пожарных подразделений», в общем для лифтов лифтовом холле, с возможностью устройства лифтов для пожарных подразделений в отдельном от других лифтов лифтовом холле с выходом наружу не через общий вестибюль [2].

5-ти этажная автопарковка расположенная в стилобатной части жилого комплекса, вмещает до 2250 машино/мест. Площади этажей автопарковки разделены пожарными отсеками, не более 3000 м² каждый, противопожарными стенами и перекрытиями 1-го типа. В качестве второго выезда-въезда предусмотрены ворота 1-го типа через смежный отсек, при устройстве дренчерной завесы с автопуском при пожаре. Для осуществления связи между

автопарковкой и торговым центром предусмотрены переходы с выходом в холл торгового центра (кроме 1-го этажа) и устройством на этажах автопарковки тамбур шлюзов с подпором воздуха при пожаре [2].

«Атриум» супермаркетов объединяет в единое целое выходы на набережную бухты, с выходами на верхнюю многоступенчатую эко-террасу, далее, через воздушные переходы, с выходами на многоуровневую автопарковку. Что обеспечивает гладкое и разнообразное пешеходное передвижение во всей стилобатной части комплекса, отделяя обстановку торговли и сферы отдыха от уединения и покоя жилой зоны [2].

1.2 Характеристика рассматриваемого района электроснабжения

Участок под строительство объекта: «Многофункциональный комплекс «Аквамарин» в районе бухты Федорова в г. Владивостоке» расположен в центральной части г. Владивостока в окружении исторической застройки на берегу Амурского залива. Площадь участка – 37516 м². Южная часть участка расположена в низине, северная – на возвышенности, дорога пролегает по границе участка, перепад отметок составляет приблизительно 12 м, (рисунок 1).



Рисунок 1 – Географическое расположение района застройки

Климат района проектирования относится к муссонному. Характерные особенности климата – устойчивые муссонные ветры, неравномерное распределение осадков, периодические циклоны, частые туманы. В дневное время температура воздуха поднимается до 20.5°C, а в августе - до 23.5°C. К концу лета начинается рост числа ясных дней. Сентябрь по температурному

режиму в дневное время близок к июлю и на 3 - 3.5°C теплее июня, а октябрь аналогичен маю [2].

Зима характеризуется большой продолжительностью (4 – 4,5 мес.) и сравнительно низкими для этих широт температурными условиями. Зимний тип погоды с ноября по март формируется под воздействием двух барических центров – азиатского антициклона и алеутской депрессии. В этот период наблюдается сухая, малооблачная погода, сопровождающаяся сильными северными ветрами. Сильные морозы обусловлены притоком холодного континентального воздуха с севера. Месячная температура воздуха в январе составляет соответственно –11,3°C, –10,3°C, –11,7°C [2].

Смена северных и южных ветров в холодную половину года вызывает потепления, а в теплую, наоборот – похолодания. Наиболее резкие колебания температуры воздуха происходят во время мощных вторжений воздушных масс при прохождении глубоких циклонов [2].

Климатическая характеристика района проектирования показана в таблице 1.

Таблица 1 – Климатическая характеристика района проектирования

Критерий	обозначение
Район по гололёду	III
Район по скоростному напору ветра	III
Абсолютная минимальная температура воздуха	- 33°
Абсолютная максимальная температура воздуха	+ 31°
Расчетная зимняя температура воздуха	- 32°
Среднее число дней с туманом	28,2
Нормальная глубина промерзания грунтов	2,5 м
Среднегодовая относительная влажность	72%
Среднегодовое количество осадков	673 мм
Относительная влажность воздуха в годовом ходе	от 62% в апреле до 81% в августе
Снеговой покров достигает средней высоты	18,5 см
Снеговой покров, вес	70кг/м ² .

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

2.1 Нагрузка жилых зданий

Используется информация [1] в качестве основного источника справочных данных. При рассмотрении порядка расчёта за пример взят объект №1 на плане застройки района города Владивосток, по объекту 1 имеются его количественные и качественные вводные данные - кирпичный жилой дом, 576 кв., 3 подъезда, встроенный детский сад на 140 мест.

Мощность электродвигателей лифтовых установок рассчитывается по известной формуле [3] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{л} = k'_c \sum_1^n P_{ли}, \quad (1)$$

$$P_{л} = 0,7 \cdot 4 \cdot 30 = 84 \text{ кВт},$$

где k'_c - коэффициент спроса лифтовых установок, при количестве лифтовых установок 4 шт 0,7 [3];

n - количество лифтовых установок, 4;

$P_{ли}$ - установленная мощность электродвигателя лифта, [3], 30 кВт.

Мощность электродвигателей насосов водоснабжения рассчитывается по известной формуле [1] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{нас} = k''_c \sum_1^n P_{нас}, \quad (2)$$

$$P_{нас} = 0,9 \cdot 3 \cdot 50 = 135 \text{ кВт},$$

где k_c'' - коэффициент спроса санитарно-технических устройств, при количестве насосов 3 шт 0,9 [3];

n - количество санитарно-технических устройств, 3;

$P_{нас}$ - установленная мощность электродвигателя насоса, [3], 50 кВт.

Расчётная силовая нагрузка жилого дома 1 рассчитывается по известной формуле [3] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_c = P_{нас} + P_l, \quad (3)$$

$$P_c = 135 + 84 = 219 \text{ кВт}.$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов силовой нагрузки жилых домов района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 2.

Таблица 2 – Силовая нагрузка жилых домов проектируемого района

Объект	№ на листе	кол-во кв	Руд, кВт/уе	Nлифт	Рлифт, кВт	Кс лифт	Nнасос	Рнасос, кВт	Кс насос	Р силЭП, кВт	Ку
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Точечный жилой дом 48 эт	1	576	1,67	4	30	0,7	3	50	0,9	219	0,9
Секционный жилой дом 36 эт	2	432	1,7	4	30	0,7	3	50	0,9	219	0,9
Секционный жилой дом 36 эт	3,4	432	1,7	4	30	0,7	3	50	0,9	219	0,9
Секционный жилой дом 36 эт	5	432	1,7	4	30	0,7	3	50	0,9	219	0,9
Панельный жилой дом 10 эт	6	80	2,4	2	12,5	0,8	2	15	1	50	0,9
Панельный жилой дом 10 эт	7	80	2,4	2	12,5	0,8	2	15	1	50	0,9
Панельный жилой дом 10 эт	8	80	2,4	2	12,5	0,8	2	15	1	50	0,9
Панельный жилой дом 10 эт	9	80	2,4	2	12,5	0,8	2	15	1	50	0,9
Точечный жилой дом 48 эт	1	576	1,67	4	30	0,7	3	50	0,9	219	0,9

Секционный жилой дом 36 эт	2	432	1,7	4	30	0,7	3	50	0,9	219	0,9
----------------------------	---	-----	-----	---	----	-----	---	----	-----	-----	-----

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Секционный жилой дом 36 эт	3,4	432	1,7	4	30	0,7	3	50	0,9	219	0,9
Секционный жилой дом 36 эт	5	432	1,7	4	30	0,7	3	50	0,9	219	0,9
Панельный жилой дом 10 эт	6	80	2,4	2	12,5	0,8	2	15	1	50	0,9
Панельный жилой дом 10 эт	7	80	2,4	2	12,5	0,8	2	15	1	50	0,9
Панельный жилой дом 10 эт	8	80	2,4	2	12,5	0,8	2	15	1	50	0,9
Панельный жилой дом 10 эт	9	80	2,4	2	12,5	0,8	2	15	1	50	0,9

Встроенные помещения жилых домов проектируемого района застройки города Владивосток присутствуют в жилых домах 1,2,3,4,5,6,7,8,9, информация по которым указывается в таблице 3.

Таблица 3 – Встроенные помещения жилых домов района

Объект	№ на листе	Встроенные электропримники	условные единицы	кол-во условных единиц	Мощность, кВт/ условные единицы	Ку
1	2	3	4	5	6	7
Точечный жилой дом 48 эт	1	Детский сад	мест	140	0,46	0,4
Секционный жилой дом 36 эт	2	продовольственный магазин	м ²	2000	0,25	0,6
Секционный жилой дом 36 эт	3,4	офисные помещения	м ²	4000	0,054	0,6
Секционный жилой дом 36 эт	5	непродовольственный магазин	м ²	2000	0,16	0,6
Панельный жилой дом 10 эт	6	офисные помещения	м ²	150	0,054	0,6
Панельный жилой дом 10 эт	7	офисные помещения	м ²	250	0,054	0,6
Панельный жилой дом 10 эт	8	продовольственный магазин	м ²	100	0,25	0,6
Панельный жилой дом 10 эт	9	офисные помещения	м ²	400	0,054	0,6
Точечный жилой дом 48 эт	1	Детский сад	мест	140	0,46	0,4
Секционный жилой дом 36 эт	2	продовольственный магазин	м ²	2000	0,25	0,6

Секционный жилой дом 36 эт	3,4	офисные помещения	м ²	4000	0,054	0,6
----------------------------	-----	-------------------	----------------	------	-------	-----

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Секционный жилой дом 36 эт	5	непродовольственный магазин	м ²	2000	0,16	0,6
Панельный жилой дом 10 эт	6	офисные помещения	м ²	150	0,054	0,6
Панельный жилой дом 10 эт	7	офисные помещения	м ²	250	0,054	0,6
Панельный жилой дом 10 эт	8	продовольственный магазин	м ²	100	0,25	0,6
Панельный жилой дом 10 эт	9	офисные помещения	м ²	400	0,054	0,6

Вся необходимая информация для расчёта нагрузки на вводе 0,4 кВ в проектируемые здания структурирована в таблицах выше.

Расчётная нагрузка квартир жилого дома 1 рассчитывается по известной формуле [3] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{кв} = P_{кв. уд.} \cdot n, \quad (4)$$

$$P_{кв} = 1,67 \cdot 576 = 962 \text{ кВт},$$

где $P_{кв. уд.}$ – удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир, зависит от числа квартир жилого дома 1, 1,67 кВт/кв;

n – количество квартир жилого дома 1, 576 шт по проектной декларации.

Расчётная нагрузка квартир жилого дома 1 без встроенных помещений рассчитывается по известной формуле [3] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{р.ж.д.} = P_{кв} + k_y P_c, \quad (5)$$

$$P_{p.ж.д.} = 962 + 0,9 \cdot (219) = 1159,1 \text{ кВт},$$

где $P_{кв}$ - расчетная электрическая нагрузка квартир жилого дома 1, кВт;

P_c - расчетная силовая нагрузка жилого дома 1, кВт;

k_y - коэффициент участия в максимуме основного потребителя квартир, [10] 0,9.

Расчётная нагрузка жилого дома 1 с встроенными помещениями рассчитывается по известной формуле [3] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{p.ж.д.общ} = P_{зд.мах} + \sum_1^n k_{yi} P_{зди}, \quad (6)$$

$$P_{p.ж.д.общ} = 1159,1 + 0,4 \cdot 64,4 = 1184,8 \text{ кВт},$$

где $P_{зд.мах}$ - наибольшая нагрузка из числа имеющихся абонентов, кВт;

k_{yi} - коэффициент участия в максимуме основного потребителя квартир, [10] 0,4;

$P_{зди}$, - расчетные нагрузки встроенных помещений.

Из встроенный потребителей присутствует детское дошкольное учреждение на 140 мест.

Расчётная нагрузка детского сада жилого дома 1 рассчитывается по известной формуле [3] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{маг} = P_{маг. уд.} \cdot N, \quad (7)$$

$$P_{маг} = 140 \cdot 0,46 = 64,4 \text{ кВт},$$

где $P_{\text{маг. уд}}$ – удельная расчётная нагрузка детского дошкольного учреждения, [3], кВт;

N – количество мест детского дошкольного учреждения

Расчётная реактивная мощность жилого дома 1 рассчитывается по известной формуле [3] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Q_{p.ж.д} = P_{p.ж.д} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (8)$$

$$Q_{p.ж.д} = 1184,8 \cdot 0,2 = 238,2 \text{ кВАр},$$

где $\text{tg}\varphi$ - коэффициент мощности, 0,2 [4].

Аналогичным образом ведётся блок расчётов расчётной нагрузки жилых домов района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 4.

Таблица 4 - Расчётная нагрузка жилых домов

Объект	№ на листе	cosφ	Расчётная нагрузка на вводе		
			Pr, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА
Точечный жилой дом 48 эт	1	0,98	1184,8	238,2	1208
Секционный жилой дом 36 эт	2	0,98	1231,5	247,6	1256
Секционный жилой дом 36 эт	3,4	0,98	1061,1	213,3	1082
Секционный жилой дом 36 эт	5	0,98	1123,5	225,8	1146
Панельный жилой дом 10 эт	6	0,98	241,9	48,6	247
Панельный жилой дом 10 эт	7	0,98	245,1	49,3	250
Панельный жилой дом 10 эт	8	0,98	252,0	50,7	257
Панельный жилой дом 10 эт	9	0,98	250,0	50,2	255

2.2 Нагрузка общественных зданий

Общественные здания, расположение которых запланированные в данном районе проектирования города Владивосток - оздоровительно-развлекательный центр, культурно-развлекательный центр, молл (магазин повышенной комфортности), административный комплекс, парковка автотранспорта многоуровневая (115 маш./ мест), многофункциональный гостиничный

комплекс курортного типа, гостиница с кондиционированием воздуха «Амурский залив», торговый переход, КНС (рисунок 2).

Порядок определения нагрузки общественных зданий аналогичен порядку нахождения и справочным данным жилых зданий



Рисунок 2 – Общественные здания проектируемого района застройки города Владивосток

Общественные здания проектируемого района застройки города Владивосток присутствуют в виде зданий 10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21 информация по которым указывается в таблице 5.

Таблица 5 - Данные по общественным зданиям проектируемого района застройки города Владивосток

Объект	№ на листе	Основная нагрузка			Встроенные помещения				
		у.е.	кол-во уд ед. осн ЭП	Р на у. е.	Встроенные помещения	Уд. ед. помещени й	кол-во уд ед. помещени й	Мощность на у. е.	Ку встроены х помещени й
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Автопарковка	10	мест	2250	0,3					
Гостиница	11	мест	800	0,46	ресторан	мест	200	0,86	0,8

"Амурский залив"									
Многофункциональный гостиничный комплекс курортного типа	12	мест	1000	0,36					

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Административное здание	13	м ²	2000	0,054					
Культурно-развлекательный центр	14	мест	1000	0,46					
Административное здание	15	м ²	8000	0,054					
Оздоровительно-развлекательный центр	16	мест	1000	0,36					
Торговый центр	17	м ²	1500	0,16					
Кафе	18	мест	250	0,81					
Школа	19	мест	600	0,25					
Супермаркет	20	м ²	1200	0,2					
Кинотеатр	21	мест	500	0,14					

Расчётная активная нагрузка гостиницы «Амурский залив» №11 рассчитывается по известной формуле [5] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{зд} = P_{уд} \cdot n_{мест}, \quad (9)$$

$$P_{зд} = 0,46 \cdot 800 = 368 \text{ кВт},$$

где $n_{мест}$ - количество мест гостиницы «Амурский залив» №11, 800 мест;

$P_{уд}$ - удельная нагрузка гостиницы «Амурский залив» №11, 0,46 кВт/место.

Расчётная активная нагрузка гостиницы «Амурский залив» №11 со встроенными помещениями рассчитывается по известной формуле [5] на

основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{расч.общ} = P_{зд.} + k_{y} \cdot P_{зд.дон}; \quad (10)$$

$$P_{расч.общ} = 368 + 200 \cdot 0,86 \cdot 0,8 = 505,6 \text{ кВт},$$

где k_{y_i} - коэффициент участия помещения ресторана в максимуме основного потребителя квартир, [5] 0,8;

$P_{зд.дон}$ - расчетная нагрузка встроенного помещения ресторана, 200 кВт.

Расчётная реактивная нагрузка гостиницы «Амурский залив» №11 рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Q_{расч общ} = P_{расч.общ} \cdot \frac{\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2}}{(\cos \varphi)^2}, \quad (11)$$

$$Q_{расч общ} = 505,6 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,85^2}}{0,85^2} = 288,9 \text{ кВт}.$$

Расчётная полная нагрузка гостиницы «Амурский залив» №11 рассчитывается по известной формуле [5] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{расч.общ} = \sqrt{P_{расч.общ.}^2 + Q_{расч.общ.}^2}, \quad (12)$$

$$S_{расч.общ} = \sqrt{505,6^2 + 288,9^2} = 582 \text{ кВт}.$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов расчётной нагрузки общественных зданий района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 6.

Таблица 6– Расчётные нагрузки общественных зданий проектируемого района застройки города Владивосток

Объект	№ на листе	Расчётная нагрузка на вводе			cosφ	Категория по надёжности
		Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА		
1	2	3	4	5	6	7
Автопарковка	10	675,0	135,7	689	0,98	3

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
Гостиница "Амурский залив"	11	505,6	288,9	582	0,85	2
Многофункциональный гостиничный комплекс курортного типа	12	360	147,1	389	0,92	1,2
Административное здание	13	108	57,1	122	0,87	2
Культурно-развлекательный центр	14	460	188,0	497	0,92	2
Административное здание	15	432	228,4	489	0,87	3
Оздоровительно-развлекательный центр	16	360	147,1	389	0,92	1,2
Торговый центр	17	240	126,9	271	0,87	2
Кафе	18	202,5	64,9	213	0,95	2
Школа	19	150	48,1	158	0,95	2
Супермаркет	20	240	137,1	276	0,85	3
Кинотеатр	21	70	28,6	76	0,92	2,3

2.3 Нагрузки освещения улиц

Расчётная активная нагрузка освещения улиц для подключения к ТП-1 рассчитывается по известной формуле [5] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{осв} = P_{осв.уд} \cdot l, \quad (13)$$

$$P_{осв,ТП-1} = 10 \cdot 0,4 = 4 \text{ кВт.}$$

где $P_{осв.уд}$ – удельная мощность, для освещения улиц, 10 кВт/км;

l_{Σ} – суммарная длина для ТП-1, 0,4 км.

Нагрузка освещения улиц учитывается далее при расчёте нагрузки на стороне 0,4 кВ ТП.

2.4 Определение места расположения ТП 10/0,4 кВ

Расположения ТП представлены на первом листе графической части. Основным принципом выбора места расположения КТП 10/0,4 кВ является приближение к наиболее энергоемкому объекту на плане района, что позволяет сократить протяженность распределительных сетей 0,4 кВ, что улучшает эффективность работы сетей 0,4 кВ с точки зрения потерь электроэнергии. Дополнительным принципом, определяющим место расположения КТП 10/0,4 кВ в районе бухты Федорова города Владивосток является крайне стеснённая застройка, что определяет удобство монтажа и обслуживания КТП 10/0,4 кВ персоналом с использованием подъёмных или монтажных механизмов и устройств.

2.5 Нагрузки фидеров 0,4 кВ

Сосредоточенность жилых домов в районе застройки бухты Федорова города Владивосток повышенной комфортности с системами пожаротушения и охраны обосновывает категоричность жилых домов – 1,2,3 категория по надежности и бесперебойности электроснабжения. Подключение жилых домов выполняется к разным секциям шин 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ.

Необходимое количество кабельных линий для питания потребителей 2,3 категории - 2. При этом учитываем, что мощность должна распределяется (по возможности) равномерно, чтобы обеспечить схеме большую гибкость при оперативных переключениях.

Для примера рассматривается выбор линии 0,4 кВ запитанной от ТП 1. На рисунке 3 показано расположение потребителей 0,4 кВ с нагрузкой и схемой их питания.

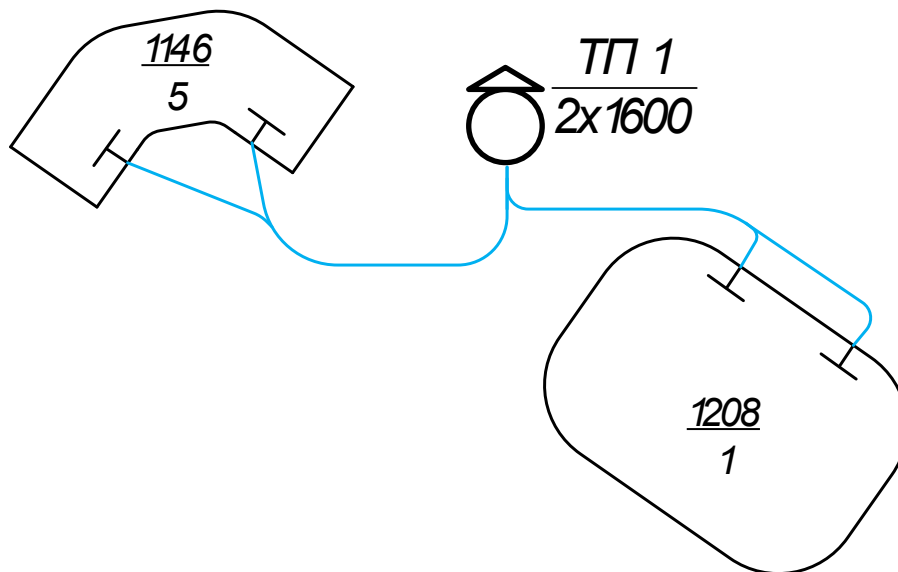


Рисунок 3 - План подключения потребителей от ТП-1

План подключения потребителей от ТП-1 предполагает использование двух радиальных резервированных кабельных линий 0,4 кВ к потребителю №1 и №5 на плане местности, такая схема подключения позволит избежать перегрузки магистрали в случае использования магистральной схемы питания.

Расчётная нагрузка КЛ-0,4 кВ подключения потребителя №1 от ТП-1 рассчитывается по известной формуле [5] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{p.l} = P_1 = 1184,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.l} = Q_1 = 238,2 \text{ кВар}.$$

$$S_{p.l} = \sqrt{P_{p.l}^2 + Q_{p.l}^2}, \tag{14}$$

$$S_{p.l} = \sqrt{1184,8^2 + 238,2^2} = 1208 \text{ кВА}.$$

Так как проектируемый район с большим количеством грунтовых вод и согласно [5], потребитель ТП-1 жилой дом №1 относится к первой и второй категории, то в качестве питания потребителей и трансформаторных подстанций используется кабель марки АВВГ.

Потери мощности в КЛ-0,4 кВ подключения потребителя №1 от ТП-1 рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\Delta P_{л} = \frac{(P_{p.л}^2 + Q_{p.л}^2) \cdot L \cdot R}{U^2 \cdot 1000}, \quad (15)$$

$$\Delta Q_{л} = \frac{(P_{p.л}^2 + Q_{p.л}^2) \cdot L \cdot X}{U^2 \cdot 1000}, \quad (16)$$

$$\Delta P_{л} = \frac{(1184,8^2 + 238,2^2) \cdot 0,2 \cdot 0,169}{0,4^2 \cdot 1000} = 309 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{л} = \frac{(1184,8^2 + 238,2^2) \cdot 0,2 \cdot 0,06}{0,4^2 \cdot 1000} = 108,8 \text{ кВар},$$

где R - удельное активное сопротивление кабеля АВВГ (4x185), 0,169 Ом/км по [5];

X - удельное реактивное сопротивление кабеля АВВГ (4x185), 0,06 Ом/км по [5];

L – протяженность по трассе кабеля АВВГ (4x185), 0,2 км;

U – номинальное напряжение КЛ, 0,4 кВ.

Приведенная нагрузка КЛ-0,4 кВ подключения потребителя №1 от ТП-1 рассчитывается по известной формуле [5] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{npЛ} = P_{p.л} + \Delta P_{л}, \quad (17)$$

$$Q_{npЛ} = Q_{p.л} + \Delta Q_{л}, \quad (18)$$

$$S_{npЛ} = \sqrt{P_{npЛ}^2 + Q_{npЛ}^2}, \quad (19)$$

$$P_{npЛ} = 1184,8 + 309 = 1493,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{npЛ} = 238,2 + 108,8 = 347 \text{ кВар},$$

$$S_{npЛ} = \sqrt{1493,3^2 + 347^2} = 1533,1 \text{ кВА},$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов нагрузки КЛ-0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводимым данным можно в таблице 7.

Таблица 7– Расчётные нагрузки КЛ-0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Объект	$P_{зд,макс}$ кВт	$Q_{зд,макс}$ кВар	$P_{р л}$, кВт	$Q_{р л}$, кВар	$S_{расч л}$, кВА	$\Delta P_{л}$, кВт	$\Delta Q_{л}$, кВар
ТП-1							
1	1184,78	238,16	1184,8	238,2	1208,5	309	108,8
5	1123,50	225,84	1123,5	225,8	1146,0	277	97,8
ТП-2							
3	1061,10	213,30	1061,1	213,3	1082,3	124	43,6
11	505,60	288,89	505,6	288,9	582,3	88	25,3
ТП-3							
4	1061,10	213,30	1061,1	213,3	1082,3	142	62,6
10	675,00	135,69	675,0	135,7	688,5	116	26,7
ТП-4							
2	1231,50	247,55	1231,5	247,6	1256,1	515	118,3
19	150,00	48,05	150,0	48,1	157,5	14	1,0
6	241,86	48,62	241,9	48,6	246,7	19	6,8
7	245,10	49,27	245,1	49,3	250,0	20	8,9
ТП-5							
12	360,00	147,10	360,0	147,1	388,9	32	11,3
13	108,00	57,09	108,0	57,1	122,2	10	1,4

14	460,00	187,96	460,0	188,0	496,9	40	17,6
ТП-6							
15	432,00	228,36	432,0	228,4	488,6	39	17,0
16	360,00	147,10	360,0	147,1	388,9	25	5,7
17	240,00	126,87	240,0	126,9	271,5	19	6,9
18	202,50	64,87	460,00	187,96	496,92	39,8	17,59
ТП-7							
8	252,00	50,66	252,0	50,7	257,0	18	2,5
9	249,96	50,25	250,0	50,2	255,0	18	2,5
20	240,00	137,13	240,0	137,1	276,4	25	5,7
21	70,00	28,60	70,0	28,6	75,6	7	0,7
ТП-1							
1	1184,78	238,16	1184,8	238,2	1208,5	309	108,8
5	1123,50	225,84	1123,5	225,8	1146,0	277	97,8
ТП-2							
3	1061,10	213,30	1061,1	213,3	1082,3	124	43,6
11	505,60	288,89	505,6	288,9	582,3	88	25,3
ТП-3							
4	1061,10	213,30	1061,1	213,3	1082,3	142	62,6
10	675,00	135,69	675,0	135,7	688,5	116	26,7
ТП-4							
2	1231,50	247,55	1231,5	247,6	1256,1	515	118,3

Расчётный аварийный ток КЛ-0,4 кВ подключения потребителя №1 от ТП-1 рассчитывается по известной формуле [8] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу:

$$I_p = \frac{S_{прив.л}}{U_n \cdot \sqrt{3}}, \quad (20)$$

$$I_p = \frac{1533,1}{0,4 \cdot \sqrt{3} \cdot 4} = 277 \text{ А.}$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов тока КЛ-0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 8.

Таблица 8– Расчётный ток КЛ-0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	Объект	P _{пр л} , кВт	Q _{пр л} , кВар	S _{пр л} , кВА	I _{расч} , А
ТП-1	1	1493,3	347,0	1533,1	277

	5	1400,9	323,7	1437,8	260
ТП-2	3	1184,8	256,9	1212,4	438
	11	593,8	314,1	671,7	243
ТП-3	4	1202,8	275,9	1234,0	446
	10	791,0	162,4	807,5	292
ТП-4	2	1746,3	365,9	1784,2	322
	19	163,9	49,0	171,0	124
	6	261,1	55,4	267,0	193
	7	265,3	58,2	271,6	196
ТП-5	12	391,9	158,4	422,7	305
	13	118,4	58,5	132,1	95
	14	499,8	205,6	540,4	390
ТП-6	15	470,5	245,4	530,6	383
	16	384,7	152,8	413,9	299
	17	259,5	133,7	291,9	211
	18	499,82	205,55	540,43	195
ТП-7	8	270,5	53,2	275,6	199
	9	268,1	52,7	273,3	197
	20	264,9	142,9	301,0	217
	21	76,7	29,3	82,1	59

2.6 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП

Расчёт нагрузок на вводах 0,4 кВ ТП-1 системы электроснабжения района бухты Федорова города Владивосток выполняется по инструкции [1] с учётом коэффициентов участия в максимуме нагрузки потребителя с наибольшей мощностью.

Расчётная активная нагрузка на вводе 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по известной формуле [8] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{зд,ТП-1} = P_1 + 0,9 \cdot (P_5), \quad (21)$$

$$P_{зд,ТП-1} = 1184,8 + 0,9 \cdot (1123) = 2195,9 \text{ кВт.}$$

$$P_{ТП-1} = P_{зд,ТП-1} + P_{осв,ТП-1}, \quad (22)$$

$$P_{ТП-1} = 2195,9 + 4 = 2199,9 \text{ кВт.}$$

Расчётная реактивная нагрузка на вводе 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по известной формуле [7] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Q_{30,ТП-1} = Q_1 + 0,9 \cdot (Q_5) , \quad (23)$$

$$Q_{30,ТП-1} = 238,2 + 0,9 \cdot (225,84) = 441,4 \text{ кВар.}$$

$$Q_{ТП-1} = Q_{30,ТП-1} , \quad (24)$$

$$Q_{ТП-1} = 441,4 \text{ кВар,}$$

Расчётная полная нагрузка на вводе 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по известной формуле [7] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{ТП-1} = \sqrt{P_{ТП-1}^2 + Q_{ТП-1}^2} . \quad (25)$$

$$S_{ТП-1} = \sqrt{2199,9^2 + 441,4^2} = 2243,8 \text{ кВА.}$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов нагрузки на вводах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчёта нагрузок ТП проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	Основные здание		Прочие здания			Нагрузка освещения			Расчётная нагрузка ТП		
	Р _{зд макс} , кВт	Q _{зд макс} , кВар	Р _{зд i} , кВт	Q _{зд i} , кВар	K _y	L _{тер} , км	Р _{осв уд} , кВт/км	Р _{осв} , кВт	Р _{р 0,4 кВ} , кВт	Q _{р 0,4 кВ} , кВар	S _{р 0,4 кВ} , кВА

ТП-1	1184,8	238,16	1123,50	225,84	0,9	0,4	10	4	2199,9	441,4	2243,8
ТП-2	1061,1	213,30	505,60	288,89	0,7	0,3	10	3	1418,0	415,5	1477,6
ТП-3	1061,1	213,30	675,00	135,69	0,6	0,3	10	3	1469,1	294,7	1498,4
ТП-4	1231,5	247,55	636,96	145,94	0,9	1	10	10	1814,8	378,9	1853,9
ТП-5	460,0	187,96	468,00	204,19	0,8	0,65	10	6,5	840,9	351,3	911,3
ТП-6	432,0	228,36	802,50	338,84	0,8	0,90	10	9	1083,0	499,4	1192,6
ТП-7	252,0	50,66	559,96	215,98	0,8	0,70	10	7	707,0	223,4	741,4

Полученные данные принимаются в рассмотрение при расчёте числа и мощности трансформаторов на ТП проектируемого района застройки города Владивосток.

2.7 Предварительный выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

Современным защитным аппаратом, обеспечивающим защиту от перегрузок и коротких замыкания в сети 0,4 кВ является автоматический выключатель ВА-55-39/41 [7]. Использование ВА-55-39/41 в качестве средства защиты в сетях 0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток обеспечит надёжность функционирования сетей 0,4 кВ.

Выбор автоматических выключателей отходящего присоединения 0,4 кВ КЛ-1 ТП-1 выполнен по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{ном. расч}} \geq I_p \text{ КЛ1 ТП1.}, \quad (26)$$

$$400 \text{ А} \geq 277 \text{ А},$$

где I_p – максимальный рабочий ток КЛ-1 ТП-1, 277 А.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору автоматических выключателей на КЛ 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 10.

Таблица 10 – Выбора автоматических выключателей на КЛ 0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Наименование	$I_{расч}, A$	$I_{вст}, A$	Тип АВ	Количество цепей
1	2	3	4	5
ТП-1				
1	277	400	ВА 55-39	4
5	260	400	ВА 55-39	4
ТП-2				
3	438	630	ВА 55-41	2
11	243	250	ВА 55-37	2
ТП-3				
4	446	630	ВА 55-41	2
10	292	400	ВА 55-39	2
ТП-4				
2	322	400	ВА 55-39	4
19	124	160	ВА 55-35	1
6	193	250	ВА 55-37	1
7	196	250	ВА 55-37	1
ТП-5				
12	305	400	ВА 55-39	1
13	95	160	ВА 55-35	1
14	390	400	ВА 55-39	1
ТП-6				
15	383	400	ВА 55-39	1

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5
16	299	400	ВА 55-39	1
17	211	250	ВА 55-37	1
18	195	250	ВА 55-37	1
ТП-7				
8	199	250	ВА 55-37	1
9	197	250	ВА 55-37	1
20	217	250	ВА 55-37	1
21	59	160	ВА 55-35	1

Выбор автоматических выключателей вводов 0,4 кВ ТП-1 выполнен по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{ном. расч} \geq I_{р ввод ТП.},$$

$$2000 A \geq 1621 A,$$

где I_p – максимальный рабочий ток ввода ТП-1, 1621 А.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору автоматических выключателей на вводах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор автоматических выключателей на вводах 0,4 кВ ТП проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	S, кВА	I_p АВТ, А	$I_{ном. расц}$, А	Марка выключателя
ТП-1	1402	1621	2000	ВА55-43
ТП-2	924	1068	1600	ВА55-43
ТП-3	936	1083	1600	ВА55-43
ТП-4	1159	1340	1600	ВА55-43
ТП-5	570	658	1000	ВА55-41
ТП-6	745	862	1000	ВА55-41
ТП-7	463	536	630	ВА55-37

2.7 Предварительный выбор кабелей 0,4 кВ

Для прокладки в траншеях, учитывая городские условия, выбираем марку кабеля АВВГ – алюминиевые жилы, ПВХ оболочка и изоляция, броня отсутствует. При прокладке в земле необходимо учитывать поправочные коэффициенты, [4].

Допустимый ток КЛ 1 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{дон} = I_{дон.снр.} \cdot K_{CH} \cdot K_{ПЕР} \cdot K_{ТЕМП}, \quad (27)$$

$$I_{дон} = 385 \cdot 0,92 \cdot 1,25 \cdot 1 = 443 \text{ А.},$$

где $I_{дон.снр.}$ - длительно допустимый ток по условию нагрева жил кабеля АВВГ (4x185) по [5], 385 А;

K_{CH} - коэффициент снижения токовой нагрузки, принята схема прокладки с двумя кабелями в траншее, 0.92;

$K_{ПЕР}$ - коэффициент перегрузки на время ликвидации аварийного режима работы КЛ-0,4 кВ, для новых КЛ-0,4 кВ принимается 1,25;

$K_{ТЕМП}$ - коэффициент увеличения или снижения температурного воздействия грунта на кабель, для района проектирования города Владивосток принимается 1.

Выбор сечения кабелей по нагреву для КЛ 1 ТП-1 выполнен по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{p,MAX} \leq I_{доп} ,$$

$$277 \text{ A} \leq 443 \text{ A}.$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору сечения кабелей 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор КЛ 0,4 кВ ТП проектируемого района застройки города Владивосток

Объект	$I_{расч}, \text{ A}$	$I_{доп}, \text{ A}$	$F, \text{ мм}^2$	$L, \text{ км}$	Марка
ТП-1					
1	277	443	185	0,20	АВВГ
5	260	443	185	0,20	АВВГ
ТП-2					
3	438	443	185	0,1	АВВГ
11	243	385	150	0,2	АВВГ
ТП-3					
4	446	508	240	0,15	АВВГ
10	292	339	120	0,15	АВВГ
ТП-4					
2	322	339	120	0,20	АВВГ
19	124	161	35	0,10	АВВГ
6	193	443	185	0,30	АВВГ
7	196	508	240	0,40	АВВГ
ТП-5					

12	305	443	185	0,2	АВВГ
13	95	242	70	0,25	АВВГ
14	390	508	240	0,2	АВВГ
ТП-6					
15	383	508	240	0,20	АВВГ
16	299	339	120	0,10	АВВГ
17	211	443	185	0,25	АВВГ
18	195	508	240	0,35	АВВГ
ТП-7					
8	199	242	70	0,1	АВВГ
9	197	242	70	0,1	АВВГ
20	217	339	120	0,2	АВВГ
21	59	201	50	0,30	АВВГ

3 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТП

Для соответствия условиям эффективной и надёжной работы системы электроснабжения 0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток используются трансформаторы 10/0,4 кВ типа ТМГ, у которых отмечаются постоянные и стабильные диэлектрические свойства трансформаторного масла, более компактная конструкция за счёт отсутствия расширительного бака, улучшенный класс пожарной устойчивости.

Расчётная мощность силовых трансформаторов ТП1 10/0,4 кВ рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{PT} = \frac{S_{ТП}}{n_T \cdot K_3^{onm}}, \quad (28)$$

$$S_{PT} = \frac{2243,8}{2 \cdot 0,8} = 1402 \text{ кВА.}$$

где $S_{ТП1}$ - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП1, 1402 кВА;

n_T -число трансформаторов ТП1, 2 шт;

K_3^{opt} -оптимальный коэффициент загрузки трансформатора ТМГ 10/0,4 кВ с улучшенными характеристиками, 0,8 для города Владивосток при среднегодовой температуре 10°C при 4 часовой перегрузке [10].

Номинальная мощность силовых трансформаторов ТП1 10/0,4 кВ выбирается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{ном Т} \geq S_{р Т}; \quad (29)$$

$$1600 \text{ кВА} \geq 1402 \text{ кВА}.$$

Коэффициент загрузки в нормальном режиме трансформаторов ТП1 10/0,4 кВ рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$K_3 = \frac{S_{ТП1}}{n_T \cdot S_{Тном}}; \quad (30)$$

$$K_3 = \frac{2243,8}{2 \cdot 1600} = 0,7;$$

$$K_3 \leq 0,8;$$

$$0,7 \leq 0,8.$$

Коэффициент загрузки в послеаварийном режиме трансформаторов ТП1 10/0,4 кВ рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных

ВВОДНЫХ ДАННЫХ, КОТОРЫЕ ПОДСТАВЛЯЮТСЯ В ФОРМУЛУ ДЛЯ ДАННОГО РАСЧЁТНОГО СЛУЧАЯ:

$$K_{зп/а} = \frac{S_{ТП}}{(n_T - 1) \cdot S_{Тном}}, \quad (31)$$

$$K_{зп/а} = \frac{2243,8}{(2-1) \cdot 1600} = 1,4.$$

$$K_{зп/а} \leq 1,4;$$

$$1,4 \leq 1,4.$$

Нормальная и послеаварийная загрузка не превышена, поэтому трансформаторы ТМГ 2х1600 на ТП-1 принимаются к установке.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору трансформаторов 10/0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор трансформаторов 10/0,4 кВ ТП проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	$S_{ТП}$, кВА	$N_{тр}$	$S_{РТ}$, кВА	Стр ном	$K_з$	$K_{зп/а}$
ТП-1	2243,8	2	1402	ТМ-1600/10	0,70	1,40
ТП-2	1477,6	2	924	ТМ-1000/10	0,74	1,48
ТП-3	1498,4	2	936	ТМ-1000/10	0,75	1,50
ТП-4	1853,9	2	1159	ТМ-630/10	0,58	1,16
ТП-5	911,3	2	570	ТМ-1000/10	0,72	1,45
ТП-6	1192,6	2	745	ТМ-400/10	0,60	1,19
ТП-7	741,4	2	463	ТМ-1000/10	0,59	1,18

По результатам выбора трансформаторов видно, что все трансформаторы в нормальном и послеаварийном режиме загружены оптимально, что в свою очередь влияет на обоснованные размеры потерь в трансформаторах. Для ТП

2,3,5 будет введено отключение асти нагрузки потребителей 3й категории по надежности при режиме (N-1) работы трансформаторов ТП.

3.1 Компенсация реактивной мощности на ТП

Коэффициент мощности на вводах 0,4 кВ трансформаторов ТП1 10/0,4 кВ рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q_{p.ТП1}}{P_{p.ТП1}}, \quad (32)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{441.4}{2199.9} = 0.2.$$

$$\operatorname{tg} \varphi \leq \operatorname{tg} \varphi_{\text{пд}};$$

$$0,2 \leq 0,35;$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{\text{пд}}$ – допустимая величина коэффициента мощности по [20] для шин 0,4 кВ, 0,35.

Требуемая мощность КУ на вводах 0,4 кВ ТП1 рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Q_{\text{треб.ТП1}} = Q_{p.ТП1} - P_{p.ТП1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{пред}}, \quad (33)$$

$$Q_{\text{треб.ТП1}} = 441,4 - 2199,9 \cdot 0,35 = -329. \text{квар.}$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору КУ 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 14.

Таблица 14 – Выбор КУ 0,4 кВ ТП проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	$\text{tg}\phi$	$Q_{\text{тр}}, \text{кВар}$	Мощность КУ, кВар
ТП-1	0,20	-438,55	0
ТП-2	0,29	-151,69	0
ТП-3	0,20	-292,93	0
ТП-4	0,21	-347	0
ТП-5	0,42	14,947	15
ТП-6	0,46	66,227	75
ТП-7	0,32	-59,348	0

Величина мощности КУ на ТП 5 и ТП 6 незначительна и не приведёт к существенной эффективности от их установки, поэтому установка КУ нецелесообразна в проектируемых сетях города Владивосток

4 РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

4.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Расчёт токов КЗ в сети 10 кВ выполняется в именованных единицах, поэтому сопротивления всех элементов схемы замещения приведены в Ом, токи в кА, напряжения в кВ. Для КЛ 10 кВ учитываются индуктивное и активное сопротивления, сопротивления менее 0,1 Ом не учитываются в расчётах эквивалентных сопротивлений относительно точки К1.

Расчёт ведётся в соответствии с рисунком 4, принимая за расчётные точки шины 10 кВ каждой ТП 10/0,4 кВ.

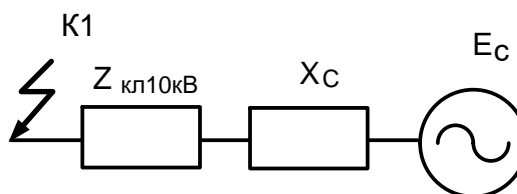


Рисунок 4 - Схема замещения сети для расчета токов КЗ в сети 10 кВ

Сопротивление системы на стороне 10 кВ ЦП рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$x_C = \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_{ocB}^{(3)}}, \quad (34)$$

$$x_C = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 0,485 \text{ Ом},$$

где U_{BH} - напряжение НН ЦП, где осуществляется приведение токов КЗ 10 кВ;

$I_{ocB}^{(3)}$ - отключающая способность выключателя на центре питания ($I_{ocB}^{(3)} = 12,5$ кА).

Активное сопротивление КЛ-10 кВ до ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_{Л_ТП-1} = \frac{r_{уд.кл10кВ} \cdot L_{ТП-1}}{n_{ТП-1}}, \quad (35)$$

$$R_{Л_ТП-1} = \frac{0,641 \cdot 2,9}{2} = 0,93 \text{ Ом};$$

где $r_{уд}$ - удельное активное сопротивление КЛ 10 кВ до ТП 1, 0,641 Ом/км;

L – длина участка КЛ 10 кВ до ТП 1, км;

n – количество параллельных цепей КЛ 10 кВ до ТП 1.

Ток трехфазного симметричного КЗ на стороне 10 кВ ТП 1 в точке К-1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (36)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,93^2 + 0,485^2}} = 5,55 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания тока КЗ на стороне 10 кВ ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$T = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}; \quad (37)$$

$$T = \frac{0,485}{0,93 \cdot 314} = 0,002 \text{ с.}$$

Коэффициент затухания тока КЗ на стороне 10 кВ ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$K_{\text{yo}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T}}; \quad (38)$$

$$K_{\text{yo}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,002}} = 1.$$

Ударный ток КЗ на стороне 10 кВ ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{по}; \quad (39)$$

$$i_{y\partial} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,5 = 7,9 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного несимметричного КЗ на стороне 10 кВ ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{по}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{по}^{(3)}; \quad (40)$$

$$I_{по}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,5 = 4,82 \text{ кА.}$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов токов КЗ в сети 10 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты расчета токов к.з. для точки К1 в сети 10 кВ

№ ТП	R_{Σ} , Ом	Z_{Σ} , Ом	$I_{по}^{(3)}$, кА	$I_{по}^{(2)}$, кА	T, с	$K_{уд}$	$I_{уд}$, кА
ТП-1	0,93	1,09	5,55	4,82	0,0017	1,00	7,9
ТП-2	0,80	0,98	6,19	5,39	0,0019	1,01	8,8
ТП-3	0,51	0,74	8,18	7,12	0,0030	1,04	12,0
ТП-4	0,35	0,63	9,66	8,40	0,0044	1,10	15,1
ТП-5	0,64	0,84	7,20	6,26	0,0024	1,02	10,3
ТП-6	0,51	0,74	8,19	7,12	0,0030	1,04	12,0
ТП-7	0,29	0,59	10,30	8,96	0,0054	1,15	16,8

4.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ

Аналогично, представленному алгоритму рассчитаем токи короткого замыкания для точки К2 и К3, приведя рассчитанное сопротивление системы к напряжению 0,4 кВ, рисунок 5.

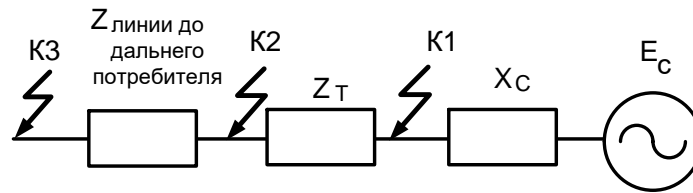


Рисунок 5 - Схема замещения сети для расчета токов КЗ 0,4 кВ

Сопротивление системы на стороне 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$x_c = \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_{K1}^{(3)}}, \quad (41)$$

$$x_c = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 5,55} = 0,042 \text{ Ом},$$

где U_{BH} - напряжение НН ТП-1, где осуществляется приведение токов КЗ 0,4 кВ;

$I_{K1}^{(3)}$ - ток КЗ на шинах 10 кВ ТП.

Ток трехфазного симметричного КЗ на стороне 0,4 кВ ТП 1 в точке К-2 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\Pi O}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{mp}^2 + (X_{mp} + X_c)^2}}, \quad (42)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,0011^2 + (0,042 + 0,0054)^2}} = 4,9 \text{ кА.}$$

Ток однофазного несимметричного КЗ на стороне 0,4 кВ ТП 1 в точке К-2 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ВН}} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (43)$$

где $R_{2\Sigma}, X_{2\Sigma}$ - сопротивления обратной последовательности, для всех имеющихся элементов равно сопротивлению прямой последовательности;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ - сопротивления прямой последовательности;

$R_{0\Sigma}, X_{0\Sigma}$ - сопротивления нулевой последовательности, для системы равняется нулю; для линий принимаются $X_{0л} = 3,5 \cdot X_{1л}, R_{0л} = 10 \cdot R_{1л}$.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов токов КЗ в сети 0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты расчета токов КЗ для точки К2-К3 в сети 0,4 кВ

№ ТП	$S_{\text{T}}, \text{ МВА}$	$R_{\text{T}}, \text{ Ом}$	$X_{\text{T}}, \text{ Ом}$	$I_{\text{ПОТП}}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{\text{ПОТП}}^{(1)}, \text{ кА}$	$I_{\text{уд ТП}}, \text{ кА}$
ТП-1	1600	0,0011	0,0054	4,9	6,0	6,9
ТП-2	1000	0,0019	0,0086	5,0	5,5	7,1
ТП-3	1000	0,0019	0,0086	6,3	6,4	8,9
ТП-4	1600	0,0011	0,0054	7,9	8,6	11,1
ТП-5	630	0,0034	0,0135	5,1	4,8	7,1
ТП-6	1000	0,0019	0,0086	6,3	6,4	8,9
ТП-7	630	0,0034	0,0135	6,4	5,5	9,1

Сопротивление КЛ-0,4 кВ до ВРУ потребителя 36 от ТП-1 рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_{Л36_ТП-1} = \frac{r_{уд.кл0,4кВ} \cdot L_{ТП-1-36}}{n_{ТП-1-36}},$$

$$R_{Л36_ТП-1} = \frac{0,169 \cdot 0,2}{2} = 0,034 \text{ Ом};$$

$$X_{Л36_ТП-1} = \frac{x_{уд.кл0,4кВ} \cdot L_{ТП-1-36}}{n_{ТП-1-36}},$$

$$X_{Л36_ТП-1} = \frac{0,06 \cdot 0,2}{2} = 0,012 \text{ Ом};$$

где $r_{уд}$ - удельное активное сопротивление КЛ 0,4 кВ до ТП 1 до ВРУ-36, 0,169 Ом/км;

$x_{уд}$ - удельное реактивное сопротивление КЛ 0,4 кВ до ТП 1 до ВРУ-36, 0,06 Ом/км;

L – длина участка КЛ 0,4 кВ до ВРУ-36, км;

n – количество параллельных цепей КЛ 0,4 кВ до ВРУ-36.

Ток однофазного несимметричного КЗ на стороне 0,4 кВ ТП 1 в точке К-3 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{П0} = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{Л_ТП-1} + R_{ТП})^2 + (x_{С.прис0,4} + X_{КЛ.0,4} + X_{ТП})^2}}, \quad (44)$$

$$I_{П0} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,034 + 0,011)^2 + (0,042 + 0,012 + 0,054)^2}} = 1,7 \text{ кА}$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов токов КЗ в сети 0,4 кВ до ВРУ потребителя района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты расчета токов КЗ для точки К-3 в сети 0,4 кВ

№ ТП	Наименование потребителя	Номер на листе	$R_{кЛ04},$ Ом	$X_{кЛ04},$ Ом	$I^{(3)}_{поВРУ},$ кА	$I^{(1)}_{поВРУ},$ кА	$I_{уд ВРУ},$ кА
ТП-1	Секционный жилой дом 36 эт	5	0,034	0,012	3,4	1,7	4,8
ТП-2	Гостиница "Амурский залив"	11	0,042	0,012	3,2	1,3	4,5
ТП-3	Автопарковка	10	0,039	0,009	3,8	1,4	5,3
ТП-4	Школа	19	0,089	0,006	2,4	0,6	3,4
ТП-5	Административное здание	13	0,112	0,015	1,8	0,5	2,5
ТП-6	Кафе	18	0,045	0,020	3,1	1,2	4,4
ТП-7	Кинотеатр	21	0,188	0,019	1,2	0,3	1,6

5 ПРОВЕРКА АППАРАТОВ И КАБЕЛЕЙ 0,4 КВ

5.1 Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ

Проверка по термической стойкости автоматических выключателей КЛ-1 0,4 кВ для ТП-1 выполнена по известной формуле [7] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I^{(3)}_{по} \leq I_{отк}, \quad (45)$$

$$3,4 \text{ кА} \leq 15 \text{ кА}.$$

Проверка по чувствительности к току однофазного КЗ автоматических выключателей КЛ-1 0,4 кВ для ТП-1 выполнена по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{уст.эм.расц} = I_{расц} / k_{т.расц}; \quad (46)$$

$$I_{уст.эм.расц} = 400 / 1 = 0,4 \text{ кА};$$

$$1,25 \cdot I_{уст.эм.расц} \leq I_{по}^{(1)}; \quad (47)$$

$$0,5 \text{ кА} \leq 1,7 \text{ кА};$$

где $I_{расц}$ - ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя КЛ-1, 400 А;

$k_{т.расц}$ - кратность срабатывания расцепителя автоматического выключателя КЛ-1, 1.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по проверке автоматических выключателей КЛ 0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 18.

Таблица 18 – Проверка автоматических выключателей КЛ-0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	$I_{по}^{(3)}$, кА	$I_{отк}$, кА	$I_{по}^{(3)} < I_{отк}$	$I_{расц}$, кА	$I_{по}^{(1)}$, кА	$k_{т.расц}$	$I_{уст.эм.расц}$, А	$1,25 \cdot I_{расц} < I_{по}^{(1)}$
ТП-1	3,4	15	3,4 < 15	0,40	1,7	1	0,4	0,5 < 1,7
ТП-2	3,2	15	3,2 < 15	0,40	1,3	1	0,4	0,5 < 1,3
ТП-3	3,8	15	3,8 < 15	0,40	1,4	1	0,4	0,5 < 1,4

ТП-4	2,4	15	2,4<15	0,40	0,6	1	0,4	0,5<0,6
ТП-5	1,8	15	1,8<15	0,40	0,5	2	0,2	0,25<0,5
ТП-6	3,1	15	3,1<15	0,40	1,2	1	0,4	0,5<1,2
ТП-7	1,2	15	1,2<15	0,40	0,3	2	0,2	0,25<0,3

Проверка по термической стойкости автоматических выключателей вводов 0,4 кВ для ТП-1 выполнена по известной формуле [7] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{по}^{(3)} \leq I_{отк},$$

$$4,9 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}.$$

Проверка по чувствительности к току однофазного КЗ автоматических выключателей вводов 0,4 кВ для ТП-1 выполнена по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{уст.эм.расц} = I_{расц} / k_{т.расц};$$

$$I_{уст.эм.расц} = 2000 / 2 = 1 \text{ кА};$$

$$1,25 \cdot I_{уст.эм.расц} \leq I_{по}^{(1)};$$

$$1,25 \text{ кА} \leq 1,7 \text{ кА};$$

где $I_{расц}$ - ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя ввода ТП-1, 2000 А;

$k_{т.расц}$ - кратность срабатывания расцепителя автоматического выключателя ввода ТП-1, 2.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по проверке автоматических выключателей вводов 0,4 кВ ТП района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 19.

Таблица 19 – Проверка автоматических выключателей вводов ТП-0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	$I^{(3)}_{\text{по}}$, кА	$I_{\text{отк}}$, кА	$I^{(3)}_{\text{по}} < I_{\text{отк}}$	$I_{\text{расц}}$, кА	$I^{(1)}_{\text{по}}$, кА	$k_{\text{т.расц.}}$	$I_{\text{уст.эм.расц}}$, А	$1,25 \cdot I_{\text{расц}} < I^{(1)}_{\text{по}}$
ТП-1	4,9	40	4,9 < 40	2,0	1,7	2	1000	1,25 < 1,7
ТП-2	5,0	40	5 < 40	1,6	1,3	2	800	1 < 1,3
ТП-3	6,3	40	6,3 < 40	1,6	1,4	2	800	1 < 1,4
ТП-4	7,9	40	7,9 < 40	1,6	0,6	4	400	0,5 < 0,6
ТП-5	5,1	40	5,1 < 40	1,0	0,5	4	250	0,3125 < 0,5
ТП-6	6,3	40	6,3 < 40	1,0	1,2	2	500	0,625 < 1,2
ТП-7	6,4	40	6,4 < 40	0,6	0,3	4	150	0,1875 < 0,3

Таким образом, проверив автоматические выключатели на характерных ТП, делаем вывод о том, что они соответствуют условиям проверки.

5.2 Проверка кабелей 0,4 кВ

Проверка по потере напряжения КЛ-1 0,4 кВ от ТП-1 выполнена по известной формуле для участка сети [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{п}} \cdot l \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi) \cdot 100}{U_{\text{н}}},$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 277 \cdot 100 \cdot (0,169 \cdot 0,98 + 0,060 \cdot 0,2)}{380} = 4,5\% ;$$

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{зост}} ;$$

$$4,5\% \leq 10\% ;$$

где $\cos\varphi$ – средняя величина отношения активной мощности к полной, передаваемой по КЛ-1, 0,98;

$\sin\varphi$ – средняя величина отношения реактивной мощности к полной, передаваемой по КЛ-1, 0,2;

l – длина КЛ-1, 100 м;

I_p – расчетный ток КЛ-1, 277 А;

$r_{уд}, x_{уд}$ – удельные сопротивления КЛ-1, Ом/км.

$\Delta U_{гост}$ – величина допустимого изменения напряжения по ГОСТ 32144-2013, 10%.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по проверке потери напряжения КЛ 0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 20.

Таблица 20 – Проверка потери напряжения КЛ-0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Объект	F, мм ²	L, км	cosφ	sinφ	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔU, %
1	2	3	4	5	6	7	8
ТП-1							
1	185	0,20	0,98	0,20	0,169	0,060	4,5
5	185	0,20	0,98	0,20	0,169	0,060	4,2
ТП-2							
3	185	0,1	0,98	0,20	0,169	0,060	3,5
11	150	0,2	0,85	0,53	0,208	0,060	4,6
ТП-3							
4	240	0,15	0,98	0,20	0,129	0,057	2,1
10	120	0,15	0,98	0,20	0,261	0,060	2,7
ТП-4							
2	120	0,20	0,98	0,20	0,261	0,060	3,9
19	35	0,10	0,95	0,31	0,894	0,064	4,9

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5	6	7	8
6	185	0,30	0,98	0,20	0,169	0,060	4,7
7	240	0,40	0,98	0,20	0,129	0,057	4,9
ТП-5							
12	185	0,2	0,98	0,20	0,169	0,060	4,9
13	70	0,25	0,98	0,20	0,447	0,061	4,9
14	240	0,2	0,98	0,20	0,129	0,057	4,9
ТП-6							
15	240	0,20	0,87	0,49	0,129	0,057	4,9
16	120	0,10	0,92	0,39	0,261	0,060	3,6

17	185	0,25	0,87	0,49	0,169	0,060	4,2
18	240	0,35	0,95	0,31	0,129	0,057	4,4
ТП-7							
8	70	0,1	0,98	0,20	0,447	0,061	4,1
9	70	0,1	0,98	0,20	0,447	0,061	4,0
20	120	0,2	0,85	0,53	0,261	0,060	5,0
21	50	0,30	0,92	0,39	0,625	0,063	4,9

Анализ показал, что наибольшая потеря напряжения не выходит за допустимые пределы, указанные в [16,24] поэтому все кабели для КЛ-0,4 кВ проектируемого района застройки города Владивосток проходят проверку.

6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Ближайшим центром питания проектируемых распределительных сетей среднего напряжения является ПС Бурная фактическими уровнями напряжения 110/35/6 кВ. В соответствии с [1, п.3.1.4.], для новых районов городской застройки напряжение распределительных сетей выше 1 кВ должно

приниматься не ниже 10 кВ независимо от напряжения сети в существующей части города. Достигнуть таких показателей уровня напряжения при подключении возможно двумя способами: 1 – модернизация ПС Бурная с переводом её на классы напряжения 110/35/10 кВ; 2 – установка делительных подстанций 10/6 кВ для подключения через промежуточную трансформацию. 1 способ наиболее затратный и может быть принят на ближайшую перспективу для реализации. 2 способ более экономичный, но обладает сниженной пропускной способностью, которая будет ограничиваться мощностью трансформаторов делительной ТП 10/6 кВ. Принимается во внимание также тот факт, что потери электроэнергии в распределительных сетях 10 кВ существенно ниже, чем в сетях 6 кВ. Пропускная способность кабелей одинакового сечения выше при напряжении 10 кВ, чем при напряжении 6 кВ. В результате, вне зависимости от способа обеспечения напряжения 10 кВ на шинах центра питания ПС Бурная, руководствуясь [1], принимается напряжение питания сетей внешнего электроснабжения 10 кВ, как наиболее оправданного на перспективный период 5 лет, в течении которого возможно развитие района застройки с подключением новых мощностей к центру питания.

6.1 Приведенная нагрузка на ТП

В силовых трансформаторах ТП 10/0,4 кВ при их работе возникают нагрузочные или потери КЗ и потери холостого хода. Величину этих потерь мощности требуется учитывать при выборе сечений проводников сети ВН. Для этого по каждой ТП выполняется расчёт потерь мощности, в результате которого получится приведенная нагрузка на ТП.

Активные потери мощности в трансформаторах ТП2 рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K, \quad (48)$$

$$\Delta P_{T_2} = 2,45 + 0,74^2 \cdot 12,2 = 8,2 \text{ кВт},$$

где ΔP_x - активные потери холостого хода трансформатора ТМГ-1000/10, 2,45 кВт;

ΔP_k - активные потери короткого замыкания трансформатора ТМГ-1000/10, 12,2 кВт.

Реактивные потери мощности холостого хода в трансформаторах ТП2 рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\Delta Q_x = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \quad (49)$$

$$\Delta Q_{x.T2} = 1000 \cdot \frac{1,4}{100} = 14 \text{ кВар},$$

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора ТМГ-1000/10, 1000 кВА;

I_x - ток холостого хода трансформатора ТМГ-1000/10, 1,4%.

Реактивные потери мощности короткого замыкания в трансформаторах ТП2 рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\Delta Q_k = S_{ном.т} \cdot \frac{U_k}{100}, \quad (50)$$

$$\Delta Q_{k.T2} = 1000 \cdot \frac{5,5}{100} = 55 \text{ кВар},$$

где U_k - напряжение короткого замыкания. ТМГ-1000/10, 5,5 %.

Реактивные потери мощности в трансформаторах ТП2 рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (51)$$

$$\Delta Q_{T2} = 14 + 0,74^2 \cdot 55 = 43 \text{ кВар.}$$

Полная нагрузка на стороне 10 кВ ТП2 рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{ВН ТП} = \sqrt{(P_{ТП} + n \cdot \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + n \cdot \Delta Q_{ТП})^2}, \quad (52)$$

$$S_{ВН ТП-2} = \sqrt{(1418 + 2 \cdot 8,2)^2 + (415,5 + 2 \cdot 43)^2} = 1519,6 \text{ кВА.}$$

где n – количество трансформаторов ТП2, 2шт.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов нагрузки на стороне 10 кВ ТП 10/0,4 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 21.

Таблица 21 – Нагрузка на стороне 10 кВ ТП 10/0,4 кВ района города Владивосток

№ ТП	ΔP_X , кВт	ΔP_K , кВт	U_K , %	I_X , %	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВт	$S_{ВН ТП}$, кВА
ТП-1	3,30	18,00	5,50	1,30	11,5	61,1	2215,8
ТП-2	2,45	12,20	5,50	1,40	8,7	42,2	1468,6
ТП-3	2,45	12,20	5,50	1,40	6,9	34,1	1241,1
ТП-4	1,56	7,60	5,50	2,00	6,4	34,5	1031,6
ТП-5	2,45	12,20	5,50	1,40	9,4	45,5	1562,3

ТП-6	1,05	5,50	4,50	2,10	2,8	14,2	469,2
ТП-7	2,45	12,20	5,50	1,40	8,1	39,7	1408,9

6.2 Выбор кабелей 10 кВ

Варианты выполнения конфигурации сети 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток представляют собой различные по порядку подключения ТП в сеть 10 кВ способы её исполнения. Разработаны 2 варианта по двухлучевой конфигурации.

Расчётная активная нагрузка КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5 рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{p\text{ кл1}} = k_{\text{совм}} \cdot P_{\Sigma (1-2-5)};$$

$$P_{p\text{ кл1}} = 0,8 \cdot (2022 + 1434,5 + 851,1) = 3606 \text{ кВт};$$

где $k_{\text{совм}}$ - коэффициент совмещения максимумов нагрузок трансформаторов, при работающих 6 трансформаторах 0,8 [11].

Расчётная реактивная нагрузка КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5 рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Q_{p\text{ кл1}} = k_{\text{совм}} \cdot Q_{\Sigma (1-2-5)};$$

$$Q_{p\text{ кл1}} = 0,8 \cdot (567,9 + 501,5 + 419,8) = 1191,4 \text{ квар.}$$

Расчётная нагрузка КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{p_{кл1}} = \sqrt{(P_{p_{кл1}}^2 + Q_{p_{кл1}}^2)};$$

$$S_{p_{кл1}} = \sqrt{(3606^2 + 1191,4^2)} = 3798 \text{ кВА.}$$

Расчётный ток одной цепи КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{P.КЛ1(1\phi)} = \frac{S_{P.КЛ1(1\phi)}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (53)$$

$$I_{P.КЛ1(1\phi)} = \frac{3798}{\sqrt{3} \cdot 10} = 110 \text{ А.}$$

В проекте выбираем кабель 10 кВ марки АПВП: А - алюминиевая жила; ПВ - изоляция из сшитого полиэтилена; П - оболочка из пластмассы. Кабель АПВП обладает высокими эксплуатационными характеристиками, при этом надёжность системы электроснабжения при его использовании не снижается.

Допустимый ток КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{доп} = I_{доп.ср.} \cdot K_{CH} \cdot K_{ПЕР} \cdot K_{ТЕМП},$$

$$I_{доп} = 197 \cdot 0,92 \cdot 1,25 \cdot 1 = 195 \text{ А,}$$

где $I_{доп.ср.}$ - длительно допустимый ток по условию нагрева жил кабеля АПВП (3x50) по [3], 197 А;

K_{CH} - коэффициент снижения токовой нагрузки, принята схема прокладки с двумя кабелями в траншее, 0.9;

$K_{\text{ПЕР}}$ - коэффициент перегрузки на время ликвидации аварийного режима работы КЛ-10 кВ, для новых КЛ-10 кВ принимается 1,1;

$K_{\text{ТЕМП}}$ - коэффициент увеличения или снижения температурного воздействия грунта на кабель, для района проектирования города Владивосток принимается 1.

Выбор сечения кабелей по нагреву для КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5 выполнен по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{р МАХ}} \leq I_{\text{доп}} ,$$

$$110 \text{ А} \leq 195 \text{ А}.$$

Проверка по потере напряжения КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5 выполнена по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot l \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi) \cdot 100}{U_{\text{н}}},$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 100 \cdot (0,641 \cdot 0,92 + 0,1 \cdot 0,39)}{10000} = 4,9 \% ;$$

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{норм}} ;$$

$$4,9 \% \leq 10 \% ;$$

где $\cos \varphi$ – средняя величина отношения активной мощности к полной, передаваемой по КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5, 0,92;

$\sin\varphi$ – средняя величина отношения реактивной мощности к полной, передаваемой по КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5, 0,39;

l – длина КЛ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5, 2200 м;

I_p – расчетный ток КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5, 110 А;

$r_{уд}, x_{уд}$ – удельные сопротивления КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5, Ом/км.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке сечения кабелей 10 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 22.

Таблица 22 – Выбор КЛ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

N _{тр} , шт	P _{сумм} кл, кВт	Q _{сумм} кл, кВАр	K _{совм}	S _p кл, кВА	I _p кл, А	I _{доп} кл, А	J _{кл} , А/мм ²	L, км	F _{кл} , мм ²	cos(φ)	R _{кл} , Ом/км	ΔU _{кл} , %
ВАРИАНТ 1												
6	4507,58	1489,264	0,80	3798	110	195	2,2	2,2	50	0,92	0,641	4,9
8	5132,73	1734,041	0,80	4334	125	263	1,3	3,5	95	0,92	0,32	4,5
ВАРИАНТ 2												
8	6976,21	1942,65	0,80	5793	167	263	1,8	2,9	95	0,92	0,32	4,9
6	2664,09	1280,655	0,80	2365	68	240	1,0	4	70	0,92	0,443	3,9

Потери электроэнергии в КЛ 10 кВ питающей ТП 1, ТП 2, ТП 5 рассчитываются по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\Delta W_{p\text{ кл1}} = (P_{p\text{ кл1}}^2 + Q_{p\text{ кл1}}^2) / U_{\text{ном}}^2 \cdot r_{уд} \cdot l \cdot T / N_{ц}; \quad (54)$$

$$\Delta W_{p\text{ кл1}} = (3606^2 + 1191,4^2) / 10^2 \cdot 0,641 \cdot 2200 \cdot 4000 / 2 = 406180 \text{ кВтч}$$

где T - число часов максимума нагрузки в распределительной сети, 4000 ч по [10].

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по величине потерь электроэнергии в КЛ 10 кВ района города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 23.

Таблица 23 – Потери электроэнергии в КЛ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Подключенные ТП	$\Delta W_{\text{КЛ}}$, кВт·ч
Вариант №1	
ТП1 - ТП2 - ТП5	406180
ТП7 - ТП4 - ТП3 - ТП6	420157
Итого по 1 варианту	826336
Вариант №2	
ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1	621986
ТП7 - ТП6 - ТП5	197883
Итого по 2 варианту	819868

6.3 Технико-экономическое сравнение вариантов сети 10 кВ

При технико-экономическом сравнении вариантов сети 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток затраты на сооружение ТП 10/0,4 кВ не фигурируют в расчётах капитальных затрат, так как для обоих предложенных вариантах схемы сети количество ТП 10/0,4 кВ, расположение, состав оборудования и тип исполнения не меняются, упрощение такого расчёта допустимо по [13].

Приведенные затраты для варианта 1 сооружения сети 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток рассчитываются по известной формуле [13] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Z = E \cdot (K_{\text{ВЛ}} + K_{\text{ВЫКЛ}}) + (a_{\text{ам.кл.}} \cdot K_{\text{КЛ}} + a_{\text{ам.выкл.}} \cdot K_{\text{ВЫКЛ}}) + \frac{(K_{\text{ВЛ}} + K_{\text{ВЫКЛ}})}{T} + C_0 \cdot (\Delta W_{\text{ВЛ}}) \cdot 10^{-3}, \quad (55)$$

$$Z_1 = 0,1 \cdot (2600 + 2448) + 0,059 \cdot 2600 + 0,004 \cdot 2448 + (2600 + 2448) / 20 + 1,9 \cdot 826336 / 1000 = 2058 \text{ тыс.руб.};$$

где E - норматив дисконтирования, за базовое значение принимается ставка 0,1 [13];

$K_{\text{КЛ}}$ - затраты на монтаж кабелей 10 кВ, тыс.руб.;

$K_{\text{ВЫКЛ}}$ - затраты на монтаж выключателей 10 кВ, тыс.руб.;

C_0 – стоимость потерь электроэнергии для Приморского края, 1,9 руб/кВт·ч [19];

$a_{ам.выкл}$ – ставка амортизации выключателей 10 кВ, 5,9% [13];

$a_{ам.кл}$ – ставка амортизации КЛ 10 кВ, 0,4% [13];

T - срок окупаемости, 20 лет.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по приведенным затратам для вариантов сети 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 24.

Таблица 24 – Сравнение вариантов сети 10 кВ

Показатель	Вариант №1	Вариант №2
Количество выключателей 10 кВ, шт	4	4
Стоимость выключателя 10 кВ, тыс. руб	650	650
Капиталовложения в выключатели, тыс. руб	2600	2600
Протяженность КЛ 10 кВ сечением 70 мм ² , км		8,0
Стоимость кабеля сечением 70 мм ² , тыс. руб./км	196	196
Протяженность КЛ 10 кВ сечением 95 мм ² , км	7,0	5,8
Стоимость кабеля сечением 95 мм ² , тыс. руб./км	252	252
Протяженность КЛ 10 кВ сечением 50 мм ² , км	4	
Стоимость кабеля сечением 50 мм ² , тыс. руб./км	155	155
Капиталовложения в линии 10 кВ, тыс руб	2448	3031
Издержки на эксплуатацию и ремонт линий 10 кВ, тыс.руб	10	12
Издержки на эксплуатацию и ремонт выключателей 10 кВ, тыс.руб	153	153
Издержки на амортизацию электрооборудования, тыс руб	252	282
Потери электроэнергии, кВт·ч	826336	819868
Стоимость потерь электроэнергии, руб/кВт·ч	1,53	1,53
Издержки потерь электроэнергии, тыс. руб.	1264	1254
ИТОГО приведенные затраты, тыс руб.	2058	2124

Вариант 2 оказался дороже на 3,1% по приведенным затратам. По минимальным потерям электроэнергии выбираем вариант 2.

6.4 Предохранители 10 кВ

Выбор предохранителей 10 кВ ТП 10/0,4 кВ по номинальному напряжению выполнен по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{уст\ пред} \leq U_{ном\ пред} , \quad (56)$$

$$10\text{ кВ} \leq 10\text{ кВ},$$

где $U_{ном\ пред}$ - номинальное напряжение предохранителей защиты трансформаторов ПКТ-103, 10 кВ.

Максимальный ток предохранителя 10 кВ ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{маx\ пред} = \frac{1,6 \cdot S_{ном\ тр}}{\sqrt{3} \cdot U_H} , \quad (57)$$

$$I_{P.KЛ1(1\epsilon)} = \frac{1,6 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 148\text{ А},$$

где $S_{ном\ тр}$ - номинальная мощность трансформатора ТП 1, 1600 кВА.

Выбор предохранителей 10 кВ ТП 1 по номинальному току патрона и вставки выполнен по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{маx\ пред} \leq I_{ном\ пред} , \quad (58)$$

$$148\text{ А} \leq 160\text{ А} ,$$

$$I_{маx\ пред} \leq I_{вст\ пред} , \quad (59)$$

$$148\text{ А} \leq 160\text{ А} ,$$

где $I_{ном\ пред}$ - номинальный ток предохранителей защиты трансформаторов ПКТ-103, 160 А;

$I_{вст\ пред}$ - номинальный ток вставки предохранителей защиты трансформаторов ПКТ-103, 160 А.

Проверка предохранителей 10 кВ ТП 1 по току отключения выполнена по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I^{(3)}_{по} \leq I_{откл\ пред}, \quad (60)$$

$$3,55\text{ кА} \leq 12,5\text{ кА},$$

где $I_{откл\ пред}$ - номинальный ток отключения КЗ для предохранителей защиты трансформаторов ПКТ-103, 12,5 кА.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке предохранителей 10 кВ ТП проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 25.

Таблица 25 – Выбор и проверка предохранителей 10 кВ ТП проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	$I_{мах\ пред}, А$	$I_{ном\ пред}, А$	$I_{вст\ пред}, А$	$I^{(3)}_{по}, кА$	$I_{откл\ пред}, кА$
1	2	3	4	5	6
ТП-1	148	160	160	5,55	12,5
ТП-2	92	100	100	6,19	12,5
ТП-3	92	100	100	8,18	12,5

Продолжение таблицы 25

1	2	3	4	5	6
ТП-4	148	160	160	9,66	12,5
ТП-5	58	80	80	7,20	12,5
ТП-6	92	100	100	8,19	12,5
ТП-7	58	80	80	10,30	12,5

Предохранители защиты трансформаторов ПКТ-103 соответствуют всем условиям выбора и проверки.

6.4 Выключатели нагрузки 10 кВ

Выбор выключателей нагрузки 10 кВ ТП 10/0,4 кВ по номинальному напряжению выполнен по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{уст\ вн} \leq U_{ном\ вн} ,$$

$$10\text{ кВ} \leq 10\text{ кВ},$$

где $U_{ном\ вн}$ - номинальное напряжение выключателей нагрузки защиты трансформаторов ПКТ-103, 10 кВ.

Выбор выключателей нагрузки 10 кВ ТП 1 по номинальному току выполнен по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{max\ вн} \leq I_{ном\ вн} ,$$

$$148\text{ А} \leq 630\text{ А} ,$$

где $I_{ном\ вн}$ - номинальный ток выключателей нагрузки защиты трансформаторов ВНА-10/630, 630 А.

Расчётный тепловой импульс выключателей нагрузки 10 кВ ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$W_k = I_{п.о.к1}^2 \cdot (t_{отк} + T_a) , \tag{61}$$

$$B_k = 5,55^2 \cdot (0,055 + 0,4) = 14 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя нагрузки ВНА-10/630, 0,055 с.

Номинальный тепловой импульс выключателей нагрузки 10 кВ ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} , \quad (62)$$

$$B_{Кном} = 12,5^2 \cdot 4 = 625 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $I_{терм}$ - ток термической стойкости выключателя нагрузки ВНА-10/630, 12,5 кА.

$t_{терм}$ - собственное время термической стойкости выключателя нагрузки ВНА-10/630, 4 с.

Проверка выключателей нагрузки 10 кВ ТП 1 по термической устойчивости выполнена по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_k \leq B_{кном} , \quad (63)$$

$$14 \text{ кА}^2\text{с} \leq 625 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Проверка выключателей нагрузки 10 кВ ТП 1 по динамической устойчивости выполнена по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{уд} \leq I_{дин} , \quad (64)$$

$$7,86 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА} .$$

где $I_{дин}$ - ток динамической стойкости выключателя нагрузки ВНА-10/630, 32 кА.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке выключателей нагрузки 10 кВ ТП проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 26.

Таблица 26 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ ТП проектируемого района застройки города Владивосток

№ ТП	$V_{кр}, \text{кА}^2\text{с}$	$V_{кн}, \text{кА}^2\text{с}$	$I_{уд}, \text{кА}$	$I_{дин}, \text{кА}$
ТП-1	14	625	7,861	32
ТП-2	14	625	8,803	32
ТП-3	17	625	11,99	32
ТП-4	14	625	15,05	32
ТП-5	18	625	10,34	32
ТП-6	17	625	12	32
ТП-7	16	625	16,83	32

Выключатели нагрузки защиты трансформаторов ВНА-10/630 соответствуют всем условиям выбора и проверки.

6.6 Проверка кабелей 10 кВ

Расчётный тепловой импульс КЛ 10 кВ до ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$V_k = I_{п.о.КЛ}^2 \cdot (t_{отк} + T_a) ,$$

$$V_k = 5,55^2 \cdot (0,055 + 0,4) = 14 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя нагрузки ВНА-10/630, 0,055 с.

Номинальный тепловой импульс КЛ 10 кВ до ТП 1 рассчитывается по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} ,$$

$$B_{Кном} = 5^2 \cdot 3 = 75 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $I_{терм}$ - ток термической стойкости жил кабеля АПВП (3х95), 5 кА.

$t_{терм}$ - собственное время термической стойкости жил кабеля АПВП (3х95), 3 с.

Проверка КЛ 10 кВ до ТП 1 по термической устойчивости выполнена по известной формуле [12] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_k \leq B_{кном} ,$$

$$14 \text{ кА}^2\text{с} \leq 75 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по проверке КЛ 10 кВ по термической стойкости проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 27.

Таблица 27 – Проверка сечений КЛ 10 кВ по термической стойкости

Линия	$L_{кЛ 10 \text{ кВ}}, \text{ км}$	$I_{по}^{(3)}, \text{ кА}$	$B_k, \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{кном},$
-------	------------------------------------	----------------------------	-----------------------------	-------------

				кА ² с
ТП-1	2,9	5,55	39	75
ТП-2	2,5	6,19	39	75
ТП-3	1,6	8,18	43	75
ТП-4	1,1	9,66	39	75
ТП-5	4,0	7,20	45	55
ТП-6	3,2	8,19	43	55
ТП-7	1,8	10,30	42	55

Все ранее выбранные сечения КЛ по термической стойкости к току КЗ остаются без изменений.

7 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ЁМКОСТНЫХ ТОКОВ В ЦЕНТРЕ ПИТАНИЯ

Расчётная активная нагрузка, подключение которой ожидается к шинам 10 кВ центра питания ПС Бурная рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$P_{p\text{ кл1}} = k_{\text{совм}} \cdot P_{\Sigma};$$

$$P_{p\text{ кл1}} = 0,75 \cdot 9640 = 7014 \text{ кВт};$$

где $k_{\text{совм}}$ - коэффициент совмещения максимумов нагрузок трансформаторов, при работающих 14 трансформаторах 0,75 [1].

Расчётная реактивная нагрузка, подключение которой ожидается к шинам 10 кВ центра питания ПС Бурная рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Q_{p\text{ кл1}} = k_{\text{совм}} \cdot Q_{\Sigma};$$

$$Q_{p\text{ кл1}} = 0,75 \cdot 3223 = 2998 \text{ квар.}$$

По данным контрольного замера 2022 года нагрузка ПС Бурная на стороне 10 кВ составляет $S_{\text{дкз}} = 32200 + i7300$ кВА, с учётом данной величины нагрузки определяется необходимость подключения КУ 10 кВ.

Суммарная мощность компенсирующих устройств, подключение которой ожидается к шинам 10 кВ центра питания ПС Бурная рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Q_{ky} = (Q_{p\text{ кл1}} + Q_{\text{дкз}}) - (P_{p\text{ кл1}} + P_{\text{дкз}}) \cdot \text{tg}\varphi_{\text{max}};$$

$$Q_{ky} = (2998 + 7300) - (7014 + 32200) \cdot 0,4 = -5400 \text{ квар};$$

где $\text{tg}\varphi_{\text{max}}$ - допустимый коэффициент мощности на напряжение 10 кВ, 0,4 [20].

Компенсация реактивной мощности на стороне 10 кВ ПС Бурная не проводится.

Ёмкостной ток сети 10 кВ рассчитывается по известной формуле [18] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_c = \frac{1,35 \cdot U_H \cdot L_K}{10}, \quad (65)$$

$$I_c = \frac{1,35 \cdot 10 \cdot 13,8}{10} = 18,63 \text{ А},$$

где U_H – номинальное напряжение сети, кВ;

L_K – суммарная длина КЛ проектируемого района застройки города Владивосток, км.

Проверка необходимости компенсации ёмкостного тока выполнена по известной формуле [24] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_c \leq I_{c\text{ доп}},$$

$$18,63 \text{ А} \leq 20 \text{ А}.$$

Мероприятия по компенсации ёмкостного тока не проводятся.

8 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ 10 КВ ЦЕНТРА ПИТАНИЯ

8.1 Выбор КРУ

Для установки выбираем КРУ СЭЩ-80-10Н производства завода «Электрощит».

Выбор КРУ 10 кВ ПС Бурная по номинальному напряжению выполнен по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{уст\ кру} \leq U_{ном\ кру} ,$$

$$10\ кВ \leq 10\ кВ,$$

где $U_{ном\ кру}$ - номинальное напряжение КРУ СЭЩ-80-10Н, 10 кВ.

Выбор КРУ 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по номинальному току выполнен по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{мах\ кру} \leq I_{ном\ кру} ,$$

$$345\ А \leq 630\ А ,$$

где $I_{ном\ кру}$ - номинальный ток КРУ СЭЩ-80-10Н, 630 А.

Расчётный тепловой импульс КРУ 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$W_k = I_{п.о.КЛ}^2 \cdot (t_{отк} + T_a) ,$$

$$B_k = 9,66^2 \cdot (0,055 + 0,5) = 52 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя ВВ/Тел-10-12,5/630У2, 0,055 с.

Номинальный тепловой импульс КРУ 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_{кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} ,$$

$$B_{кном} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $I_{терм}$ - ток термической стойкости КРУ СЭЩ-80-10Н, 20 кА.

$t_{терм}$ - собственное время термической стойкости КРУ СЭЩ-80-10Н, 4 с.

Проверка КРУ 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по термической устойчивости выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_k \leq B_{кном} ,$$

$$52 \text{ кА}^2\text{с} \leq 1600 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Проверка КРУ 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по динамической устойчивости выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$i_{y\partial} \leq i_{ckв} ,$$

$$15,1 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА} ,$$

где $I_{дин}$ - ток динамической стойкости КРУ СЭЩ-80-10Н, 50 кА.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке КРУ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 28.

Таблица 28 – Выбор и проверка КРУ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{рmax} = 335 \text{ А}$ $I_{рmax} = 137 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{рmax}$
$i_{ckв} = 50 \text{ кА}$	$i_{y\partial} = 16,8 \text{ кА}$ $i_{y\partial} = 15,1 \text{ кА}$	$i_{ckв} \geq i_{y\partial}$
$B_{к.ном} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{к.} = 59 \text{ кА}^2\text{с}$ $B_{к.} = 52 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{к.ном} \geq B_{к.}$

КРУ СЭЩ-80-10Н соответствуют всем условиям выбора и проверки.

8.2 Выбор выключателей

Для установки выбираем выключатели ВВ/Тел-10-12,5/630У2.

Выбор выключателей 10 кВ ПС Бурная по номинальному напряжению выполнен по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{уст \text{ выкл}} \leq U_{ном \text{ выкл}} ,$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ} ,$$

где $U_{ном \text{ выкл}}$ - номинальное напряжение выключателя ВВ/Тел-10-12,5/630У2, 10 кВ.

Выбор выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по номинальному току выполнен по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{мах выкл}} \leq I_{\text{ном выкл}},$$

$$345 \text{ A} \leq 630 \text{ A},$$

где $I_{\text{ном выкл}}$ - номинальный ток выключателя ВВ/Тел-10-12,5/630У2, 630 А.

Расчётный тепловой импульс выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{н.о.КЛ}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a),$$

$$B_{\text{к}} = 9,66^2 \cdot (0,055 + 0,5) = 52 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{\text{отк}}$ - собственное время отключения выключателя ВВ/Тел-10-12,5/630У2, 0,055 с.

Номинальный тепловой импульс выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}},$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $I_{терм}$ - ток термической стойкости выключателя ВВ/Тел-10-12,5/630У2, 20 кА.

$t_{терм}$ - собственное время термической стойкости выключателя ВВ/Тел-10-12,5/630У2, 4 с.

Проверка выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по термической устойчивости выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_k \leq I_{кном},$$

$$52 \text{ кА}^2\text{с} \leq 1600 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Проверка выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по динамической устойчивости выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$i_{уд} \leq i_{скв},$$

$$15,1 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА},$$

где $i_{скв}$ - ток динамической стойкости выключателя ВВ/Тел-10-12,5/630У2, 50 кА.

Проверка выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по отключающей способности выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}},$$

$$12,5 \text{ кА} \geq 9,66 \text{ кА},$$

где $I_{\text{вкл}}$ – ток отключения выключателя ВВ/Te1-10-12,5/630У2, 12,5 кА.

Номинальная апериодическая составляющая тока КЗ выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном откл}}, \quad (66)$$

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 12,5 = 7,071 \text{ кА},$$

где $\beta_{\text{н}}$ – номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей выключателя ВВ/Te1-10-12,5/630У2, 40%;

$I_{\text{ном откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя ВВ/Te1-10-12,5/630У2, 12,5 кА.

Проверка выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по отключающей способности апериодической составляющей тока КЗ выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}, \quad (67)$$

$$7,071 \text{ кА} \geq 3,8 \text{ кА}.$$

Расчётная величина аperiodической составляющей тока КЗ определена приближенно при расчётах токов КЗ в сети 10 кВ.

Проверка выключателей 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТПЗ - ТП2 - ТП1 на отключение полного тока КЗ выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{но.кл}}^{(3)} + i_{\text{атк1}} \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.отк}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right); \quad (68)$$

$$\sqrt{2} \cdot 9,66 + 3,8 \leq \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot \left(1 + \frac{40}{100}\right);$$

$$17,4 \text{ кА} \leq 24,7 \text{ кА}.$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке выключателей 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 29.

Таблица 29 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$
$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{рmax}} = 335 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 137 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$
$i_{\text{скв}} = 50 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 16,8 \text{ кА}$ $i_{\text{уд}} = 15,1 \text{ кА}$	$i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$
$W_{\text{к.ном}} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{\text{к}} = 59 \text{ кА}^2\text{с}$ $W_{\text{к}} = 52 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{\text{к.ном}} \geq W_{\text{к}}$
$I_{\text{вкл}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{по}} = 10,3 \text{ кА}$ $I_{\text{по}} = 9,7 \text{ кА}$	$I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}}$
$I_{\text{откл}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{пт}} = 10,3 \text{ кА}$ $I_{\text{пт}} = 9,7 \text{ кА}$	$I_{\text{откл}} \geq I_{\text{пт}}$
$i_{\text{а.ном}} = 7,071 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}} = 3,8 \text{ кА}$	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}$

Выключатели ВВ/Te1-10-12,5/630У2 соответствуют всем условиям выбора и проверки.

8.3 Выбор трансформаторов тока

Для установки выбираем трансформаторы тока ТОЛ 10 – У2.

Выбор трансформаторов тока 10 кВ ПС Бурная по номинальному напряжению выполнен по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{уст\ тт} \leq U_{ном\ тт},$$

$$10\ кВ \leq 10\ кВ,$$

где $U_{ном\ тт}$ - номинальное напряжение трансформатора тока ТОЛ 10 – У2, 10 кВ.

Выбор трансформаторов тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по номинальному току выполнен по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{мах\ тт} \leq I_{ном\ тт},$$

$$345\ А \leq 400\ А,$$

где $I_{ном\ тт}$ - номинальный ток трансформатора тока ТОЛ 10 – У2, 400 А.

Расчётный тепловой импульс трансформаторов тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_k = I_{n.o.K1}^2 \cdot (t_{отк} + T_a) ,$$

$$B_k = 9,66^2 \cdot (0,055 + 0,5) = 52 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя ВВ/Тел-10-12,5/630У2, 0,055 с.

Номинальный тепловой импульс трансформаторов тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T ,$$

$$B_{HK} = 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2\text{с},$$

где I_T - ток термической стойкости трансформатора тока ТОЛ 10 – У2, 16 кА.

t_T - собственное время термической стойкости трансформатора тока ТОЛ 10 – У2, 3 с.

Проверка трансформатора тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по термической устойчивости выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$B_k \leq B_{кном} ,$$

$$52 \text{ кА}^2\text{с} \leq 768 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Проверка трансформатора тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по динамической устойчивости выполнена по

известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{уд} \leq I_{дин},$$

$$15,1 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА},$$

где $I_{дин}$ - ток динамической стойкости трансформатора тока ТОЛ 10 – У2, 32 кА.

Вторичная нагрузка трансформаторов тока отходящих КЛ 10 кВ включает в себя нагрузку приборов во вторичных цепях, для каждой КЛ 10 кВ согласно однолинейной схеме предусмотрены амперметр щитовой АПЩ-2032 (нагрузка токовых цепей $S_{потр}=0,5$ ВА, фаза В) и счётчик электроэнергии РИМ-489 (нагрузка токовых цепей $S_{потр}=1,24$ ВА, фаза А и С). По максимальной нагрузке фаз А и С ведётся дальнейший расчёт нагрузки приборов в Ом.

Общее сопротивление приборов вторичной цепи трансформаторов тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$r_{приб} = \frac{S_{номр}}{I_2^2}, \quad (69)$$

$$r_{приб} = \frac{1,24}{5^2} = 0,0496 \text{ Ом},$$

где $S_{потр}$ – нагрузка приборов во вторичных цепях трансформатора тока ТОЛ 10 – У2, 1,24 ВА;

I_2 – вторичный ток трансформатора тока ТОЛ 10 – У2, 5А.

Номинальное сопротивление вторичной цепи трансформаторов тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}, \quad (70)$$

$$Z_{2H} = \frac{12.5}{5^2} = 0,5 \text{ Ом},$$

где S_{2H} - мощность вторичной обмотки трансформатора тока ТОЛ 10 – У2, 12,5 ВА.

Сопротивление проводов во вторичной цепи трансформаторов тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (71)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 5}{4} = 0,035 \text{ Ом},$$

где q – площадь сечения проводов АКРВГ 3х(1х4), 4 мм²;

ρ - удельное сопротивление проводов АКРВГ 3х(1х4), 0,0283 Ом*м/мм²;

l - длина проводов АКРВГ 3х(1х4), 5 м.

Общая нагрузка вторичной цепи трансформаторов тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$r_2 = r_{\text{конг}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}, \quad (72)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.035 + 0.0496 = 0.23 \text{ Ом},$$

где $r_{\text{конг}}$ - сопротивление контактов, 0,1 Ом.

Проверка трансформатора тока 10 кВ ПС Бурная для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по вторичной нагрузке при $Z_2 \approx r_2$ выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$r_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}, \quad (73)$$

$$0,23 \text{ Ом} \leq 0,4 \text{ Ом}.$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке трансформаторов тока 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 30.

Таблица 30 – Выбор и проверка трансформаторов тока 10 кВ

Справочные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$
$I_{\text{НОМ тт}} = 400 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ тт}} = 200 \text{ А}$	$I_{\text{мах тт}} = 335 \text{ А}$ $I_{\text{мах тт}} = 137 \text{ А}$	$I_{\text{мах тт}} \leq I_{\text{НОМ тт}}$
$Z_{2\text{НОМ}} = 0,4 \text{ Ом}$ (для класса точности 0,5)	$r_2 = 0,23 \text{ Ом}$	$r_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}$
$B_{\text{КН}} = 768 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к.}} = 59 \text{ кА}^2\text{с}$ $B_{\text{к.}} = 52 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{КН}} \geq B_{\text{кр}}$
$I_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$	$I_{\text{уд}} = 16,8 \text{ кА}$ $I_{\text{уд}} = 15,1 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$

Трансформаторы тока ТОЛ 10 – У2 соответствуют всем условиям выбора и проверки.

8.4 Выбор трансформаторов напряжения

Для установки выбираем трансформаторы напряжения НАМИ-10–УХЛ2.

Выбор трансформаторов напряжения 10 кВ ПС Бурная по номинальному напряжению выполнен по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{уст\ тн} \leq U_{ном\ тн},$$

$$10\ кВ \leq 10\ кВ,$$

где $U_{ном\ тн}$ - номинальное напряжение трансформатора напряжения НАМИ-10–УХЛ2, 10 кВ.

Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 1с и 2с 10 кВ включает в себя нагрузку приборов во вторичных цепях, согласно однолинейной схеме предусмотрены вольтметр щитовой ВПЩ-2034 (нагрузка напряженческих цепей $S_{2\ в} = P_{2\ в} = 2\ ВА$), вольтметр испытательный В3061 (нагрузка напряженческих цепей $S_{2\ ви} = P_{2\ ви} = 30\ ВА$) и счётчик электроэнергии РИМ-489 (нагрузка напряженческих цепей $S_{2\ рим489} = P_{2\ рим489} = 10\ ВА$), т.е. характер нагрузки активный. Нагрузка трансформаторов напряжения рассчитывается только для подключаемых КЛ 10 кВ. Полную нагрузку трансформаторов напряжения целесообразно проверять в совокупности при реконструкции РУ-10 кВ ПС Бурная.

Общее сопротивление приборов вторичной цепи трансформаторов напряжения 1с и 2с ПС Бурная рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{2\Sigma} = S_{2\ в} + S_{2\ ви} + n \cdot S_{2\ рим489}; \quad (74)$$

$$S_{2\Sigma} = 2 + 30 + 4 \cdot 10 = 72 \text{ ВА.}$$

Проверка трансформаторов напряжения 1с и 2с ПС Бурная по вторичной нагрузке выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{доп}}, \quad (75)$$

$$72 \text{ ВА} \leq 150 \text{ ВА.}$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке трансформаторов напряжения секций шин 3с и 4с 10 кВ ПС Бурная проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 31.

Таблица 31 – Выбор и проверка трансформаторов тока 10 кВ

Справочные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$
$S_{\text{доп}} = 72 \text{ ВА}$ (для класса точности 0,5)	$S_{2\Sigma} = 150 \text{ ВА}$	$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{доп}}$

Трансформаторы напряжения НАМИ-10–УХЛ2 соответствуют всем условиям выбора и проверки.

8.5 Выбор ограничителей перенапряжений 10 кВ

Выбираем ограничители перенапряжения ОПН-РТ/tel-10У1.

Выбор ОПН-10 кВ на ПС Бурная по наибольшему длительному рабочему напряжению выполнен по [15] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{\text{НР}} \geq 1,02 - 1,05 \cdot U_{\text{НС}}, \quad (76)$$

$$11,5 \geq 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ,}$$

где U_{HP} - длительно допустимое рабочее напряжение ОПН-10 кВ на ПС Бурная, 10,5 кВ;

U_{HC} - наибольшее фазное напряжение проектируемых сетей, 10 кВ.

Выбор ОПН-10 кВ на ПС Бурная по номинальному напряжению выполнен по [15] на основании найденных вводных данных:

$$U_{ном} \geq U_{к} \cdot \left(\frac{T_{к}}{10}\right)^m, \quad (77)$$

$$13,2 \geq 15 \cdot \left(\frac{5}{10}\right)^{0,2} = 13,1 \text{ кВ},$$

где $U_{ном}$ - номинальное паспортное напряжение ОПН, 13,2 кВ;

$U_{к}$ - амплитуда квазистационарного перенапряжения для КЛ 10 кВ ПС Бурная при сбросе нагрузки кратностью 1,5 от номинала;

$T_{к}$ - длительность квазистационарного перенапряжения для протяженных сетей 10 кВ при сбросе нагрузки, 5 с;

m - среднее значение коэффициента ОПН, 0,02.

Выбор ОПН-10 кВ на ПС Бурная по разрядному току выполнен по [15] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{ном P} \geq 5 \text{ кА},$$

$$10 \text{ кА} \geq 5 \text{ кА},$$

где $I_{ном P}$ –разрядный ток ОПН, номинальное значение, 10 кА.

Время распространения волны перенапряжения рассчитывается по известной формуле [15] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$T = \frac{l}{v}, \quad (78)$$

$$T = \frac{13800}{3,15 \cdot 10^8} = 43,8 \text{ мкс},$$

где l - длина проектируемых КЛ, 13,8 км;

v - скорость распространения волны, м/с.

Выбор ОПН-10 кВ на ПС Бурная по удельной энергоёмкости выполнен по [15] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$W = 2 \cdot U_{\text{эк}} \cdot (U_{\text{п}} - U_{\text{эк}}) \cdot \frac{T_B}{Z}; \quad (79)$$

$$W = 2 \cdot 31,6 \cdot (3,5 \cdot 10 - 31,6) \cdot \frac{43,8}{200} = 45,8 \text{ кДж},$$

$$W_{\text{уд}} = \frac{W}{U_{\text{ном}}}; \quad (80)$$

$$W_{\text{уд}} = \frac{45,8}{10} = 4,58 \text{ кДж/кВ};$$

где $U_{\text{п}}$ - амплитуда напряжения ОПН для диапазона 2%-ных перенапряжений, 3,5 номинала;

$U_{\text{эк}}$ - остающееся напряжение ОПН при коммутационном импульсе, 31,6 кВ;

Z – волновое сопротивление КЛ от ПС Бурная, ориентировочно 200 Ом.

Выбор ОПН-10 кВ на ПС Бурная по взрывобезопасности выполнен по [15] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{ВБ} \geq I_{КЗ}, \quad (81)$$

$$20 \text{ кА} > 12,5 \text{ кА},$$

где $I_{ВБ}$ – ток взрывобезопасности ОПН-10 кВ на ПС Бурная, 20 кА;

$I_{КЗ}$ – наибольшая величина тока КЗ на стороне 10 кВ ПС Бурная, по отключающей способности выключателя 10 кВ, 12,5 кА.

Выбор ОПН-10 кВ на ПС Бурная по ограничению коммутационных перенапряжений выполнен по [15] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{ост} \leq U_{ки} / (1,15-1,20), \quad (82)$$

$$U_{ки} = K_{и} \cdot K_{к} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{исп}, \quad (83)$$

$$U_{ки} = 1,35 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot 75 = 42,8 \text{ кВ};$$

$$31,6 \text{ кВ} < 128/1,2 = 107 \text{ кВ},$$

где $U_{ост}$ – остающееся напряжение ОПН при токе коммутационных перенапряжений на волне 30/60 мкс с амплитудой 31,6 кВ;

$U_{исп}$ – испытательное напряжение для РУ 10 кВ ПС Бурная, 75 кВ;

$K_{и}$ – коэффициент импульса, 1,35;

$K_{к}$ – коэффициент куммулятивности, 0,9.

Выбор ОПН-10 кВ на ПС Бурная по ограничению грозовых перенапряжений выполнен по [15] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$(U_{ИСП\ гр} - U_{Ост.ОПН10}) / U_{ИСП\ гр} > 0,2-0,25; \quad (84)$$

$$(75-35,1) / 75 = 0,53 > 0,2-0,25,$$

где $U_{Ост.ОПН10}$ – остающееся напряжение на ОПН при воздействии грозовых импульсов тока 8/20 мкс с амплитудой 10 кА, 35,1 кВ;

$U_{ИСП\ гр}$ – испытательное значение используемого грозового импульса, 75 кВ.

Ограничители перенапряжения ОПН-РТ/tel-10У1 устанавливаются с 5 классом энергоемкости до 7,1 кДж/кВ.

8.6 Выбор предохранителей 10 кВ

Для защиты трансформаторов напряжения выбираем предохранители 10 кВ ПKN-101.

Выбор предохранителей 10 кВ трансформаторов напряжения по номинальному напряжению выполнен по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{уст\ пред\ тн} \leq U_{ном\ пред\ тн},$$

$$10\text{ кВ} \leq 10\text{ кВ},$$

где $U_{ном\ пред\ тн}$ – номинальное напряжение предохранителей защиты трансформаторов напряжения ПKN-101, 10 кВ.

Максимальный ток предохранителя 10 кВ трансформаторов напряжения рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{max предтн}} = \frac{S_{\text{тн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{max предтн}} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 10} = 8,6 \text{ A};$$

где $S_{\text{тн}}$ - номинальная мощность трансформатора напряжения НАМИ-10-УХЛ2, 150 ВА.

Выбор предохранителей 10 кВ трансформатора напряжения по номинальному току патрона и вставки выполнен по [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются для данного расчётного случая:

$$I_{\text{max пред тн}} \leq I_{\text{ном пред тн}},$$

$$8,6 \text{ A} \leq 10 \text{ A},$$

$$I_{\text{max пред тн}} \leq I_{\text{вст пред тн}},$$

$$8,6 \text{ A} \leq 10 \text{ A},$$

где $I_{\text{ном пред тн}}$ - номинальный ток предохранителей трансформаторов напряжения ПКН-101, 10 А;

$I_{\text{вст пред тн}}$ - номинальный ток вставки предохранителей защиты трансформаторов напряжения ПКН-101, 10 А.

Проверка предохранителей 10 кВ ТП 1 по току отключения выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I^{(3)}_{no} \leq I_{откл\ пред},$$

$$9,66 \text{ кА} \leq 12,5 \text{ кА},$$

где $I_{откл\ пред\ тн}$ - номинальный ток отключения КЗ для предохранителей трансформаторов напряжения ПКН-101, 12,5 кА.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке предохранителей 10 кВ трансформаторов напряжения проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 32.

Таблица 32 – Выбор и проверка предохранителей 10 кВ трансформаторов напряжения проектируемого района застройки города Владивосток

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$I_{ном} = 10 \text{ А}$	$I_{рmax} = 8,6 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{рmax}$
$I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$	$I^{(3)}_{no} = 10,3 \text{ кА}$ $I^{(3)}_{no} = 9,7 \text{ кА}$	$I_{откл} \geq I_{пт}$

Предохранители защиты трансформаторов напряжения ПКН-101 соответствуют всем условиям выбора и проверки.

8.7 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ

Для установки в КРУ СЭЩ-80-10Н выбираем шины АДО-60-8, сечение прямоугольное, расположение плашмя.

Выбор жёстких шин 10 кВ КРУ для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по номинальному току выполнен по [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\max \text{ шин}} \leq I_{\text{ном шин}},$$

$$335 \text{ A} \leq 1025 \text{ A},$$

где $I_{\text{ном шинтт}}$ - номинальный ток шины АДО-60-8, 1025 А.

Минимальное сечение по термической стойкости шины 10 кВ для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}; \quad (85)$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{59 \cdot 10^6}}{91} = 84 \text{ мм}^2;$$

где C – температурный коэффициент для алюминия, $91 \text{ кА} \cdot \text{с}^{-1/2}$.

Фактическое сечение шины 10 кВ для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$q = h \cdot b;$$

$$q = 60 \cdot 8 = 480 \text{ мм}^2;$$

где h – длина стороны шины, 60 мм;

b – ширина стороны шины, 8 мм.

Проверка жёстких шин 10 кВ КРУ для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по термически стойкому сечению выполнена по известной формуле

[31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$q \geq q_{\min};$$

$$480 \text{ мм}^2 \geq 84 \text{ мм}^2.$$

Момент инерции и момент сопротивления шины 10 кВ для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитываются по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (86)$$

$$J = \frac{0.8 \cdot 6^3}{12} = 14.4 \text{ см}^4;$$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}; \quad (87)$$

$$W = \frac{0.8^2 \cdot 6}{6} = 0.64 \text{ см}^3.$$

Проверка жёстких шин 10 кВ КРУ для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по частоте колебаний выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (88)$$

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{14,4}{4,8}},$$

$$1,2 \text{ м} \leq 2 \text{ м};$$

где l - расстояние между осями крепления опорных изоляторов КРУ СЭЩ-80-10Н, 1,2 м.

Расчётное напряжение в материале шины 10 кВ для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитываются по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}; \quad (89)$$

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{16800^2 \cdot 1.2^2}{0.64 \cdot 0.45} = 24 \text{ МПа},$$

где a - расстояние между фазами КРУ СЭЩ-80-10Н, 0,45 м.

Проверка жёстких шин 10 кВ КРУ для отходящей КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 по механической прочности выполнена по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}, \quad (90)$$

$$24 \text{ МПа} < 75 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{расч} \leq 0.7 \cdot \sigma_{разр}, \quad (91)$$

$$24 \text{ МПа} \leq 0.7 \cdot 130 = 91 \text{ МПа}.$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение шины АДО-60-8, 75 МПа;

$\sigma_{\text{разр}}$ – разрушающее напряжение шины АДО-60-8, 130 МПа.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов по выбору и проверке жёстких шин 10 кВ КРУ 10 кВ ПС Бурная проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 33.

Таблица 33 – Выбор и проверка жёстких шин 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$I_{\text{ном шин}} = 1025 \text{ А}$	$I_{\text{мах шин}} = 335 \text{ А}$ $I_{\text{мах шин}} = 137 \text{ А}$	$I_{\text{мах шин}} \leq I_{\text{ном шин}}$
$q = 480 \text{ мм}^2$	$q_{\text{min}} = 84 \text{ мм}^2$	$q \geq q_{\text{min}}$
$\sigma_{\text{разр}} = 0.7 \cdot 130 = 91 \text{ МПа}$	$\sigma_{\text{расч}} = 24 \text{ МПа}$	$\sigma_{\text{расч}} \leq 0.7 \cdot \sigma_{\text{разр}}$
$\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$	$\sigma_{\text{расч}} = 24 \text{ МПа}$	$\sigma_{\text{расч}} < \sigma_{\text{доп}}$

Шины АДО-60-8 соответствуют всем условиям выбора и проверки.

9 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

9.1 Расчет релейной защиты трансформатора 10/0,4 кВ

Проводится расчёт уставок микропроцессорных блоков БМРЗ-158-ТР-01 с настройкой токовой отсечки и максимальной токовой защиты для ТП-1, на которой установлены трансформаторы ТМГ-1600/10/0,4.

Ток срабатывания токовой отсечки ТП-1 рассчитывается по известной формуле [29] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{с.о}} \leq k_n \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)}, \quad (92)$$

$$I_{c.o} \leq 1,3 \cdot 5,55 = 7,2 \text{ кА},$$

где $I_{к.макс}^{(3)}$ - значение тока трехфазного КЗ на стороне ВН, 5,55 кА;

k_n - коэффициент надежности блоков БМРЗ-158-ТР-01, 1,3.

Коэффициент трансформации трансформаторов тока ТП-1 рассчитывается по известной формуле [29] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$n_m = \frac{I_{6H}}{I_{HH}},$$

$$n_m = \frac{200}{5} = 40.$$

Ток срабатывания терминала токовой отсечки ТП-1 рассчитывается по известной формуле [29] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{ср.р} = I_{с.з} \cdot \frac{k_{сх}}{n_m}, \tag{93}$$

$$I_{ср.р} = 7200 \cdot \frac{1}{40} = 180 \text{ А},$$

где $k_{сх}$ - коэффициент схемы включения трансформаторов тока, 1.

Чувствительность терминала токовой отсечки ТП-1 рассчитывается по известной формуле [29] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$k_{\text{ч}} \geq k'_{\text{ч}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(2)}}{I_{\text{с.з}}}, \quad (94)$$

$$k_{\text{ч}} = 0,1 \cdot \frac{5500 \cdot 0,87}{180} = 2,7 \geq 2,$$

где $I_{\text{к.мин}}^{(2)}$ - значение тока двухфазного КЗ на стороне ВН, 4,82 кА;

$k'_{\text{ч}}$ - коэффициент, учитывающий расчетный вид и место КЗ, 0,1.

Коэффициент чувствительности токовой отсечки ТП-1 более 2, расчёт окончен, время срабатывания отсечки 0 с.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты ТП-1 рассчитывается по известной формуле [29] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot K_{\text{сам}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (95)$$

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{1,25 \cdot 2}{0,8} \cdot 148 = 462 \text{ А},$$

где $I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный ток стороны ВН трансформатора ТП 1, 148 А;

$K_{\text{н}}$ - коэффициент надежности блоков БМРЗ-158-ТР-01, 1,25;

$K_{\text{сам}}$ - коэффициент самозапуска блоков БМРЗ-158-ТР-01, 2;

$K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата блоков БМРЗ-158-ТР-01, 0,8.

Чувствительность терминала максимальной токовой защиты ТП-1 рассчитывается по известной формуле [29] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K'_{\text{ч}} \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot 0,87}{I_{\text{сз}}} \geq 1,5; \quad (96)$$

$$K_u = \frac{0,2 \cdot 5550 \cdot 0,87}{462} = 2,08 \geq 1,5,$$

Коэффициент чувствительности максимальной токовой защиты ТП-1 более 1,5, расчёт окончен.

Время срабатывания терминала максимальной токовой защиты ТП-1 рассчитывается по известной формуле [29] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$t_{с.з.МТЗ} = t_{np \max} + \Delta t, \quad (97)$$

$$t_{с.з.МТЗ} = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с.}$$

Ток срабатывания терминала максимальной токовой защиты ТП-1 рассчитывается по известной формуле [31] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{с.р.} = K_{сх} \cdot \frac{I_{с.з.}}{n_{ТА}}, \quad (98)$$

$$I_{с.р.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 462}{40} = 20 \text{ А.}$$

9.2 Расчет релейной защиты кабельных линий 10 кВ

Защита отходящих КЛ-10 кВ от ПС Бурная района проектирования города Владивосток рассчитывается на базе микропроцессорных терминалов СИРИУС-2-Л.

Первичный ток срабатывания максимальной токовой защиты для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на

основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{с.з.} \geq \frac{k_n \cdot k_{с.з.}}{k_B} \cdot I_{р.мах} ,$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,1 \cdot 1}{0,95} \cdot 263 = 305 \text{ А.}$$

где k_n – коэффициент надежности, для терминалов СИРИУС-2-Л, 1,1;

$k_{с.з.}$ – коэффициент запуска двигателей, для терминалов СИРИУС-2-Л, 1;

k_B – коэффициент возврата для терминалов СИРИУС-2-Л, 0,95;

$I_{р.мах.}$ – максимальный рабочий ток КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1, А.

Коэффициент трансформации трансформаторов тока для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$k_T = \frac{I_{ном.перв.}}{I_{ном.втор.}}, \quad (99)$$

$$k_T = \frac{400}{5} = 80 \text{ А.}$$

Ток срабатывания терминалов максимальной токовой защиты для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{c.p.} = \frac{k_{cx}}{k_T} \cdot I_{c.з.}, \quad (100)$$

$$I_{c.p.} = \frac{1}{80} \cdot 305 = 3,81 \text{ А},$$

где k_{cx} – коэффициент схемы, 1 при соединении ТТ в неполную звезду.

Чувствительность терминалов максимальной токовой защиты для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$K_{\psi} = \frac{I_{K3}^{(2)}}{I_{c.з.}}, \quad (101)$$

$$K_{\psi} = \frac{4820}{305} = 15,8 \geq 1,5.$$

Чувствительность терминалов максимальной токовой защиты удовлетворяет условию чувствительности в основной зоне.

Время срабатывания терминалов максимальной токовой защиты для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$t_{c.з.} = t_{p.з.} + \Delta t, \quad (102)$$

$$t_{c.з.} = 0,025 + 0,5 = 0,525 \text{ с}$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов максимальной токовой защиты для КЛ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток,

после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 34.

Таблица 34 – Расчёт максимальной токовой защиты для КЛ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Магистраль	$I_{(3)по,}$ кА	$I_{(2)по,}$ кА	$I_{кл,}$ А	$I_{нтт,}$ А	пт	$I_{с.з.,}$ кА	$I_{с.р.,}$ А	$K_{ч}$	Сравнение
ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1	9,66	4,82	335	400	80	0,305	3,81	15,8	$15,8 > 1,5$ - верно
ТП7 - ТП6 - ТП5	10,30	6,26	137	150	30	0,278	9,26	22,5	$22,5 > 1,5$ - верно

Первичный ток срабатывания токовой отсечки для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (103)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 9,66 = 10,62 \text{ кА.}$$

где k_n – коэффициент надежности, для терминалов СИРИУС-2-Л, 1,1;

$I_{к.мах}^{(3)}$ – максимальный ток КЗ на ТП-4, кА.

Чувствительность терминалов токовой отсечки для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (104)$$

$$K_{ч} = \frac{4,82}{10,62} = 0,5 < 2 ,$$

где $I_{\text{êç}}^{(2)}$ – минимальный ток КЗ на ТП-1, кА

Так как чувствительность отсечки без выдержки времени недостаточна, то целесообразно установить отсечку с выдержкой времени (вторая ступень защиты).

Ток срабатывания терминалов токовой отсечки для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{k_{\text{сх}}}{k_{\text{т}}} \cdot I_{\text{с.з.}}, \quad (105)$$

$$I_{\text{с.р.}} = 1 \cdot \frac{10,62}{80} = 132,8 \text{ А} .$$

Выдержка времени ТО: $t_{\text{с.з.}} \approx 0,5 \text{ с} .$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов токовой отсечки для КЛ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 35. Таблица 35 – Расчёт токовой отсечки для КЛ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Магистраль	$I_{(3)\text{по}}$, кА	$I_{(2)\text{по}}$, кА	$I_{\text{кл}}$, А	$I_{\text{Н ТТ}}$, А	$I_{\text{с.з.}}$, кА	$n_{\text{т}}$	$I_{\text{с.р}}$, А	$K_{\text{ч}}$	Сравнение
ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1	9,66	4,82	335	400	10,62	80	132,8	0,50	$0,5 < 2$
ТП7 - ТП6 - ТП5	10,30	6,26	137	150	11,33	30	377,8	0,60	$0,6 < 2$

Ток замыкания на землю для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{1,35 \cdot U_H \cdot L_{\text{повр.л}}}{10}, \quad (106)$$

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{1,35 \cdot 10 \cdot 2,9}{10} = 7,8 \text{ А},$$

Емкостной ток через терминал для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{ТП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}, \quad (107)$$

$$I_{\text{ТП.повр.л}} = 18,63 - 7,8 = 10,8 \text{ А}.$$

где $I_{\text{ЗНЗ}}$ – суммарный емкостной ток сети, 18,63 А.

Ток срабатывания защиты от замыкания на землю для КЛ 10 кВ ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1 рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{ТП.повр.л}} / k_{\text{ч}}, \quad (108)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 10,8 / 1,5 = 7,2 \text{ А},$$

где $k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, для терминалов СИРИУС-2-Л, 1,5.

Аналогичным образом ведётся блок расчётов защиты от замыкания на землю для КЛ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 36.

Таблица 36 – Расчёт защиты от замыкания на землю для КЛ 10 кВ проектируемого района застройки города Владивосток

Магистраль	$I_{\text{повр.л}}, \text{ A}$	$I_{\text{ГНП.повр.л}}, \text{ A}$	$I_{\text{с.з}}, \text{ A}$
ТП4 - ТП3 - ТП2 - ТП1	7,8	10,8	7,2
ТП7 - ТП6 - ТП5	10,8	7,8	5,2

9.3 Устройства автоматического включения резерва

Напряжение срабатывания терминалов АВР на стороне 10 кВ ПС Бурная рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{\text{с.з.}} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{\text{ном}}, \quad (109)$$

$$U_{\text{с.з.}} = 0,4 \cdot 10000 = 400 \text{ В.}$$

Выдержка времени срабатывания терминалов АВР на стороне 10 кВ ПС Бурная рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$t_{\text{АВР}} = t_{\text{с.з.}} + \Delta t, \quad (110)$$

$$t_{\text{АВР}} = 0,525 + 0,5 = 1,025 \text{ с.}$$

Напряжение срабатывания терминалов АВР на стороне 0,4 кВ ТП рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$U_{\text{с.з.}} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{\text{ном}}, \quad (111)$$

$$U_{\text{с.з.}} = 0,25 \cdot 400 = 100 \text{ В.}$$

Выдержка времени срабатывания терминалов АВР на стороне 0,4 кВ ТП рассчитывается по известной формуле [30] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$t_{\text{ABP}} = t_{\text{с.з.}} + \Delta t, \quad (112)$$

$$t_{\text{ABP}} = 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ с.}$$

10 ЗАЗЕМЛЕНИЕ ТП

Рассчитаем заземляющее устройство ТП-1. Заземляющее устройство представляет собой систему из вертикальных и горизонтальных электродов диаметром 10 мм, соединённых между собой сваркой.

Стационарное сопротивление одного вертикального электрода рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (113)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{80}{\pi \cdot 2 \cdot 2} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 0,5 + 2)}{0,01 \cdot (4 \cdot 0,5 + 2)} \right] = 40,745 \text{ Ом},$$

где l_B - длина вертикального электрода, 2 м;

h_3 - глубина заложения заземлителя, 0,5 м;

$\rho_{грунт}$ - удельное сопротивление грунта, по [11] для неводоносных песков берём из диапазона 80-200 Ом·м;

d - диаметр электродов, м.

Стационарное сопротивление одного горизонтального электрода рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (114)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{80}{\pi \cdot 4,75} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot 4,75}{\sqrt{2 \cdot 0,01 \cdot 0,5}} \right] = 22,88 \text{ Ом},$$

где l – длина горизонтальной полосы, 4,75 м.

Общее стационарное сопротивление заземлителя рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_C = \frac{R_{ЭВ} \cdot R_{ЭГ}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{ЭГ} + n_G \cdot R_{ЭВ})}, \quad (115)$$

$$R_C = \frac{40,745 \cdot 22,88}{0,75 \cdot (8 \cdot 22,88 + 4 \cdot 40,745)} = 3,6 \text{ Ом},$$

где η - коэффициент использования сложного заземлителя, учитывающий ухудшение растекания тока молнии из-за взаимного экранирования, 0,75;

n_B - число вертикальных электродов;

n_r - число горизонтальных электродов;

Импульсное сопротивление вертикального электрода рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (116)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 40,745}{0,75 \cdot 8} = 6,79 \text{ Ом},$$

где $\alpha_{uB} = 1$ - импульсный коэффициент вертикального электрода.

Удельная индуктивность на единицу длины горизонтального заземлителя рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$L_o = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (117)$$

$$L_o = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{4,75}{0,005} - 0,31 \right) = 1,375 \text{ мкГн/м}.$$

Импульсный коэффициент протяженного заземлителя заземлителя рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{L_0 \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{э}\Gamma}}, \quad (118)$$

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{1,375 \cdot 4,75}{3 \cdot 2 \cdot 22,88} = 1,13,$$

где $\tau_\phi = 2$ мкс - длительность фронта тока молнии.

Импульсное сопротивление протяжного электрода рассчитывается по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{э}\Gamma}, \quad (119)$$

$$R_{u\Gamma} = 1,13 \cdot 22,88 = 25,85 \text{ Ом.}$$

Общее импульсное сопротивление заземлителя рассчитывается по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}, \quad (120)$$

$$R_u = \frac{6,79 \cdot 25,85}{0,75 \cdot 8 (n_B \cdot 25,85 + 4 \cdot 6,79)} = 1 \text{ Ом.}$$

Аналогичным образом ведётся блок расчётов заземлителя для остальных ТП проектируемого района застройки города Владивосток, после чего ознакомиться с результатами расчётов по вводным данным можно в таблице 37.

Таблица 37 – Результат расчёта заземления ТП-1

Показатель	Обозначение	Величина
Длина вертикального электрода, м	l_B	2

Глубина заложения заземлителя, м	h_z	0,5
Удельное сопротивление грунта, Ом·м	$\rho_{грунт}$	80
Диаметр электродов, м	d	0,01
Стационарное сопротивление одного вертикального электрода, Ом	$R_{эВ}$	40,745
Длина горизонтальной полосы, м	l	4,75
Стационарное сопротивление одного горизонтального электрода, Ом	$R_{эГ}$	22,88
Число вертикальных электродов	n_B	8
Число горизонтальных электродов	n_G	4
Общее стационарное сопротивление заземлителя, Ом	R_c	3,6
Импульсное сопротивление вертикального электрода, Ом	$R_{иВ}$	6,79
Удельная индуктивность на единицу длины горизонтального заземлителя, мкГн/м	L_0	1,375
Импульсный коэффициент протяженного заземлителя	$\alpha_{иГ}$	1,13
Импульсное сопротивление протяженного электрода, Ом	$R_{иГ}$	25,85
Общее импульсное сопротивление заземлителя, Ом	R_u	1

Проверка устройства заземления по электробезопасности выполнена по известной формуле [11] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_c \leq R_{\text{стац норм}}, \quad (121)$$

$$3,6 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}.$$

Проверка устройства заземления по молниезащите выполнена по известной формуле [10] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$R_u \leq R_{\text{имп норм}}, \quad (122)$$

$$1 \text{ Ом} \leq 9 \text{ Ом}.$$

Эскиз заземления ТП-1 представлен на рисунке 6.

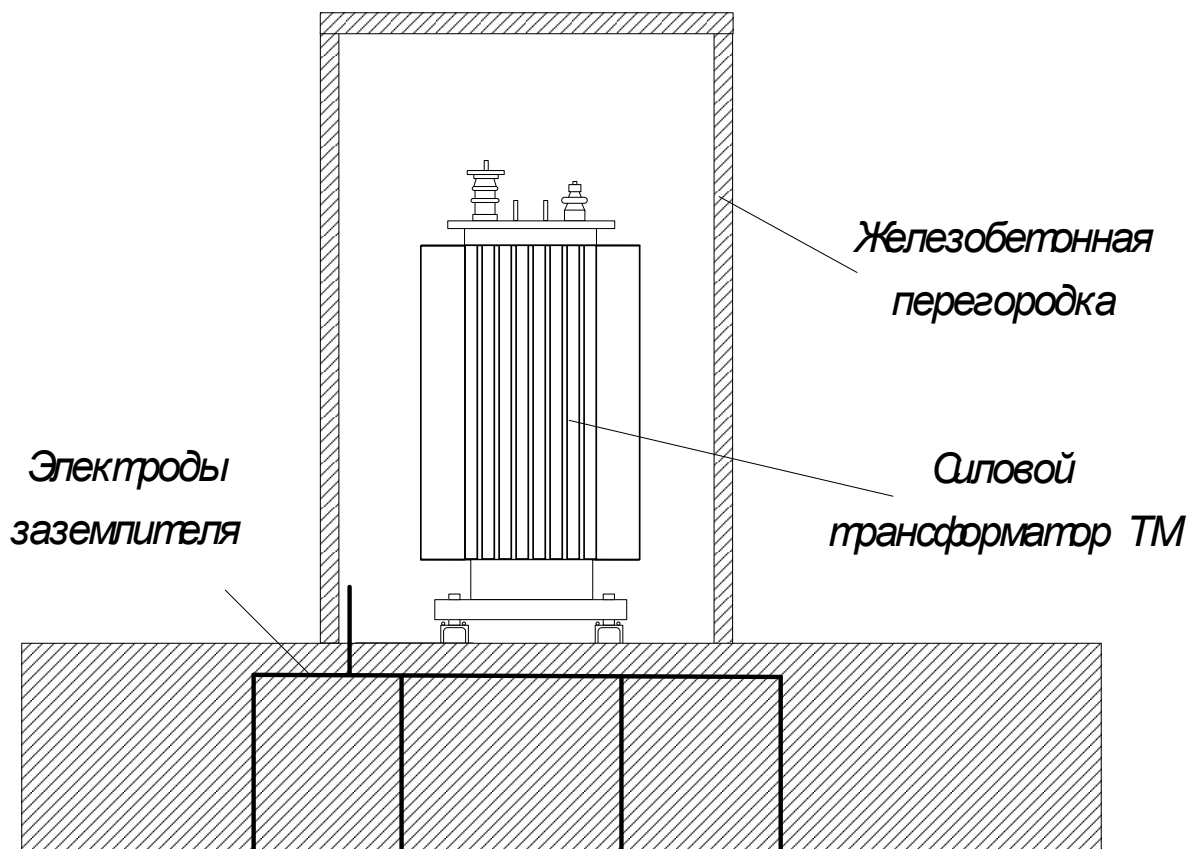


Рисунок 6 - Эскиз заземления ТП-1

Вертикальные электроды количеством 8 шт, длиной 2 м, диаметром 10 мм закладываем на глубину 0,5 м, соединяем между собой электродами того же диаметра.

11 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

11.1 Безопасность

Сооружение в районе бухты Федорова города Владивосток КТП 10/0,4 кВ и КРУ 10 кВ ПС «Бурная» проводится работниками подрядных организаций и собственниками электросетевого хозяйства, являющегося центром питания подключаемых к системе электроснабжения сетей. Согласованность действий при проведении электромонтажных работ между различными организациями

обеспечивается строгим соблюдением регламентирующих проведение работ документов.

Подключение системы электроснабжения бухты Федорова города Владивосток комплексом напряжением 10 кВ осуществляется к ячейкам КРУ 10 кВ ПС «Бурная», при этом соблюдаются меры безопасности [20].

Подключение КЛ-10 кВ к линейным ячейкам КРУ в РУНН 10 кВ ПС «Бурная» возможно только в том случае, если тележка выкатного элемента КРУ установлена в ремонтное положение. Шкаф КРУ 10 кВ ПС «Бурная» со стороны отсека выкатного элемента закрывается устройством (замок, задвижка, фиксатор), блокирующим возможность проникновения в отсек, где расположены токоведущие части под напряжением. Шкаф КРУ 10 кВ ПС «Бурная» со стороны отсека выкатного элемента должен быть снабжен плакатом «Стой! Напряжение», непосредственное место выполнения переключения и работ снабжается плакатом «Работать здесь».

Проведение работ на КЛ-10 кВ системы электроснабжения бухты Федорова города Владивосток допускается делать при ремонтном положении тележки выкатного элемента КРУ ПС «Бурная». Шкаф КРУ 10 кВ ПС «Бурная» со стороны отсека выкатного элемента должен быть снабжен плакатом «Не включать! Работа на линии».

Подключение КЛ-10 кВ к линейным ячейкам КРУ в РУНН 10 кВ ПС «Бурная» возможно при наличии устройства блокировки между заземляющими ножами и тележкой выкатного элемента КРУ ПС «Бурная», если тележка выставлена в контрольное положение после момента включения заземляющих ножей. Для случая проведения работ на резервных ячейках КРУ в РУНН 10 кВ ПС «Бурная» не оборудованных устройством блокировки или механизмом установки заземляющих ножей возможно устанавливать тележку выкатного элемента в промежуточное положение, не относящегося к контрольному или ремонтному положению если тележка выкатного элемента фиксируется устройством (замок, задвижка, фиксатор). Наличие заземления на КЛ-10 кВ

системы электроснабжения бухты Федорова города Владивосток при этом не влияет на способ отключения выкатного элемента.

При установке заземлений в шкафу КРУ в РУНН 10 кВ ПС «Бурная» в случае работы на отходящих КЛ-10 кВ соблюдаются основные положения всеми работниками [20].

Перемещать ячейки трансформатора напряжения КРУ в РУНН 10 кВ ПС «Бурная» допустимо под напряжением в случае снятия нагрузки.

Для случая проведения работ на линейных ячейках КРУ в РУНН 10 кВ ПС «Бурная» по пробному включению цепей управления и защиты допускается тележку с выключателем устанавливать в контрольное положение. Обязательным условием допуска к таким работам является отсутствие работ на отходящих КЛ-10 кВ, смежном с ними оборудовании, механизмами, электродвигателями, а также обязательно устраивается заземление в шкафу КРУ.

В РУНН 10 кВ ПС «Бурная», оснащённом вакуумными выключателями ВВ/Тел-10, допускаются испытания дугогасительных камер повышенным напряжением с амплитудным значением более 20 кВ, при этом персонал проводящий испытания должен быть снабжен специальными экранами-поглотителями для защиты от возникающих рентгеновских излучений [20].

Выполнение работ по сооружению и наладке оборудования КТП системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток без отключения питающих КЛ-10 кВ возможно проводить в таком объёме, при котором соблюдаются безопасные расстояния до токоведущих частей КТП, осмотры и ремонты осуществляются стоя на площадке с использованием защитных средств от поражения электрическим током. Выполнение работ, при которых нарушаются безопасные расстояния до токоведущих частей, возможно только после отключения и заземления токоведущих частей напряжением 10 кВ в КТП.

Допуск к работам по сооружению и наладке оборудования КТП системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток независимо от наличия

или отсутствия напряжения на КЛ-10 кВ возможен для работников только после отключения вводных автоматических выключателей напряжением 0,4 кВ, затем линейного разъединителя напряжением 10 кВ и наложения заземления на токоведущие части КТП системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток. Безопасность персонала при работах на КЛ-0,4 кВ и силовых сборках (шкафах, ящиках) РУ-0,4 кВ КТП обеспечивается отключением КЛ-0,4 кВ, с которых возможна подача напряжения в рабочую зону, с питающей стороны, далее устанавливаются заземления на КЛ-0,4 кВ до автоматического выключателя 0,4 кВ, предотвращающее их ошибочное или самопроизвольное включение.

Работы по осмотру силовых трансформаторов 10/0,4 кВ КТП системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток должны выполняться непосредственно с земли или со стационарных лестниц с поручнями.

Работы по отбору газа из газового реле работающего трансформатора 10/0,4 кВ проводятся после того как силовой трансформатор отключен и с него снята нагрузка.

Так как проектируемые КТП системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток комплектуются современным технологичным оборудованием, на которое распространяются гарантийные обязательства завода-изготовителя, то проведение работ с выемкой активной части из бака трансформатора 10/0,4 кВ, демонтаж ярма и магнитопровода и другие работы, приводящие к нарушению целостности конструкции трансформатора запрещены до особого распоряжения главного инженера системы электроснабжения.

Работы по сооружению КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток выполняются только специально подготовленными рабочими и специалистами, в полной мере владеющими технологией производства работ, хорошо знающие пути перемещения, исключающие падение и травмирование во время выполнения работ. Спецдежда работающих должна быть чистой и удобной для передвижения, не

иметь металлических застёжек, защищать тело от перегрева и загрязнения маслом. К работам допускаются работники, имеющие защитную каску, перчатки, резиновые сапоги.

В трансформаторном отсеке КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток к работам можно приступать после того, как будет инструментально установлено, что содержание кислорода в воздухе не менее 20% и отсутствуют загрязняющие элементы в воздухе.

В трансформаторном отсеке КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток выполнение работ осуществляется по наряду с количеством работников минимум 3 человека, работу одного человека контролируют двое из числа бригады. Ответственный производитель работ при этом должен иметь подтверждающие документы на допуск по электробезопасности группы IV.

Переносные светильники напряжением не более 12 В с защитной сеткой и только заводского исполнения, аккумуляторные фонари или светодиодные панели могут использоваться для освещения рабочей зоны в трансформаторном отсеке КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток.

Безопасность работников в трансформаторном отсеке КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток обеспечивается производителем работ, который контролирует общее время пребывания каждого работающего, по итогу проведенных работ для каждого работника время пребывания в трансформаторном отсеке не должно превышать 4 часов в сутки.

Оснащение работников в трансформаторном отсеке КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток средствами индивидуальной защиты и их исправность заносится в специальный журнал учёта с простановкой данных о дате и сроке поверки средств защиты.

11.2 Экологичность

За показатель экологичности проектируемых электрических сетей 10-0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток принимается площадь отводимых земель под размещение объектов электросетевой инфраструктуры. Количественная оценка площади отводимых земель позволит в дальнейшем правильно оценить объём кадастровых работ в отношении землевладельца и организации, оформляющей право собственности или аренды на землю, на которой будут размещены элементы системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток

Площадь земель, отвод которых будет осуществлён в постоянное пользование под использование на них КТП рассчитывается по известной формуле [21] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{ПП} = S_{ТП2} \cdot n_{ТП2}, \quad (123)$$

$$S_{ПП} = 80 \cdot 7 = 560 \text{ м}^2,$$

где $S_{ТП2}$ - площадь земли, отвод которой будет осуществлён в постоянное пользование под КТП 10/0,4 кВ в исполнении на два силовых трансформатора 10/0,4 кВ, [22] 80 м²;

$n_{ТП2}$ - число КТП 10/0,4 кВ в исполнении на два силовых трансформатора, 7 шт.

Проектируемые электрических сетей 10-0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток выполнены кабелями со способом прокладки в земле в траншеях, в таком случае площадь земель, отвод которых будет осуществлён во временное пользование учитывается с шириной полосы земли не более 6 м по трассе КЛ 10-0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток.

Протяженность КЛ 10-0,4 кВ рассчитывается по известной формуле [21] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$L_{\text{КЛ}} = L_{\text{КЛ}10\text{кВ}} + L_{\text{КЛ}0,4\text{кВ}}, \quad (124)$$

$$L_{\text{КЛ}} = 13800 + 4250 = 18050 \text{ м},$$

где $L_{\text{КЛ}10\text{кВ}}$ - суммарная протяженность КЛ 10 кВ по трассе, по расчётам электрических сетей 10 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток составляет 13800 м;

$L_{\text{КЛ}0,4\text{кВ}}$ - суммарная протяженность КЛ 0,4 кВ по трассе, по расчётам электрических сетей 0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток составляет 4250 м.

Площадь земель, отвод которых будет осуществлён во временное пользование под сооружение КЛ 10-0,4 кВ рассчитывается по известной формуле [21] на основании найденных вводных данных, которые подставляются в формулу для данного расчётного случая:

$$S_{\text{КЛ}} = L_{\text{КЛ}} \cdot L_{\text{полосы}}, \quad (125)$$

$$S_{\text{КЛ}} = 18050 \cdot 6 = 108300 \text{ м}^2,$$

где $L_{\text{полосы}}$ - ширина полосы земли, по [22] 6 м.

Площадь земли во временном пользовании после сооружения КЛ 10-0,4 кВ может быть выведена из кадастрового учёта земель, находящихся во временном пользовании.

После проводимых расчётов количественно была оценена величина площади отвода земли в постоянное пользование под сооружение КТП 10/0,4

кВ электрических сетей 10-0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток - 560 м². Величина площади отвода земли во временное пользование под сооружение КЛ 10-0,4 кВ электрических сетей 10-0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток - 108300 м².

11.3 Чрезвычайные ситуации

Пожар в системе электроснабжения 10-0,4 кВ может возникнуть при аварийных режимах работы оборудования или в результате ошибочных действий персонала при обслуживании системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток.

Меры пожарной безопасности должны соблюдаться в соответствии с [23].

При возникновении пожара персоналом системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток для прибывающих подразделений пожарной охраны выдается письменный допуск на тушение энергетического оборудования, находящегося под напряжением до 0,4 кВ.

Оборудование КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток, находящееся под напряжением 10 кВ, перед допуском подразделений пожарной охраны к тушению пожара должно быть обесточено и заземлено.

Персонал системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток, при возникновении пожара на оборудовании, находящегося под напряжением до 0,4 кВ и которое не может быть обесточено, должен руководствоваться утвержденным и согласованным с ответственными за пожарную безопасность лицами планом по тушению пожара в таких электроустановках.

При возникновении пожара на оборудовании, находящегося под напряжением до 0,4 кВ тушение возгорания выполняется распыленными струями воды с расстояния не менее 5 м, стволы подачи воды должны быть заземлены. Использование для цели ликвидации пожара на оборудовании, находящегося под напряжением до 0,4 кВ компактных струй воды запрещено.

Оборудование КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток при возгорании допускается тушить воздушно-механической пеной с объемным заполнением помещения, для этого необходимо соблюдать требования к креплению пеногенераторов и системе их заземления, заземления насосов водоподачи передвижных пожарных устройств.

Оборудование КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток при возгорании допускается тушить распыленными струями воды личным составом пожарной охраны, который обеспечен в полной мере средствами пожаротушения, диэлектрическими перчатками и ботами. Пожарный ствол и насос передвижных пожарных устройств заземляются от специально оборудованного и исправного заземлителя. Безопасное расстояние до электроустановок, на которых ликвидируется возгорание и близко расположенных электроустановках определяется требованиями правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [24].

При возникновении пожара на оборудовании, находящегося под напряжением до 0,4 кВ тушение возгорания выполняется личным составом пожарной охраны, отключения и прочие операции с электрооборудованием самовольные и не согласованные с дежурным персоналом системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток запрещены.

Заметивший возгорание персонал системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток и личный состав пожарной охраны не допускается к тушению пожара в сильно задымленных помещениях с видимостью менее 5 м вне зависимости от наличия защитных средств.

При возникновении пожара на оборудовании, находящегося под напряжением до 0,4 кВ тушение возгорания выполняется личным составом пожарной охраны выполняется опреснённой водопроводной водой или водой без пенообразователей, смачивателей и солей.

Не реже одного раза в год персонал системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток и личный состав пожарной охраны проходят целевые инструктажи и участвуют в совместных тренировках по тушению

условного возгорания на выведенном в ремонт оборудовании с обязательной проработкой действий по тушению пожара как на обесточенном оборудовании, так и на оставшемся под напряжением. По результату проведения тренировок составляется карта тушения пожара с указанием замечаний к участвующим в тренировке работникам.

При выполнении развертывания по прибытии на возгорание оборудования КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток личный состав пожарной охраны в зависимости от очага возгорания самостоятельно организует расстановку сил и средств в зависимости от фактического состояния и темпов развития пожара, персонал системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток обеспечивает маршруты движения к очагу горения и места заземления стволов

Личный состав пожарной охраны по прибытии на возгорание оборудования КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова выполняет действия по заземлению ручного пожарного ствола, осуществляет его подключение с помощью специальных зажимов и провода к заземляющему устройству КТП 10/0,4 кВ в обозначенном месте. Далее осуществляется устройство рукавной линии от пожарного устройства подачи воды до позиции ствольщика. Устройства подачи воды заземляются с помощью специальных зажимов и провода к заземляющему устройству КТП 10/0,4 кВ в обозначенном месте к стационарному контуру.

После ликвидации горения оборудования КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток личным составом пожарной охраны огнетушащие средства в зону горения не подаются. Демонтируются зажимы от контура заземления и заземляющих устройств КТП 10/0,4 кВ. Личный состав пожарной охраны по безопасному маршруту отходит с позиции тушения пожара.

Осмотр личного состава пожарной охраны после ликвидации возгорания оборудования КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток осуществляется на месте начальствующим командиром,

после того, как определено, что отсутствует угроза здоровью личного состава разрешается покинуть место возгорания.

Ответственные работники пожарной охраны и персонала системы электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток согласуют процесс подписания акта о расследовании причин возгорания в установленном порядке с созданием комиссии, участвуют в работе комиссии и соблюдают установленные сроки расследования причин возгорания. По результатам расследования разрабатываются меры и указания на недопущение повторных происшествий в системе электроснабжения бухты Фёдорова города Владивосток [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы достигнута её цель по осуществлению расчётов системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ в районе бухты Фёдорова города Владивосток.

Выполнены все этапы намеченных расчётов, найдены нагрузки в сети 10-0,4 кВ, выбрано и проверено оборудования ТП 10/0,4 кВ и центра питания сетей 10 кВ, выполнена проверка по стойкости к токам КЗ оборудования 0,4-10 кВ, проведен расчёт чувствительности и выбор уставок средств РЗА, выполнен расчёт заземления ТП, приведены меры безопасности при эксплуатации сети 0,4-10 кВ, рассчитана площадь отвода земель под систему электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ в районе бухты Фёдорова города Владивосток, указаны меры пожарной безопасности при возникновении пожара в системе электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ.

В качестве номинального напряжения распределительных сетей системы электроснабжения в районе бухты Фёдорова города Владивосток приняты уровни 10-0,4 кВ в качестве приоритетных при проектировании новых сетей.

Практическая применимость результатов разработки темы выпускной квалификационной работы может быть реализована для выполнения системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ в районе бухты Фёдорова города Владивосток, так как в выпускной квалификационной работе получен достаточный объем расчётных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.385-94.
2. Официальный сайт Правительства Приморского края [Электронный ресурс]. – URL: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/departament-proektov/pilotnye-proekty-dlya-aprobatsii-proektnogo-upravleniya/territorii-operezhayushchego-razvitiya.php> (дата обращения: 15.04.2023).
3. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 326
4. Эксплуатация систем электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140211 - Электроснабжение / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Г. Ротачева, Д. Н. Панькова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 156 с.
5. Электроснабжение объектов [Текст] : учеб. пособие для СПО / Е. А. Конюхова. - 9-е изд., испр. - М. : Академия, 2013. - 320 с. : рис., табл. - (Среднее проф. образование. Электротехника). - Библиогр. : с. 311
6. Судаков, Г. В. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учеб. пособие: учеб.-метод. комплекс для спец. 140204, 140205, 140203 / Г. В. Судаков, Т. Ю. Ильченко, Н. С. Бодруг ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 364 с. - Б. ц
7. Кужеков, С. Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 4-е изд., доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. - 493 с. : рис., табл. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480.
8. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014 - ., Ч. 1. - 2014. - 106 с.

Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7123.pdf
(дата обращения: 10.04.2023).

9. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : сб.-учеб. метод. материалов для направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост.: Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 182 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9662.pdf (дата обращения: 10.04.2023).

10. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : метод. указания к курс. проектированию для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Ю. В. Мясоедов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 100 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7475.pdf (дата обращения: 10.04.2023).

11. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Г. В. Коробов, В. В. Картавец, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2014. - 192 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 154

12. Мясоедов, Ю. В. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf (дата обращения: 10.04.2023).

13. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей : справочник / Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

14. Савина Н. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс дисц. для спец. 140211.65 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. В. Савина . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 124 с. – Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6056.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

15. Савина Н. В. Техника высоких напряжений. Грозовые перенапряжения и защита от них [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 191 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7361.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

16. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введён 2014-07-01. – М. : Изд-во Стандартиформ. – 2014.

17. Козлов А. Н. Диагностика электрооборудования высокого напряжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Козлов ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 44 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6925.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

18. Ротачева А. Г. Проектирование устройств релейной защиты [Электронный ресурс] : метод. указ. для самостоят. работы студентов: учеб. пособие / А. Г. Ротачева ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 28 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7050.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

19. Официальный сайт АО «ДРСК» - Тариф покупки потерь электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.drsk.ru/> (дата обращения: 10.05.2023).

20. Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп

энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.

21. Приказ Министерства труда и социальной защиты российской федерации от 15 декабря 2020 года N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

22. Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Б. Булгаков ; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2020. - 90 с.

23. Норма отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 – 750 кВ № 14278 ТМ – Т1.

24. Правила устройства электроустановок/Министерство энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2012. – 648 с.

25. РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий" (утв. РАО "ЕЭС России" 09.03.2000

26. Постановление Правительства российской федерации от 16 сентября 2020 года N 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» (с изменениями на 21 мая 2021 года)

27. Электроэнергетические системы и электрооборудование: Ч. 2 [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисц. для спец. 140106.65 - "Энергообеспечение предприятий" / АмГУ, Эн. ф ; сост. Ю. В. Мясоедов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 218 с. - Б. ц.

28. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисц. для спец. 140211.65 "Энергоснабжение" / АмГУ, Эн. ф ; сост. Ю. В. Мясоедов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - Б. ц.

29. Ротачева А. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики [Электронный ресурс] : метод. указания по курсовому проектированию для направления 13.03.02 / А. Г. Ротачева, А. Н. Козлов, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 93 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/4322.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

30. Козлов А. Н. Релейная защита и автоматика электрических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / сост. А. Н. Козлов, В. А. Козлов, Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн. ф. - 4-е изд., испр. . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 160 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9689.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

31. Киреева Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) [Текст] / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев. - 2-е изд., стер. - Москва : КНОРУС, 2013. - 864 с. : табл. - Библиогр.: с. 860-862.