

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
« ____ » _____ 20 ____ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ многофункционального комплекса «Маленькая Венеция» в городе Благовещенск

Исполнитель
студент группы 742-узб

подпись, дата

В.А. Рябов

Руководитель
доцент

подпись, дата

А.Г. Ротачева

Консультант по
безопасности и
экологичности
доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2021

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

« _____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента В.А. Рябов

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ многофункционального комплекса «Маленькая Венеция» в городе Благовещенск

(утверждена приказом от 19.05.2021г. №575-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: план застройки города Благовещенск, однолинейная схема ПС ПРП, контрольный замер в Амурских электрических сетях за 2020 год.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): климатическая и географическая характеристика, проектирование низковольтной сети, расчет электрических нагрузок в сети высокого напряжения, выбор оборудования 10 кВ подстанции ПРП, компенсация емкостных токов, расчёт надёжности сети 10 кВ, релейная защита и автоматика, заземление трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план района застройки Маленькая Венеция и сети 0,4 кВ, защита кабельной линии 10 кВ на базе блоков Сириус-2Л, варианты подключения комплекса Маленькая Венеция к сети 10 кВ, однолинейная схема КТП-1 кВ и схема подключения потребителей по 0,4 кВ, однолинейная схема сети 10 кВ, план КТП-1, однолинейная схема подстанции ПРП 35/10 кВ.

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

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель выпускной квалификационной работы: _____

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 110 с, 16 рисунков, 35 таблиц, 1 приложение, 33 источника.

КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА, ПЕТЛЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ДВУХЛУЧЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КОМПЛЕКТНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА.

В качестве объекта исследования в данной выпускной квалификационной работе устанавливается система электроснабжения города Благовещенск в районе подстанции ПРП. Так как по близости от подстанции ПРП проводится строительство крупного многофункционального комплекса «Маленькая Венеция», то целью работы является разработка системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ многофункционального комплекса «Маленькая Венеция» в городе Благовещенск. Результаты проведенных технических и экономических расчётов охватывают различные комплексы электроэнергетических знаний и навыков, среди которых расчёт электрических нагрузок от низшего напряжения к высшему, расчёт токов короткого замыкания в сети высокого и низкого напряжения, выбор современного оборудования и аппаратов защиты разрабатываемых сетей 10-0,4 кВ, оценка надёжности сетей 10 кВ, безопасность и экологичность при проведении работ по устройству и обслуживанию проектируемых сетей 10-0,4 кВ многофункционального комплекса «Маленькая Венеция» в городе Благовещенск.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение.....	7
1 Климатическая и географическая характеристика	9
1.1 Географическая характеристика	9
1.2 Характеристика застройки.....	9
1.3 Климатическая характеристика.....	11
1.4 Возможность подключения потребителей.....	12
2 Проектирование низковольтной сети	13
2.1 Расчёт электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей	13
2.2 Расчёт осветительной нагрузки	17
2.3 Выбор сечений линий распределительной сети 0,4 кВ	18
2.4 Потери мощности и напряжения в сетях 0,4 кВ.....	20
2.5 Расчет электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ	23
2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов 10/0,4 кВ.....	25
2.7 Расчёт токов короткого замыкания.....	27
2.8 Выбор автоматических выключателей	31
2.9 Выбор предохранителей для защиты линий 0,4 кВ	33
3 Расчет электрических нагрузок в сети высокого напряжения	37
3.1 Приведенная нагрузка 10 кВ	37
3.2 Выбор сечения распределительных линий 10 кВ.....	38
3.3 Потери напряжения и мощности в сети 10 кВ.....	41
3.4 Выбор оптимального варианта сети 10 кВ.....	43
3.5 Компенсация реактивной мощности	44
3.6 Расчёт токов короткого замыкания.....	45
3.7 Проверка кабельных линий 10 кВ на воздействие токов короткого замыкания	48
4 Выбор оборудования 10 кВ подстанции ПРП.....	52
4.1 Выбор комплектных распределительных устройств	52

4.2 Выбор выключателей	55
4.3 Выбор трансформаторов тока	58
4.4 Выбор трансформатора напряжения	62
4.5 Выбор жестких шин.....	64
4.6 Выбор предохранителей трансформаторов напряжения.....	67
4.7 Выбор ограничителей перенапряжения	68
4.8 Выбор выключателей нагрузки 10 кВ	71
5 Компенсация емкостных токов.....	73
6 Расчёт надёжности сети 10 кВ	74
7 Релейная защита и автоматика.....	82
7.1 Токовая отсечка без выдержки времени	82
7.2 Максимальная токовая защита линий	84
7.3 Защита от однофазных замыканий на землю	86
7.4 Устройства автоматического включения резерва	87
8 Заземление трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ	89
9 Безопасность и экологичность	93
9.1 Безопасность.....	93
9.2 Экологичность.....	98
9.2.1 Отвод земель под электрические сети	98
9.2.2 Устройство маслоприёмника	100
9.3 Чрезвычайные ситуации	103
Заключение	107
Библиографический список	108
Приложение	111

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;

ВЛ – воздушная линия;

КЗ – короткое замыкание;

КЛ – кабельная линия;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ПО – программное обеспечение;

ПС – подстанция;

ПЭВМ – персональная электронная вычислительная машина;

РП – распределительный пункт;

СПЭ – сшитый полиэтилен;

ТО – токовая отсечка;

ТП – трансформаторная подстанция;

ЭП – электрический приемник.

ВВЕДЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе выполнена система электроснабжения района г. Благовещенск, [1].

Необходимость в проектировании возникла ввиду того, что темпы градостроительства в городе постоянно растут. Суть проектирования системы электроснабжения заключается в следующем:

- проектирование надежной связи с энергосистемой;
- проектирование и обоснование экономически целесообразной и технически оптимальной системы электроснабжения;
- выбор надежной аппаратуры и электрооборудования;
- выбор надежной защиты энергосистемы;
- проектирование надежного управления энергосистемой.

Используя последние справочные данные по расчётам нагрузок коммунально-бытовых, промышленных потребителей, осветительных нагрузок, выбираем необходимое количество и мощность комплектных трансформаторных подстанций, трансформаторов главной понизительной подстанции, проводится расчёт элементов системы электроснабжения. А именно, выбирается и проверяется коммутационно-защитная аппаратура, сечения и марки проводов линий электропередач.

Связь с энергосистемой осуществляется по ВЛ 35 кВ, а распределительные сети внутри города выполняются напряжением 10 кВ и 0,4 кВ. Сети внутри района 0,4 и 10 кВ выполняем кабелями.

Комплектные трансформаторные подстанции с необходимым оборудованием будут поставляться по заказу.

В данной выпускной квалификационной работе представлены расчёты экономической эффективности и безопасности жизнедеятельности, где рассматриваются задачи организации труда, стоимость электрооборудования и электромонтажных работ, вопросы охраны труда работников, безопасных методов производства электромонтажных работ. Все элементы системы электроснабжения

микрорайона и электрической сети должны соответствовать требованиям электробезопасности.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения строящегося района «Маленькая венеция», предусматривающего наличие домов большой этажности (свыше 5 этажей).

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Определение расчётных нагрузок зданий и питающих линий по РД для городских сетей;
2. Расчёт токов КЗ и проверка выбранных аппаратов
3. Нахождение показателей надёжности схемы 10 кВ;
4. Выбор уставок срабатывания релейной защиты;
5. Расчёт капиталовложений в проектируемую сеть и их окупаемости
6. Рассмотрение вопросов безопасности и экологичности проекта.

Пути решения задач включают использование специальных источников, ПЭВМ для расчёта, современного оборудования для проектируемых сетей.

Ожидаемая эффективность проекта должна составить срок окупаемости вложений в сооружение сетей в пределах 5-8 лет. Срок службы оборудования – 20 лет, надёжность сетей в течении данного срока должна быть обеспечена.

В процессе разработки выпускной квалификационной работы широко использовалась ПЭВМ с лицензионным ПО серии Microsoft Office-2014, приложение Mathtype 5.0, ПО серии Mathcad-2014. Поскольку, реальные объёмы вычислений значительно превышают те, что отражены в данной пояснительной записке, некоторые числовые значения и утверждения могут появиться без расчётов.

1 КЛИМАТИЧЕСКАЯ И ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.1 Географическая характеристика

Город Благовещенск является административным центром Амурской области, единым муниципальным, экономическим, социальным, административным и территориальным образованием. Расположен на юге Амурской области в 109 км от Транссибирской магистрали. Находится в 7985 км к востоку от Москвы, граничит с районом Айхуэй китайского городского округа Хэйхэ. Город Благовещенск и городской округ Хэйхэ разделяет река Амур, ширина которой в этой местности около 800 метров. Между Благовещенском и Хэйхэ действует безвизовый режим.

В настоящее время город протянулся на 8 км вдоль Амура, вдоль Зеи — на 13 км. Рельеф города в основном равнинный, на окраинах есть небольшие возвышенности.

1.2 Характеристика застройки

В качестве инвестиционного агента выступает китайская строительная компания «Хуафу». По заявке на проектную декларацию застройка является масштабным туристско-рекреационным комплексом. В единый комплекс включены три гостиницы, выставочные, демонстрационные, концертный и кинозалы, бассейны, спортплощадки, спортивный зал, парковая зона с фонтанами, детские аттракционы, девять торговых центров, кафе, рестораны, закусочные и объекты бытового обслуживания. Планируется построить бизнес-центры, автостоянку на 1,5 тысячи мест. Для создания итальянского колорита соорудят каналы и переходные мосты.

Район застройки обозначен на рисунке 1 и территориально занимает квартал на пересечении улиц Калинина – Магистральная и представляет собой огороженную территорию.

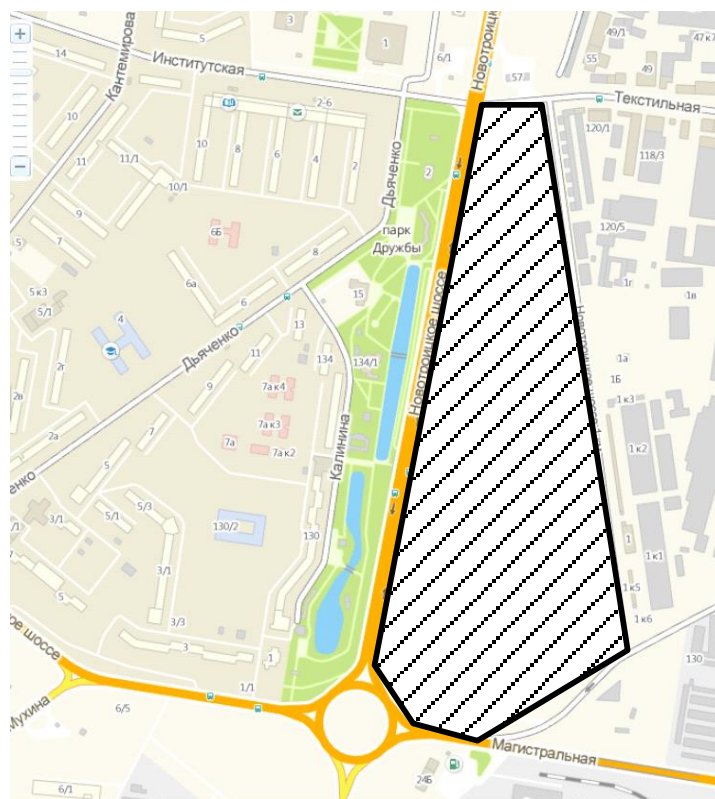


Рисунок 1 – Расположение района застройки «Маленькая Венеция» во 2-м микрорайоне города

На рисунке 2 показан вид района застройки «Маленькая Венеция» при полном завершении строительства.

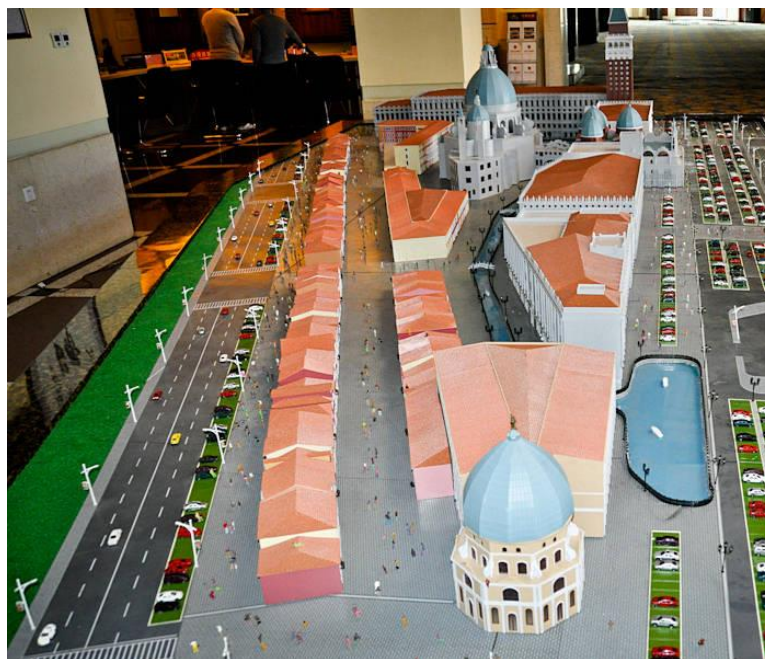


Рисунок 2 – Планируемая застройка района «Маленькая Венеция»

Проектируемый район располагается в северной части города Благовещенска. Основу нагрузок выбранного района составляет общественно-коммунальная нагрузка. Присутствуют объекты торговли, рекреации, гостиничные потребители и административные здания 1-2 этажей. По категории надёжности электроснабжения преобладают потребители II и III категории.

Перечень потребителей, которых требуется подключить к системе электроснабжения 0,4-10 кВ города Благовещенск сформирован в виде таблицы 1 с указанием наименования объекта, их количества и номера на листе графической части выпускной квалификационной работы.

Таблица 1 – Возводимые объекты района застройки «Маленькая венеция»

Объект	№ на листе	Кол-во объектов
ТЦ "Перекрёсток"	1	1
автостоянка	2	1
кинотеатр	3	1
гостиница	4	1
торговый центр	5	1
торговый центр	6	1
торговый центр	7	1
выставочный зал	8	1
демонстрационный зал	9	1
гостиница	10	1
торговый центр	11,27	1
торговый центр	12	1
гостиница	13	1
торговый центр	14-16	3
кафе	17-21	5
офисное помещение	22-26	5

1.3 Климатическая характеристика

Климатическая характеристика города Благовещенск заключается в анализе климата, температур, ветровых нагрузок, снеговых нагрузок. Для города Благовещенск характерен резко-континентальный климат с муссонными чертами, что выражается в больших годовых (45-50°) и суточных (до 20°) колебаниях температур воздуха и резком преобладании летних осадков. Лето жаркое, дождливое, но со значительным количеством солнечного сияния. Зима холодная,

сухая, с маломощным снежным покровом [1]. Температурный рекорд был зафиксирован 25 июня 2010 года, когда температура воздуха в городе поднялась до отметки +39,4 °С. Среднегодовая температура — +1,2 °С, среднегодовая влажность воздуха — 67 %, среднегодовая скорость ветра — 2,0 м/с.

1.4 Возможность подключения потребителей

В качестве источников питания для проектируемого района застройки «Маленькая Венеция» города Благовещенск допустимо рассматривать ПС Новая 110/10 кВ, удаленную на 4 км по прямой, ПС Северная 110/10 кВ, удаленную на 10 км по прямой, ПС ПРП 35/10 кВ, удаленную на 3 км по прямой. Для всех ПС имеется возможность использовать линейные КРУ для подключения кабелей электроснабжения 10 кВ.

Подключение района целесообразно осуществить от ПС «ПРП» 35/10 кВ, так как она ближе всего к району застройки и реконструирована.

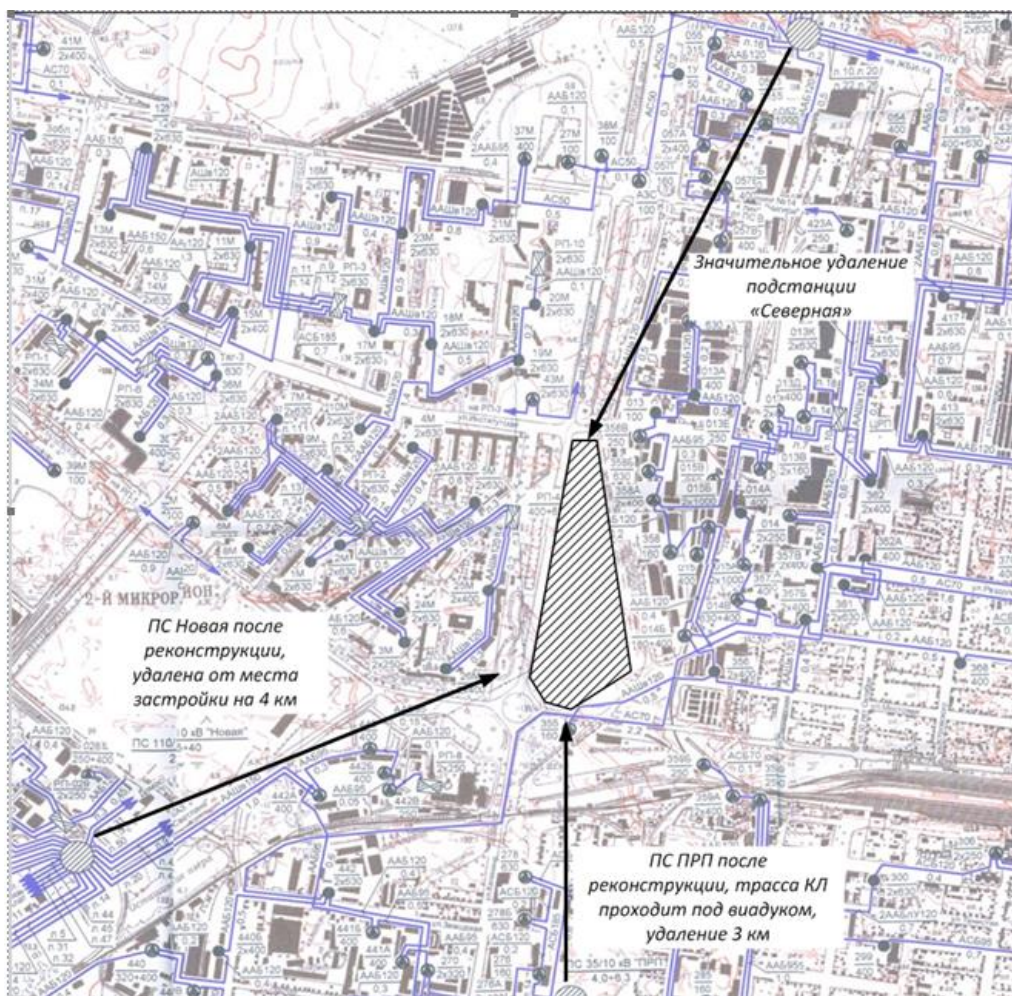


Рисунок 3 – Варианты подключения комплекса «Маленькая Венеция»

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ

2.1 Расчёт электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей

Для проектируемого района застройки «Маленькая Венеция» города Благовещенск требуется рассчитать расчётную нагрузку гостиницы, офисных зданий, предприятий торговли.

Экспликация района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» сформирована в виде таблицы 2 с указанием наименования объекта, их количества, описывающих данных и номера на листе графической части выпускной квалификационной работы.

Таблица 2 – Экспликация потребителей 0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция»

Объект	№ на листе	N	Основная нагрузка		
			у.е.	кол-во уд ед. осн ЭП	P на у. е.
ТЦ "Перекрёсток"	1	1	м ²	2000	0,25
автостоянка	2	1	м ²	2000	0,054
кинотеатр	3	1	м ²	4000	0,14
гостиница	4	1	мест	700	0,46
торговый центр	5	1	м ²	4000	0,16
торговый центр	6	1	м ²	4000	0,16
торговый центр	7	1	м ²	4000	0,16
выставочный зал	8	1	м ²	2000	0,14
демонстрационный зал	9	1	м ²	3000	0,14
гостиница	10	1	мест	500	0,46
торговый центр	11,27	1	м ²	2000	0,25
торговый центр	12	1	м ²	1500	0,25
гостиница	13	1	мест	300	0,46
торговый центр	14-16	3	м ²	500	0,25
кафе	17-21	5	мест	100	1,04
офисное помещение	22-26	5	м ²	500	0,054

Для примера рассчитаем электрическую нагрузку гостиницы №10, со встроенным рестораном. Гостиница на 500 мест, встроенный ресторан на 200 мест.

Электротехнический расчёт активной нагрузки потребителей 0,4 кВ гостиницы района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

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

$$P_{\text{гост.}} = 0,46 \cdot 500 = 230 \text{ кВт.}$$

где $P_{\text{гост.уд}}$ – удельная нагрузка гостиницы с учётом нагрузки кондиционирования воздуха, 0,46 кВт/мест [3].

Электротехнический расчёт активной нагрузки потребителей 0,4 кВ ресторана района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$P_{\text{рест}} = P_{\text{уд.}} \cdot S \cdot k_{\text{уч}}; \quad (2)$$

$$P_{\text{рест}} = 0,86 \cdot 200 \cdot 0,7 = 120,4 \text{ кВт}$$

где $k_{\text{уч}}$ – коэффициент участия в максимуме нагрузки $k_{\text{уч}} = 0,7$ [3];

$P_{\text{уд}}$ – удельная нагрузка ресторана, 0,86 кВт/м² [3].

Электротехнический расчёт активной нагрузки потребителей 0,4 кВ совместного подключенных к одному вводу района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$P_{\text{сумм}} = P_{\text{гост}} + P_{\text{рест}}; \quad (3)$$

$$P_{\text{сумм}} = 230 + 120,4 = 350,4 \text{ кВт.}$$

Электротехнический расчёт реактивной нагрузки потребителей 0,4 кВ совместного подключения к одному вводу района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$Q_{\text{сумм}} = P_{\text{сумм}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (4)$$

$$Q_{\text{сумм}} = 350,4 \cdot 0,48 = 161 \text{ кВар,}$$

где $\text{tg}\varphi$ - коэффициент мощности по справочным данным [3], 0,48.

Электротехнический расчёт полной нагрузки потребителей 0,4 кВ совместного подключения к одному вводу района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$S_{\text{сумм}} = \sqrt{P_{\text{сумм}}^2 + Q_{\text{сумм}}^2}; \quad (5)$$

$$S_{\text{жыл.дом}} = \sqrt{350,4^2 + 161^2} = 386 \text{ кВА.}$$

Электротехнический расчёт тока потребителей 0,4 кВ совместного подключения к одному вводу района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$I_p = \frac{S_{\text{р.ж.д}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_{\text{ц}}}, \quad (6)$$

$$I_{\text{сост}} = \frac{386}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 302 \text{ А.}$$

Электротехнические расчёты потребителей 0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим объектам района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов потребителей 0,4 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 3 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 3 –Расчётная нагрузка потребителей 0,4 кВ

Объект	№ на листе	Встроен. ЭП					Расчётная нагрузка на вводе		
		Встроен. ЭП	Удельн. Ед. встроен. ЭП	кол-во уд ед. встроен. ЭП	Мощность на у. е.	Ку встроено. ЭП	Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТЦ "Перекрёсток"	1	магазин непрод-ый	м ²	1000	0,16	0,8	628	288,5	691
автостоянка	2						108	63,9	126
кинотеатр	3	магазин непрод-ый	м ²	1000	0,16	0,8	688	281,1	743
гостиница	4	офисные помещения	м ²	500	0,054	0,7	340,9	194,8	393
торговый центр	5						640	294,1	704
торговый центр	6	офисные помещения	м ²	500	0,054	0,8	661,6	304,0	728
торговый центр	7						640	294,1	704
выставочный зал	8						280	114,4	302
демонстрационный зал	9						420	171,6	454
гостиница	10	ресторан	мест	200	0,86	0,7	350,4	161,0	386
торговый центр	11,27	магазин непрод-ый	м ²	500	0,16	0,8	564	259,1	621

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
торговый центр	12	магазин непрод- ый	м ²	500	0,16	0,8	439	201,7	483
гостиница	13	кафе	мест	50	1,04	0,7	174,4	80,1	192
торговый центр	14-16	магазин непрод- ый	м ²	100	0,16	0,8	137,8	63,3	152
кафе	17-21						104	20,9	106
офисное поме- щение	22-26						27	14,3	31

2.2 Расчёт осветительной нагрузки

Электротехнический упрощенный расчёт освещения дорог и проездов района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле по ТП-1:

$$P_{освещ} = P_{уд} \cdot l, \quad (7)$$

$$P_{освещ} = 0,4 \cdot 12 = 4,8 \text{ кВт}$$

где $P_{уд}$ – значение удельной осветительной нагрузки, 12 кВт/км;

l – длина проезжей части, км.

Электротехнические расчёты освещения района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов упрощенных электротехнических расчётов освещения района застройки города Благовещенск сформирована таблица 4 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 4 –Нагрузки освещения

ТП	$L_{тер}, км$	$P_{осв уд}, кВт/км$	$P_{осв}, кВт$
ТП-1	0,4	12	4,8
ТП-2	0,65	12	7,8
ТП-3	0,65	12	7,8
ТП-4	0,7	12	8,4
ТП-5	0,45	12	5,4
ТП-6	0,40	12	4,8

2.3 Выбор сечений линий распределительной сети 0.4 кВ

Электроснабжение района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняется кабельными линиями электропередачи, прокладка которых осуществляется в траншеях по территории застройки и блоках в местах прокладки трассы КЛ через автомобильные дороги.

Для кабельных линий района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» использованы кабели марки АВВГ, рисунок 4.

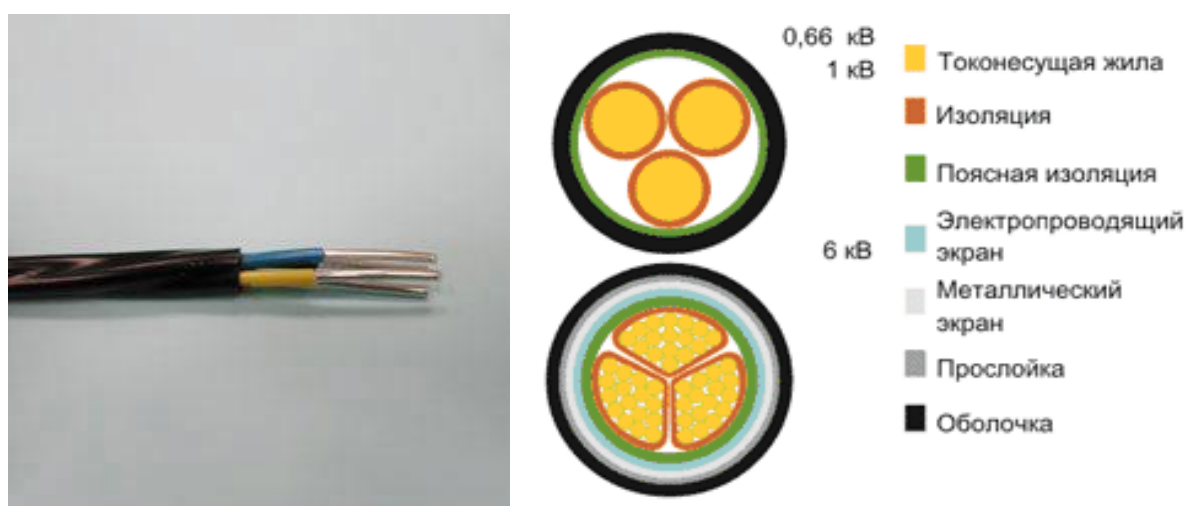


Рисунок 4 – Кабель АВВГ

Кабели марки АВВГ конструктивно состоят из токопроводящей жилы из алюминия, изоляции из поливинилхлоридного пластиката, поверх скрученных изолированных жил наложена лента из полиэтилентерефталатной пленки или

поливинилхлоридного пластика, оболочка из поливинилхлоридного пластика.

Электротехнический расчёт по выбору сечения кабеля района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для участка ТП-1- 10:

$$I_p \leq I_{доп} \cdot K_{темп} \cdot K_{прокл}; \quad (8)$$

$$302 \leq 491 \cdot 0,9 \cdot 1,15;$$

$$302 \text{ А} \leq 508 \text{ А};$$

где $I_{доп}$ – длительно допустимый ток по нормальному режиму работы и загрузки кабеля 0,4 кВ, для АВВГ 4х240 величина составляет 491 А, [10];

$K_{темп}$ – температурный коэффициент при прокладке кабеля по территории города Благовещенск, 0,9;

$K_{прокл}$ - прокладочный коэффициент при прокладке двухцепного кабеля по территории города Благовещенск, 1,15.

По результату расчёта целесообразно КЛ 0,4 кВ ТП-1- 10 выполнить двухцепной кабелем АВВГ 4х240.

Электротехнические расчёты нагрузки КЛ-0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим КЛ-0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов нагрузки КЛ-0,4 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 5 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 5–Параметры линий 0,4 кВ

Наименование потребителей	линия	$P_{зд макс}$, кВт	$Q_{зд макс}$, кВар	$P_{зд i}$, кВт	$Q_{зд i}$, кВар	Ky	$P_{прив л}$, кВт	$Q_{прив л}$, кВАр	$S_{прив л}$, кВА	$I_{расч}$, А	$I_{доп}$, А
ТП-1											
1	ф-1	628,0	288,5				726,2	306,5	788,3	285	293
4	ф-2	340,9	194,8				366,0	200,6	417,4	302	339
5	ф-3	640,0	294,1				744,8	331,0	815,0	294	443
ТП-2											
2	ф-1	108,0	63,94				112,4	64,5	129,6	94	242
3	ф-2	688,0	281,12				795,7	312,0	854,7	309	385
6	ф-3	661,6	303,98				765,0	333,6	834,6	301	385
20,21,23,25	ф-4	104,0	20,91	158,00	49,45	0,80	248,8	65,8	257,4	186	385
ТП-3											
7	ф-1	640,00	294,06				801,8	331,3	867,6	313	339
8	ф-2	280,00	114,41				305,6	117,9	327,5	237	242
9	ф-3	420,00	171,61				446,8	179,3	481,4	348	385
16,24	ф-4	137,80	63,31	27,00	14,27	0,70	168,9	76,1	185,3	134	339
ТП-4											
27	ф-1	564,00	259,14				722,4	288,1	777,8	281	293
15,18	ф-2	137,80	63,31	104,00	20,91	0,70	245,8	82,8	259,4	187	242
19,23	ф-3	104,00	20,91	27,00	14,27	0,80	137,3	33,9	141,5	102	242
ТП-5											
10	ф-1	350,40	161,00				380,4	174,2	418,4	302	508
11	ф-2	564,00	259,14				595,1	272,9	654,6	473	508
12	ф-3	439,00	201,71				469,3	210,4	514,3	372	385
ТП-6											
13	ф-1	174,40	80,13				189,8	82,2	206,9	149	242
14,17,22	ф-2	137,80	63,31	131,00	35,18	0,80	264,4	97,7	281,9	204	385

2.4 Потери мощности и напряжения в сетях 0,4 кВ

Электротехнический расчёт потерь мощности в КЛ-0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для участка ТП-1- 10:

$$\Delta P = 3 \cdot \frac{(P_{пл})^2 + (Q_{пл})^2}{(U_{ном})^2} \cdot R_0 \cdot L \cdot 10^{-3}; \quad (9)$$

$$\Delta P = 3 \cdot \frac{(350,4)^2 + (161)^2}{(0,4)^2} \cdot 0,129 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 30 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q = 3 \cdot \frac{(P_{p.l})^2 + (Q_{p.l})^2}{(U_{ном})^2} \cdot X_0 \cdot L \cdot 10^{-3};$$

$$\Delta Q = 3 \cdot \frac{(350,4)^2 + (161)^2}{(0,4)^2} \cdot 0,057 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 13,2 \text{ кВар};$$

где $P_{p.l}$, $Q_{p.l}$ – полученная ранее величина нагрузки участка КЛ-0,4 кВ, кВт, кВар;

R_0 , X_0 – удельное активное и реактивное сопротивление участка Ом/км;

L – длина участка, км;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, 0,4 кВ.

Электротехнический расчёт потерь напряжения по КЛ-0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для участка ТП-1- 10:

$$\Delta U = \frac{I \cdot L \cdot \sqrt{3}}{U_{ном}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% \quad (10)$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 302 \cdot 0,25}{400} \cdot (0,25 \cdot 0,9 + 0,057 \cdot 0,44) \cdot 100\% = 4,8\%$$

где I – рабочий максимальный ток, А;

L – длина линии в км;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, 0,4 кВ;

r_0 и x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивление Ом/км.

Электротехнические расчёты потерь мощности и напряжения по КЛ-0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим КЛ-0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов потерь мощности и напряжения КЛ-0,4 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 6 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 6 – Потери напряжения и мощности в сетях 0,4 кВ

Наим.	ли- ния	$\Delta P_{л,}$ кВт	$\Delta Q_{л,}$ кВАр	$P_{прив л,}$ кВт	$Q_{прив л,}$ кВАр	$S_{прив л,}$ кВА	$I_{расч}$, А	L, км	cos φ	R, Ом/к м	X, Ом/к м	ΔU , %
ТП-1												
1	ф-1	98	18,0	726,2	306,5	788,3	285	0,10	0,90	0,329	0,060	4,2
4	ф-2	25	5,8	366,0	200,6	417,4	302	0,10	0,85	0,261	0,060	3,5
5	ф-3	105	37,0	744,8	331,0	815,0	294	0,20	0,90	0,169	0,060	4,8
ТП-2												
2	ф-1	4	0,6	112,4	64,5	129,6	94	0,10	0,84	0,447	0,061	1,7
3	ф-2	108	30,9	795,7	312,0	854,7	309	0,15	0,92	0,208	0,060	4,5
6	ф-3	103	29,6	765,0	333,6	834,6	301	0,15	0,90	0,208	0,060	4,4
20,21,23, 25	ф-4	18	5,3	248,8	65,8	257,4	186	0,25	0,98	0,208	0,060	4,6
ТП-3												
7	ф-1	162	37,2	801,8	331,3	867,6	313	0,2	0,90	0,261	0,060	3,7
8	ф-2	26	3,5	305,6	117,9	327,5	237	0,1	0,92	0,447	0,061	2,3
9	ф-3	27	7,7	446,8	179,3	481,4	348	0,1	0,92	0,208	0,060	1,7
16,24	ф-4	12	2,8	168,9	76,1	185,3	134	0,25	0,90	0,261	0,060	4,0
ТП-4												
27	ф-1	158	29,0	722,4	288,1	777,8	281	0,20	0,90	0,329	0,060	4,1
15,18	ф-2	35	4,8	245,8	82,8	259,4	187	0,25	0,87	0,447	0,061	4,5
19,23	ф-3	12	1,6	137,3	33,9	141,5	102	0,25	0,87	0,447	0,061	2,4
ТП-5												
10	ф-1	30	13,2	380,4	174,2	418,4	302	0,25	0,90	0,129	0,057	4,8
11	ф-2	31	13,7	595,1	272,9	654,6	473	0,1	0,90	0,129	0,057	3,0
12	ф-3	30	8,7	469,3	210,4	514,3	372	0,1	0,90	0,208	0,060	3,6
ТП-6												
13	ф-1	15	2,1	189,8	82,2	206,9	149	0,15	0,90	0,447	0,061	4,4
14,17,22	ф-2	22	6,3	264,4	97,7	281,9	204	0,25	0,95	0,208	0,060	5,0

Потери мощности не превышают 10%, а потеря напряжения на любом из участков входит в пределы 10%, регламентированные ГОСТ 32144-2013.

2.5 Расчет электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ

Особенность расчёта состоит в том, что выделяется основной потребитель из всего перечня потребителей рассматриваемой ТП, далее нагрузки потребителей с меньшей нагрузкой учитываются соответствующими коэффициентами участия.

Электротехнический расчёт суммарной активной нагрузки потребителей на шинах 0,4 кВ ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для ТП-1:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{макс.}} + k_{y.m1} \cdot P_1 + k_{y.m2} \cdot P_2 + \dots + k_{y.mi} \cdot P_i, \quad (11)$$

$$P_{m1} = 640 + 628 \cdot 0.8 + 340,9 \cdot 0.8 = 1415,1 \text{ кВт},$$

где $P_{\text{макс}}$ – нагрузка основного потребителя по ТП;

$k_{y.mi}$ – коэффициент участия в максимуме отдельного потребителя;

P_i – расчётная мощность отдельного потребителя.

Электротехнический расчёт суммарной реактивной нагрузки потребителей на шинах 0,4 кВ ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для ТП-1:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{макс.}} + k_{y.m1} \cdot Q_1 + k_{y.m2} \cdot Q_2 + \dots + k_{y.mi} \cdot Q_i, \quad (12)$$

$$Q_{m1} = 294,06 + 288,5 \cdot 0,8 + 194,8 \cdot 0,8 = 680,7 \text{ кВар},$$

где $Q_{\text{эд.макс}}$ - наибольшая нагрузка здания из числа зданий, кВт;

$Q_{зод.i}$ - расчетная нагрузка других зданий, питающих по линии, кВт;

k_{yi} - коэффициент участия в максимуме.

Электротехнический расчёт суммарной нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для ТП-1:

$$P_{mn1} = 1415,12 + 4,8 + 228 = 1648,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{mn1} = 741,4 + 61 = 741,4 \text{ кВар},$$

$$S_{ТП} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, \quad (13)$$

$$S_{ТП1} = \sqrt{1648,1^2 + 741,4^2} = 1807,2 \text{ кВА}.$$

Электротехнические расчёты суммарной нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов суммарной нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 7-8 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 7 – Расчёт составляющих нагрузки ТП

ТП	осн здание		прочие здания			Нагрузка освещения			потери в сети 0,4 кВ	
	$P_{зд макс}$, кВт	$Q_{зд макс}$, кВар	$P_{зд i}$, кВт	$Q_{зд i}$, кВар	K_y	$L_{тер}$, км	$P_{осв уд}$, кВт/км	$P_{осв}$, кВт	$\Delta P_{л}$, кВт	$\Delta Q_{л}$, кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТП-1	640,00	294,06	968,90	483,33	0,8	0,4	12	4,8	228	61
ТП-2	688,00	281,12	1031,60	438,28	0,8	0,65	12	7,8	234	66

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТП-3	640,00	294,06	864,80	363,61	0,6	0,65	12	7,8	226	51
ТП-4	564,00	259,14	372,80	119,40	0,8	0,7	12	8,4	205	35
ТП-5	564,00	259,14	789,40	362,70	0,8	0,45	12	5,4	91	36
ТП-6	174,40	80,13	268,80	98,49	0,8	0,40	12	4,8	37	8

Таблица 8 – Расчётная нагрузка ТП

ТП	$P_{p\ 0,4\text{ кВ}},\ \text{кВт}$	$Q_{p\ 0,4\text{ кВ}},\ \text{кВар}$	$S_{p\ 0,4\text{ кВ}},\ \text{кВА}$
ТП-1	1648,1	741,4	1807,2
ТП-2	1755,0	698,1	1888,8
ТП-3	1393,0	563,4	1502,7
ТП-4	1076,0	390,1	1144,6
ТП-5	1292,3	585,0	1418,5
ТП-6	431,5	167,3	462,8

2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов 10/0,4 кВ

Электротехнический расчёт мощности силовых трансформаторов ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для ТП-1:

$$S_{PT} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{n_T \cdot K_3^{OPT}}, \quad (14)$$

$$S_T = \frac{1807,2}{2 \cdot 0,7} = 1291 \text{ кВА}$$

где P_p - расчётная нагрузка, кВт;

$Q_{неск}$ - некомпенсированная мощность, текущая от источника мощности через трансформатор, кВар;

n_T - число трансформаторов;

K_3^{OPT} - оптимальный коэффициент загрузки трансформатора, 0,7.

Для потребителей второй и третьей категории как преобладающих коэффициент оптимальной загрузки составляет 0,7.

Выбираем трансформатор ТМ-1600/10: $S_{Тном} = 1,6$ МВА

Электротехнический расчёт нормальной загрузки силовых трансформаторов ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для ТП-1:

$$K_3^{норм} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{n_T \cdot S_{Тном}}, \quad (15)$$

$$K_3^{норм} = \frac{1807}{2 \cdot 1600} = 0.56.$$

Электротехнический расчёт послеаварийной загрузки силовых трансформаторов ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [3] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для ТП-1:

$$K_3^{n/ав} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{(n_T - 1) \cdot S_{Тном}}, \quad (16)$$

$$K_3^{n/ав} = \frac{1807}{1600} = 1.13.$$

Электротехнические расчёты загрузки силовых трансформаторов 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов загрузки силовых трансформаторов ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 9 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 9 – Выбор трансформаторов ТП

ТП	$P_{р\ 0,4\ кВ},$ кВт	$Q_{р\ 0,4\ кВ},$ кВар	$S_{р\ 0,4\ кВ},$ кВА	$N_{тр}$	$K_{доп}$	$S_{тр\ расч},$ кВА	$S_{тр\ ном},$ кВА	$K_{з\ факт}$	$K_{з\ авар}$
ТП-1	1648,1	741,4	1807,2	2	0,7	1291	1600	0,56	1,13
ТП-2	1755,0	698,1	1888,8	2	0,7	1349	1600	0,59	1,18
ТП-3	1393,0	563,4	1502,7	2	0,7	1073	1000	0,75	1,50
ТП-4	1076,0	390,1	1144,6	2	0,7	818	1000	0,57	1,14
ТП-5	1292,3	585,0	1418,5	2	0,7	1013	1000	0,71	1,4
ТП-6	431,5	167,3	462,8	2	0,7	331	400	0,58	1,16

Для ТП-3 в послеаварийном режиме требуется провести вывод 10% потребителей 3й категории из схемы подключения к электроснабжению на время восстановления работы второго трансформатора на ТП-3.

2.7 Расчёт токов короткого замыкания

Исходная схема для расчётов токов КЗ на стороне 0,4 кВ ТП и в сети 0,4 кВ района застройки города Благовещенск и схема замещения вынесены на рисунок 5.

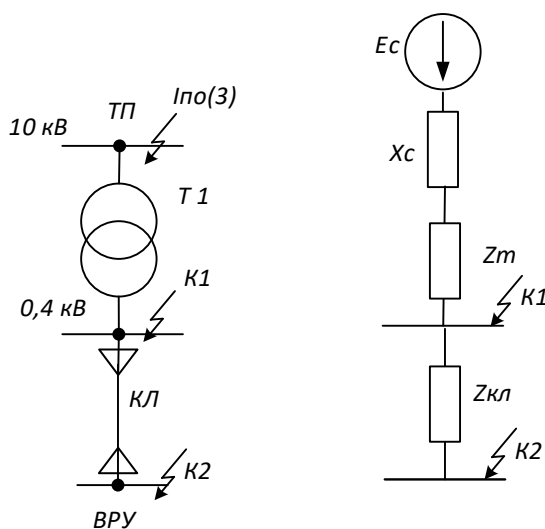


Рисунок 5 – Схема сети и схема замещения для расчёта тока КЗ в сети 0,4 кВ

Электротехнический расчёт сопротивления системы на высокой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$X_{сист} = \frac{U_{осн}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}}, \quad (17)$$

$$X_{сист} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 5,34} = 0,0043 \text{ Ом},$$

Электротехнический расчёт индуктивного сопротивления до точки К-1 на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$\Sigma X = X_{тр} + X_{сист}, \quad (18)$$

$$\Sigma X = 0,0054 + 0,0043 = 0,0097 \text{ Ом},$$

где $X_{тр}$ - реактивное сопротивление трансформатора, 0,0054 Ом;

$X_{сист}$ - реактивное сопротивление системы, Ом.

Электротехнический расчёт активного сопротивления до точки К-1 на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$\Sigma R = R_{тр}, \quad (19)$$

где $R_{тр}$ - активное сопротивление трансформатора, 0,0011 Ом.

Электротехнический расчёт полного сопротивления до точки К-1 на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$Z = \sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2} , \quad (20)$$

$$Z = \sqrt{0,0011^2 + 0,0097^2} = 0,01 \text{ Ом},$$

где ΣX - реактивное сопротивление до точки КЗ, Ом;

ΣR - активное сопротивление до точки КЗ, Ом.

Электротехнический расчёт тока трехфазного КЗ на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$I_{\text{ПокЗ}}^{(3)} = \frac{U_{\text{осн}}}{\sqrt{3} \cdot Z} , \quad (21)$$

$$I_{\text{ПокЗ}}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,01} = 23,6 \text{ кА},$$

где $U_{\text{осн}}$ - основное напряжение, кВ;

Z - полное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом.

Электротехнический расчёт ударного тока трехфазного КЗ на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$i_{\text{удар}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{удар}} \cdot I_{\text{ПокЗ}}^{(3)} , \quad (22)$$

$$i_{y\text{дар}} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 23,6 = 33,4 \text{ кА},$$

где $K_{y\text{дар}}$ - ударный коэффициент, для шин 0,4 кВ КТП принимается 1.

Электротехнический расчёт тока однофазного КЗ на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$I^{(1)}_{\text{поКЗ}} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{фазн}}}{Z_{\text{П}} + \frac{Z_{\text{тр}}}{3}}, \quad (23)$$

$$I^{(1)}_{\text{поКЗ}} = \frac{1,05 \cdot 0,22}{0,01 + \frac{0,0054}{3}} = 19,9 \text{ кА},$$

где $U_{\text{фазн}}$ - фазное напряжение, 0,22 кВ;

Электротехнические расчёты токов КЗ в сети 0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов токов КЗ 0,4 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 10 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 10 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 0,4 кВ

ТП	S _Т ,кВА	I(3) _{поТП} , кА	I(1) _{поТП} , кА	I _{уд ТП} , кА	R _{кЛ04} , Ом	X _{кЛ04} , Ом	I(3) _{поВРУ} , кА	I(1) _{поВРУ} , кА	I _{уд ВРУ} , кА
ТП-1	1600	23,6	19,9	33,4	0,03	0,01	5,6	2,0	8,0
ТП-2	1600	17,6	15,5	24,9	0,05	0,01	3,9	1,3	5,4
ТП-3	1000	16,7	13,9	23,7	0,05	0,01	3,9	1,3	5,5
ТП-4	1000	13,0	11,2	18,4	0,11	0,02	2,0	0,6	2,8
ТП-5	1000	16,1	13,4	22,8	0,03	0,01	5,2	2,0	7,4
ТП-6	400	9,7	7,8	13,7	0,07	0,01	2,9	1,0	4,1

2.8 Выбор автоматических выключателей

Электротехнический расчёт условий выбора автоматических выключателей на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- по напряжению:

$$U_{\text{номАВ}} \geq U_{\text{сети}} ,$$

$$0,4 \text{ кВ} \geq 0,4 \text{ кВ}.$$

- по роду тока и его величине (по расчетному току):

$$I_{\text{ном.расц}} \geq I_{\text{расч}} ,$$

$$1600 \text{ А} \geq 1306 \text{ А}.$$

где $I_{\text{ном.расц}}$ - номинальный ток расцепителя автоматического выключателя.

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\Sigma\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} ,$$

$$I_{\text{расч.ТП-1}} = \frac{1807,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1306 \text{ А},$$

где $S_{\Sigma\text{ТП}}$ - максимальная нагрузка на шинах 0,4 ТП.

Электротехнический расчёт условий проверки автоматических выключателей на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск

«Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- на отключающую способность КЗ:

$$I_{отК} \geq I_{кз}^{(3)}, \quad (24)$$

$$40 \geq 23,6 \text{ кА.}$$

где $I_{отК}$ - ток отключения выключателя, 40 кА.

$$I_{отс} = k_0 \cdot I_{номрасц},$$

где k_0 - кратность для автоматов, равная: 2,4,6,8,10.

- по чувствительности к токам КЗ:

$$I_{кз}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{ср,расц}, \quad (25)$$

$$1 \leq 2 \text{ кА,}$$

где $I_{ср,расц}$ - ток срабатывания электромагнитного расцепителя.

Выбираем автоматический выключатель токоограничивающий с полупроводниковым расцепителем марки ВА55-41 с номинальным током расцепителя 1600 А.

Электротехнические расчёты по выбору и проверке автоматических выключателей в сети 0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов по выбору и проверке автоматических выключателей в сети 0,4 кВ района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 11-12 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 11 – Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	$S_{p, 0,4 \text{ кВ}}, \text{ кВА}$	$I_{p \text{ АВТ}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	Марка выключателя
ТП-1	1807,2	1306	1600	ВА 55-41
ТП-2	1888,8	1365	1600	ВА 55-41
ТП-3	1502,7	1086	1600	ВА 55-41
ТП-4	1144,6	827	1000	ВА 51-39
ТП-5	1418,5	1025	1600	ВА 55-41
ТП-6	462,8	334	400	ВА 51-35

Таблица 12 – Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	Проверка АВ по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ			Проверка АВ по чувствительности к токам КЗ				
	$I_{\text{по}}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{\text{отк}}, \text{ кА}$	$I_{\text{по}}^{(3)} < I_{\text{отк}}$	$I_{\text{расц}}, \text{ кА}$	$I_{\text{по}}^{(1)}, \text{ кА}$	K_0	$I_{\text{отс}}, \text{ А}$	$1,25 \cdot I_{\text{расц}} < I_{\text{по}}^{(1)}$
ТП-1	23,6	40	23,6 < 40	1,6	2,0	2	800	1 < 2
ТП-2	17,6	40	17,6 < 40	1,6	1,3	4	400	0,5 < 1,3
ТП-3	16,7	40	16,7 < 40	1,6	1,3	4	400	0,5 < 1,3
ТП-4	13,0	40	13 < 40	1,0	0,6	4	250	0,3125 < 0,6
ТП-5	16,1	40	16,1 < 40	1,6	2,0	2	800	1 < 2
ТП-6	9,7	40	9,7 < 40	0,4	1,0	1	400	0,5 < 1

Проведенными расчётами обеспечено выполнение всех условий выбора и проверки для автоматических выключателей 0,4 кВ.

2.9 Выбор предохранителей для защиты линий 0,4 кВ

Электротехнический расчёт условий выбора предохранителей на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам на ТП-1:

$$I_{\text{расч}} \leq I_6,$$

$$294 \text{ A} \leq 300 \text{ A},$$

$$I_B \leq I_{\text{номПР}},$$

$$300 \text{ A} \leq 400 \text{ A},$$

где I_B - номинальный ток плавкой вставки предохранителя;

$I_{\text{номПР}}$ - номинальный ток предохранителя.

Электротехнический расчёт условий проверки предохранителей на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- по согласованию с сечением проводника:

$$I_B \leq 3 \cdot I_{\text{кл доп}},$$

$$300 \text{ A} \leq 3 \cdot 443, 300 \leq 1329 \text{ A}.$$

- по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ:

$$I_{\text{по}}^{(3)} < I_{\text{отк}},$$

$$5,6 \text{ кА} < 15 \text{ кА}.$$

- по чувствительности к токам КЗ:

$$3 \cdot I_B < I_{\text{по}}^{(1)},$$

$$3 \cdot 300 < 2000,$$

900<2000.

Электротехнические расчёты по выбору и проверке предохранителей в сети 0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим ТП района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов по выбору и проверке предохранителей в сети 0,4 кВ района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 13-14 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 13 – Выбор предохранителей для защиты линий 0,4 кВ

Наименование потребителей	линия	I _{расч} , А	I _{доп} , А	I _{вст} , А	Тип предохранителя
ТП-1					
1	ф-1	285	293	300	ПН-2 –400
4	ф-2	302	339	400	ПН-2 –400
5	ф-3	294	443	300	ПН-2 –400
ТП-2					
2	ф-1	94	242	100	ПН-2 –100
3	ф-2	309	385	400	ПН-2 –400
6	ф-3	301	385	400	ПН-2 –400
20,21,23,25	ф-4	186	385	200	ПН-2 –250
ТП-3					
7	ф-1	313	339	300	ПН-2 –400
8	ф-2	237	242	250	ПН-2 –250
9	ф-3	348	385	400	ПН-2 –400
16,24	ф-4	134	339	150	ПН-2 –250
ТП-4					
27	ф-1	281	293	300	ПН-2 –400
15,18	ф-2	187	242	200	ПН-2 –250
19,23	ф-3	102	242	150	ПН-2 –250
ТП-5					
10	ф-1	302	508	400	ПН-2 –400
11	ф-2	473	508	500	ПН-2 –600
12	ф-3	372	385	400	ПН-2 –400
ТП-6					
13	ф-1	149	242	150	ПН-2 –250
14,17,22	ф-2	204	385	250	ПН-2 –250

Таблица 14– Проверка предохранителей для защиты линий 0,4 кВ

место КЗ	Проверка предохранителей по согласованию с сечением проводника			Проверка предохранителей по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ			Проверка предохранителей по чувствительности к токам КЗ		
	I_B, A	$I_{кл доп}, A$	$I_B < 3 \cdot I_{кл доп}$	$I_{по}^{(3)}, кА$	$I_{отк}, кА$	$I_{по}^{(3)} < I_{отк}$	$I_B, кА$	$I_{по}^{(1)}, кА$	$3 \cdot I_B < I_{по}^{(1)}$
ТП-1	300	443	$300 < 1329$	5,6	15	$5,6 < 15$	0,30	2,0	$0,9 < 2$
ТП-2	200	385	$200 < 1155$	3,9	15	$3,9 < 15$	0,20	1,3	$0,6 < 1,3$
ТП-3	300	339	$300 < 1017$	3,9	15	$3,9 < 15$	0,30	1,3	$0,9 < 1,3$
ТП-4	150	242	$150 < 726$	2,0	15	$2 < 15$	0,15	0,6	$0,45 < 0,6$
ТП-5	400	508	$400 < 1524$	5,2	15	$5,2 < 15$	0,40	2,0	$1,2 < 2$
ТП-6	150	242	$150 < 726$	2,9	15	$2,9 < 15$	0,15	1,0	$0,45 < 1$

Проведенными расчётами обеспечено выполнение всех условий выбора и проверки для предохранителей 0,4 кВ.

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

3.1 Приведенная нагрузка 10 кВ

Электротехнический расчёт потерь мощности в трансформаторах ТП 10/0,4 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам для ТП-1:

$$\Delta P_m = 2\Delta P_{xx} + \frac{1}{2} \Delta P_{кз} (S_{ТП} / S_{т.ном})^2 ; \quad (26)$$

$$\Delta P_m = 2 \cdot 3,3 + \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot (1807,2/1600)^2 = 9 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_m = 2 \frac{U_{к\%} \cdot S_{ТП}^2}{100 \cdot S_{т.ном}} + \frac{1}{2} \frac{I_{xx} \cdot S_{т.ном}}{100} , \quad (27)$$

$$\Delta Q_m = 2 \cdot \frac{4,5 \cdot 1807,2^2}{100 \cdot 1600} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1,3 \cdot 1600}{100} = 48,9 \text{ квар};$$

где $S_{ТП}$ - полная мощность нагрузки ТП;

R_m - сопротивление трансформатора;

ΔP_{xx} - потери активной мощности на холостом ходу;

I_{xx} - ток холостого хода трансформатора;

$U_{к\%}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора;

$S_{т.ном}$ - номинальная мощность трансформатора.

Электротехнический расчёт приведенной мощности на стороне 10 кВ ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для ТП-1:

$$S_{ТП} = \sqrt{(P_{р.ТП} + \Delta P_{Т(ТП)})^2 + (Q_{р.ТП} + \Delta Q_{Т(ТП)})^2}, \quad (28)$$

$$S_1 = \sqrt{(1648,1+9)^2 + (741,4+48,9)^2} = 1865,6 \text{ кВм}$$

Электротехнические расчёты по приведению нагрузки со стороны 0,4 кВ стороне 10 кВ ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим ТП района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов по приведению нагрузки со стороны 0,4 кВ стороне 10 кВ ТП района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 15-16 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 15 – Результаты расчета потерь мощности в трансформаторах

№ ТП	$S_{ТП}$, кВА	$S_{трном}$, кВА	ΔP_m , кВт	ΔQ_m , кВар
ТП1	1291	1600	9,0	48,9
ТП2	1349	1600	9,6	51,5
ТП3	1101	1000	9,7	46,7
ТП4	818	1000	6,4	32,0
ТП5	1013	1000	8,6	41,7
ТП6	331	400	2,9	14,4

Таблица 16 – Приведенная нагрузка ТП

№ ТП	$P_{р 10 \text{ кВ}}$, кВт	$Q_{р 10 \text{ кВ}}$, кВар	$S_{р 10 \text{ кВ}}$, кВА
ТП1	1666,2	839,2	1865,6
ТП2	1774,1	801,0	1946,6
ТП3	1454,6	656,9	1596,1
ТП4	1088,9	454,1	1179,8
ТП5	1309,5	668,3	1470,1
ТП6	437,3	196,1	479,3

3.2 Выбор сечения распределительных линий 10 кВ

Для питания ТП от ПС ПРП 35/10 кВ используются магистральные резервированные схемы питания, так как среди категории потребителей присутствует

2,3 категория по надежности электроснабжения. Варианты выполнения конфигурации сети 10 кВ представлены в графическом виде на рисунке 6.

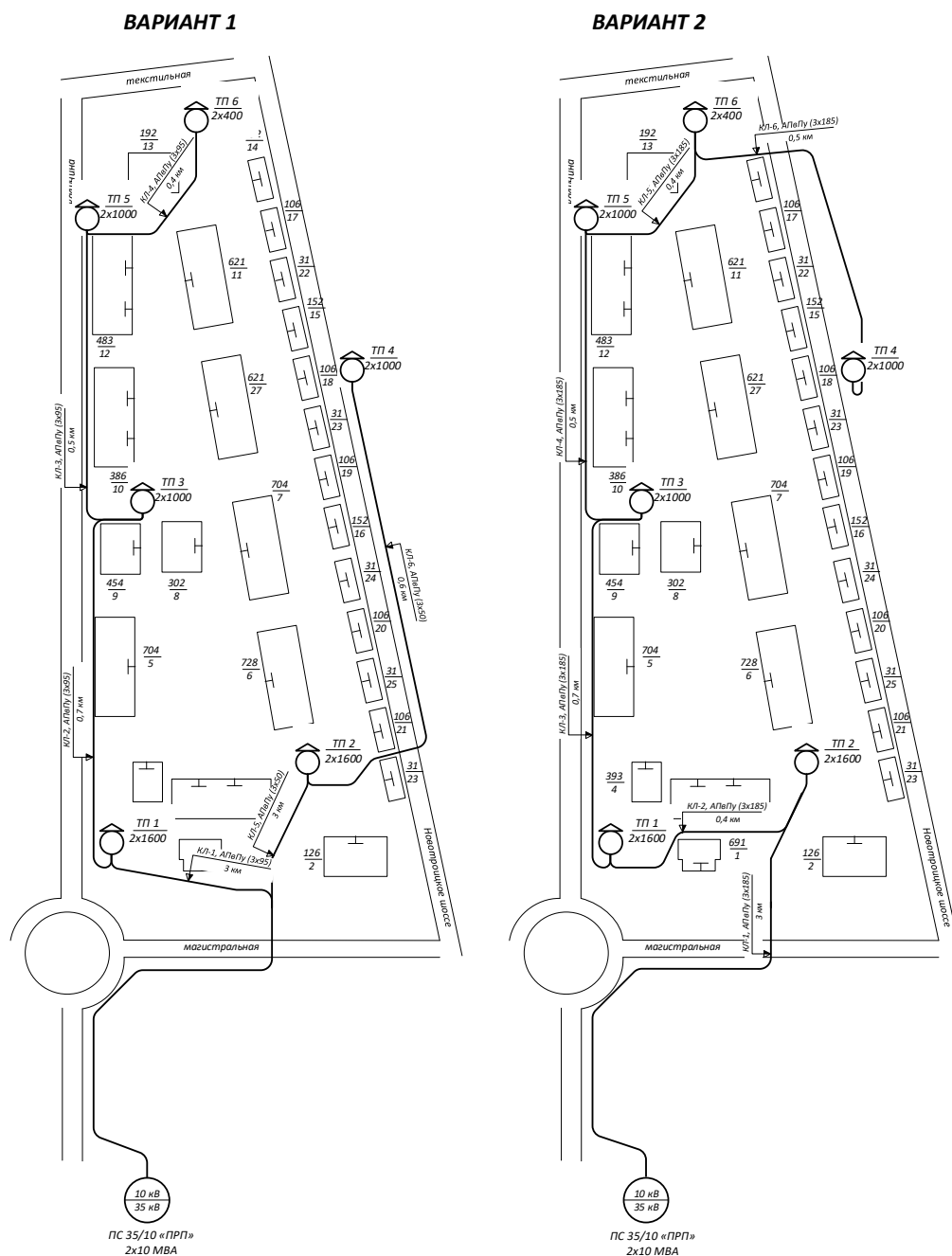


Рисунок 6 – Варианты прокладки кабелей 10 кВ

Применяются кабели с СПЭ-изоляцией марки АПВПу с материалом жил из алюминия, СПЭ-изоляцией и полиэтиленовой усиленной оболочкой.

Электротехнический расчёт токовой нагрузки КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам для КЛ ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6 по варианту 1:

$$I_p = \frac{S_p}{U_H \cdot \sqrt{3}}, \quad (29)$$

$$I_p = \frac{4328}{10 \cdot \sqrt{3}} = 250 \text{ А},$$

$$K_{\text{темп}} \cdot K_{\text{каб}} \cdot I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (30)$$

$$1,1 \cdot 0,92 \cdot 263 = 266 \text{ А} \geq 250 \text{ А}.$$

где S_p – полная мощность линии, кВА;

U_H – номинальное напряжение, центра питания, для стороны НН ПС ПРП и для системы электроснабжения принимается 10 кВ;

$K_{\text{темп}}$ – температурный коэффициент условий прокладки, 1,1;

$K_{\text{каб}}$ – коэффициент количества кабелей 10 кВ совместной прокладки, 0,92.

Электротехнические расчёты по выбору КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов по выбору КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 17 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 17- Выбор марки и сечения линий 10 кВ

Участок линии	S, кВА	$K_{\text{темп}} \cdot K_{\text{каб}} \cdot I_{\text{доп}}$, А	I_p , А	F, мм ²	марка
(вариант 1)					
ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6	4328	266	250	95	АПвПу
ПС - ТП 2 - ТП 4	2657	197	154	50	АПвПу
(вариант 2)					
ПС - ТП 2 - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6 - ТП 4)	6401	375	370	185	АПвПу

3.3 Потери напряжения и мощности в сети 10 кВ

Для оценки корректности выбранного сечения КЛ необходимо выполнить расчёт потерь напряжения в сети 10 кВ для каждого из вариантов.

Электротехнический расчёт потери напряжения в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для КЛ ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{U_{ном}} \cdot r_0 \cdot \cos \varphi \cdot 100\% , \quad (31)$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 250 \cdot 4600}{10000} \cdot 0,32 \cdot 0,95 \cdot 100\% = 3 \text{ \%} .$$

где r_0 - удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

l - длина линии, км.

Согласно ГОСТ 32144-2013, значения медленного изменения напряжения не должно быть более 10%.

Электротехнический расчёт потери мощности в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для КЛ ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6, [5]:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^{-3} , \quad (32)$$

$$\Delta P = 3 \cdot 250^2 \cdot 0,32 \cdot 4,6 \cdot 10^{-3} = 138,2 \text{ кВт};$$

где I_p - расчетный ток участка, А;

r_0 - удельное активное сопротивление, Ом/км;

l - длина участка, км.

Электротехнический расчёт потери электроэнергии в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для КЛ ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6, [5]:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \quad (33)$$

$$\Delta W = 138,2 \cdot 3980 = 549871 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

где τ - время потерь, час.

Электротехнический расчёт времени потерь в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для КЛ ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6, [5]:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (34)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{5500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3980 \text{ ч};$$

где T_i - число часов использования максимума нагрузки, 5500 ч для города Благовещенск согласно отчёту по преддипломной практики.

Электротехнические расчёты по проверке КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов по проверке КЛ-10 кВ района застройки города

Благовещенск сформированы таблицы 18 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 18 – Определения потерь мощности, энергии и напряжения

Участок линии	I_p, A	$R_0, \text{Ом/км}$	$L, \text{км}$	$\Delta P, \text{кВт}$	$\Delta W, \text{кВт*ч}$	$\Delta U, \%$
(вариант 1)						
ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6	250	0,32	4,6	138,18	549871	3
ПС - ТП 2 - ТП 4	154	0,641	3,6	81,66	324961	2,9
(вариант 2)						
ПС - ТП 2 - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6 - ТП 4	370	0,164	5,5	370,4	1474097	2,7

3.4 Выбор оптимального варианта сети 10 кВ

Оценочный расчёт затрат в учебном проектировании допускается проводить по приведенным среднегодовым затратам.

Расчёт приведенных затрат в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$Z = E_H \cdot K + И = E_H \cdot (K_{\text{каб}} + K_{\text{кпу}}) + (A \cdot K_{\text{каб}} + A \cdot K_{\text{кпу}}) + C_0 \cdot \Delta W_{\text{каб}}, \quad (35)$$

где E_H - норматив дисконтирования, зависит от ставки рефинансирования, которая устанавливается Центробанком;

$K_{\text{каб}}, K_{\text{кпу}}$ - стоимость проводов кабельных линий и ячеек КРУ с выключателями;

C_0 1,53руб/кВт*ч – удельная стоимость потерь электроэнергии;

A - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание $a_{\text{ам.КРУ}} = 5,9\%$, $a_{\text{ам.КЛЭП}} = 0,5\%$;

$\Delta W_{\text{каб}}$ - потери электроэнергии в КЛ.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов расчётов приведенных затрат в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 19 с указанием основных расчётных данных

Таблица 19 – Сравнение вариантов сети 10 кВ

№ Варианта	1	2
Количество выключателей 10 кВ, шт	4	2
Стоимость выключателя 10 кВ, тыс руб	760	760
Капиталовложения в выключатели, тыс руб	3040	1520
Протяженность КЛ 10 кВ сечением, км	185	11
	95	9,2
	50	7,2
Стоимость кабеля сечением, тыс. руб./км	185	749,2
	95	486,8
	50	349,3
Капиталовложения в линии 10 кВ, тыс руб	6994	8241
Издержки на эксплуатацию и ремонт линий 10 кВ, тыс руб	28	33
Издержки на эксплуатацию и ремонт выключателей 10 кВ, тыс руб	179	90
Издержки на амортизацию электрооборудования, тыс руб	502	488
Потери электроэнергии, кВт*ч	874832	1474097
Стоимость потерь электроэнергии, руб/кВт*ч	1,53	1,53
Издержки потерь электроэнергии, тыс руб	1338	2255
Приведенные затраты, тыс руб	3051	3842

Вариант 1 дешевле на 791 тыс. руб. (21%). Выбираем вариант 1.

3.5 Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности на стороне 0,4 кВ ТП производится только в том случае, если имеются промышленные потребители, поэтому в нашем случае такой вид компенсации не требуется, [7].

Электротехнический расчёт мощности конденсаторных батарей в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для шин 10 кВ ПС ПРП:

$$Q_{KV} = Q_P - P_P \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ПД}, \quad (36)$$

$$Q_{KV} = 2712 - 5798 \cdot 0,4 = 393 \text{ кВАр},$$

где $tg\phi_{пл}$ - предельный коэффициент реактивной мощности для ПС ПРП 35/10 кВ, 0,4 по [26].

Установка БК производится на каждую секцию шин ПС «ПРП», настраиваемая мощность КУ – 250 квар на каждую секцию шин, тип – УКРМ-10,5-250 УЗ.

3.6 Расчёт токов короткого замыкания

Составляем схему замещения, где питание осуществляется от подстанции до ТП 1. На рисунке 7 расчётная точка КЗ на стороне ВН – К-1

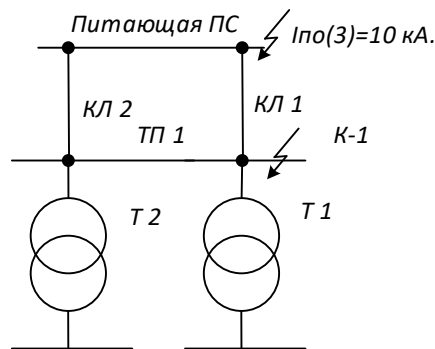


Рисунок 7 – Схема сети для расчёта тока КЗ на шинах 10 кВ

Электротехнический расчёт сопротивления системы в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$X_{сист} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}}, \quad (37)$$

$$X_{сист} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0.607 \text{ Ом.}$$

где $I_{КЗ}$ - замерная величина тока короткого замыкания на стороне 10 кВ ПС ПРП согласно отчёту по преддипломной практике, 10 кА.

Электротехнический расчёт сопротивления КЛ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле до точки К-1:

$$L_{Л1} = L_{Л2} = 3 \text{ км},$$

$$R_{0Л1} = R_{0Л2} = 0,32 \text{ Ом/км},$$

$$R_1 = R_{Л1} = R_{0Л2} \cdot L_{Л1}, \quad (38)$$

$$R_1 = 0,32 \cdot 3 = 0,96 \text{ Ом}.$$

В данном проекте не предусмотрено сооружение РП-10 кВ. так как питающая подстанция ПРП 35/10 кВ на удалении менее 5 км от района застройки.

Преобразуем схему замещения по рисунку 8.

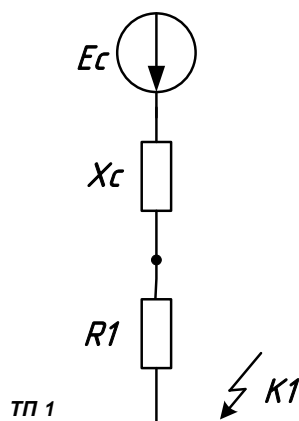


Рисунок 8 – Преобразование схемы замещения

Электротехнический расчёт эквивалентного сопротивления в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле до точки К-1:

$$Z_{K31} = \sqrt{R_1^2 + X_{cист}^2}; \quad (39)$$

$$Z_{K31} = \sqrt{0,96^2 + 0,607^2} = 1,14 \text{ Ом},$$

Электротехнический расчёт тока трехфазного короткого замыкания в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле в точке К1:

$$I_{ПОК3,к1}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{K31}}; \quad (40)$$

$$I_{ПОК3,к1}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,14} = 5,34 \text{ кА}.$$

Электротехнический расчёт тока двухфазного короткого замыкания в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле в точке К1:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{n0}^{(3)} \quad (41)$$

$$I_{кзК1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,34 = 4,64 \text{ кА}$$

Электротехнический расчёт ударного тока короткого замыкания в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле в точке К1:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{y\partial} ; \quad (42)$$

$$I_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot 1.2 \cdot 5,34 = 9,1 \text{ кА}$$

Электротехнические расчёты токов КЗ на каждой ТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов токов КЗ на каждой ТП района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 20 с указанием основных расчётных данных

Таблица 20 – Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

№ ТП	Точка КЗ	$I_{ПО.кз}^3$, кА	$I_{ПО.кз}^2$, кА	$I_{удар}$, кА
ТП-1	К – 1	5,34	4,64	9,1
ТП-2	К – 2	3,01	2,62	6,2
ТП-3	К – 3	4,56	3,96	8,2
ТП-4	К – 4	2,54	2,21	5,5
ТП-5	К – 5	4,11	3,58	7,7
ТП-6	К – 6	3,81	3,31	7,3

3.7 Проверка кабельных линий 10 кВ на воздействие токов короткого замыкания

Для КЛ-10 кВ до ТП-1 получены следующие расчётные данные:

$$I_{п.о} = 5,34 \text{ кА};$$

$$T_a = 0,006 \text{ с.},$$

$$\Delta t_{pz} = 0,5 \text{ с.}$$

Электротехнический расчёт времени отключения выключателя 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле в точке К1:

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{в}} + t_{\text{рз}} + \Delta t_{\text{рз}}; \quad (43)$$

$$t_{\text{откл}} = 0,045 + 0,01 + 0,5 = 0,555 \text{ с.}$$

Электротехнический расчёт теплового импульса в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле в точке К1:

$$B_{\text{кз}} = I_{\text{п.о}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}), \quad (44)$$

$$B_{\text{кз}} = 5,34^2 \cdot (0,555 + 0,006) = 16. \text{кА} \cdot \text{с}^2.$$

где $I_{\text{п.о}}$ - ток трехфазного КЗ в точке К-1;

$t_{\text{откл}}$ - время отключения тока КЗ;

$T_{\text{а}}$ - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания.

Электротехнический расчёт сечения КЛ по термической стойкости в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле в точке К1:

$$F_{\text{тер}} = \frac{\sqrt{B_{\text{кз}}}}{C}, \quad (45)$$

$$F_{\text{тер.тпл}} = \frac{\sqrt{16 \cdot 10^6}}{95} = 42,1 \text{ мм}^2.$$

где C - коэффициент для алюминиевых жил 10 кВ $C = 100$.

Сечение выбранного кабеля: $F_{\text{выбр}} = 95 \text{ мм}^2$.

Электротехнический расчёт правильности выбора сечения КЛ по термической стойкости в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле в точке К1:

$$F_{\text{тер}} \leq F_{\text{выбр}}, \quad (46)$$

$$42,1 \leq 95.$$

Электротехнические расчёты правильности выбора сечения КЛ по термической стойкости в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов правильности выбора сечения КЛ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 21 с указанием основных расчётных данных

Таблица 21 – Минимально допустимое сечение КЛ-10 кВ

№ ТП	$I_{\text{по}}^{(3)}$, кА	T , с	Δt , сек.	Вкз	$F_{\text{кл мин}}$, мм ²	$F_{\text{кл факт}}$, мм ²
ТП-1	5,34	0,006	0,5	16,0	42,1	95
ТП-2	3,01	0,013	0,5	5,1	23,9	50
ТП-3	4,56	0,008	1	22,1	49,5	95
ТП-4	2,54	0,015	1	6,9	27,7	50
ТП-5	4,11	0,009	1,5	26,4	54,1	95
ТП-6	3,81	0,010	2	30,0	57,6	95

В результате расчётов получен результат, по которому делается вывод о корректности проведенных расчётов в части выбора параметров кабельных линий 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ 10 КВ ПОДСТАНЦИИ ПРП

4.1 Выбор комплектных распределительных устройств

Электротехнический расчёт условий выбора КРУ-10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (47)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

$$I_{ном} \leq I_{ном}, I_{мах} \leq I_{ном}; \quad (48)$$

$$250 \text{ А} \leq 630 \text{ А}; 500 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

Электротехнический расчёт условий проверки КРУ-10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- на электродинамическую стойкость:

$$i_{пр,с} > i_{уд}. \quad (49)$$

$$32 \text{ кА} > 9,1 \text{ кА}.$$

$i_{пр,с}$ - номинальный ток электродинамической стойкости, кА

$i_{уд}$ – расчётная величина ударного тока КЗ, кА;

- на термическую стойкость:

$$B_K = I_{\text{пю}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) \quad (50)$$

$$B_K = 5,34^2 \cdot (1,555 + 0,006) = 44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{ов}}, \quad (51)$$

$$t_{\text{откл}} = (0,01 + 1,5) + 0,045 = 1,555 \text{ с}.$$

где $t_{\text{рз}}$ – время действия релейной защиты, 0,01с с учётом селективности 1,5 с;

$t_{\text{ов}}$ – полное время отключения выключателя с приводом, 0,045 с.

$t_{\text{откл}}$ – время отключения;

T_a – постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ, с;

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_K. \quad (52)$$

$$1200 \geq 44;$$

где $I_{\text{тер}}$ - номинальный ток термической стойкости выключателя, кА;

$t_{\text{тер}}$ - время термической стойкости, с.

К установке принимаем комплектные распределительные устройства серии СЭЩ-70-10 с выкатными ячейками. Наглядный вид шкафа приведен на рисунке 9, [10].



Рисунок 9 - Шкаф СЭЩ-70-10

Электротехнические расчёты выбора и проверки КРУ-10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов правильности выбора и проверки КРУ 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 22 с указанием основных расчётных данных

Таблица 22 – Выбор КРУ СЭЩ-70-10 ВВ/Тел в РУ 10 кВ ПС ПРП

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные данные
КРУ магистрали на ТП-1		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	1000 А	500 А
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	32 кА	9,1 кА
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} \geq B_{к}$	1200 кА ² ·с	44 кА ² ·с
КРУ магистрали на ТП-2		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	1000 А	308 А
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	32 кА	6,2 кА
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} \geq B_{к}$	1200 кА ² ·с	14,1 кА ² ·с

По данным сравнения выбранная марка КРУ-10 кВ подходит.

4.2 Выбор выключателей

Электротехнический расчёт условий выбора выключателей 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

$$I_{норм} \leq I_{ном}, I_{max} \leq I_{ном};$$

$$250 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}; 500 \text{ А} \leq 1000 \text{ А};$$

$$I_{пo} \leq I_{откл\ ном}.$$

$$5,35 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

Электротехнический расчёт условий проверки выключателей 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- на электродинамическую стойкость:

$$i_{пр,с} > i_{уд}.$$

$$32 \text{ кА} > 9,1 \text{ кА}.$$

$i_{пр,с}$ - номинальный ток электродинамической стойкости, кА

$i_{уд}$ – расчётная величина ударного тока КЗ, кА;

- на возможность на отключения аperiodической составляющей тока КЗ:

$$i_{а ном} \geq i_{ат}, \quad (53)$$

$$i_{а ном} = \sqrt{2} \cdot I_{н} \cdot \beta / 100, \quad (54)$$

$$i_{а ном} = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot 40 / 100 = 11,31 \text{ кА}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot e^{-\tau/T_a}. \quad (55)$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 5,34 \cdot e^{-0,06/0,03} = 1 \text{ кА}.$$

где $i_{а ном}$ - нормированная величина, 20 кА;

β – нормированная величина, 40%;

$i_{ат}$ - аperiodическая составляющая тока КЗ, кА

- на термическую стойкость:

$$W_K = I_{н}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) \quad (56)$$

$$W_K = 5,34^2 \cdot (1,555 + 0,006) = 44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$t_{откл} = t_{рз} + t_{ов}, \quad (57)$$

$$t_{откл} = (0,01 + 1,5) + 0,045 = 1,555 \text{ с}.$$

где $t_{рз}$ – время действия релейной защиты, 0,01с с учётом селективности 1,5 с;

$t_{об}$ – полное время отключения выключателя с приводом, 0,045 с.

$t_{откл}$ – время отключения;

T_a – постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ, с;

$$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k. \quad (58)$$

$$1200 \geq 44;$$

где $I_{тер}$ - номинальный ток термической стойкости выключателя, кА;

$t_{тер}$ - время термической стойкости, с.

По условиям надежности, удобства и экономичности в эксплуатации устанавливаем на резервных ячейках ПС вакуумные выключатели на напряжения 10 кВ, марки ВВ/Тел-10-20/1000 УЗ, [9]. Выключатель управляется электромагнитным приводом ПЭМУ-500. Гашение электрической дуги обеспечивается вакуумной камерой, выключатель представлен на рисунке 10.



Рисунок 10- Выключатель вакуумный.

Электротехнические расчёты выбора и проверки выключателей 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных по другим КЛ-10 кВ района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов правильности выбора и проверки выключателей 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 23 с указанием основных расчётных данных

Таблица 23 – Выбор выключателей ВВ/Тел в РУ 10 кВ ПС ПРП

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные данные
Линейный выключатель магистрали на ТП-1		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	1000 А	500 А
$I_{пр.с.} \geq I_{по}$	20 кА	5,34 кА
$I_{откл ном} \geq I_{пт}$	20 кА	5,34 кА
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	32 кА	9,1 кА
$i_{а ном} \geq i_{ат}$	11,31 кА	1 кА
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} \geq B_{к}$	1200 кА ² ·с	44 кА ² ·с
Линейный выключатель магистрали на ТП-2		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	1000 А	308 А
$I_{пр.с.} \geq I_{по}$	20 кА	3,01 кА
$I_{откл ном} \geq I_{пт}$	20 кА	3,01 кА
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	32 кА	6,2 кА
$i_{а ном} \geq i_{ат}$	11,31 кА	1 кА
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} \geq B_{к}$	1200 кА ² ·с	14,1 кА ² ·с

По данным сравнения выбранная марка выключателя подходит.

4.3 Выбор трансформаторов тока

На отходящих присоединениях выбираем трансформаторы тока марки ТОЛ-10-1-У2, [12]. Электротехнический расчёт условий выбора трансформаторов тока 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

$$I_{норм} \leq I_{ном} , I_{max} \leq I_{ном} ;$$

$$500 \text{ A} \leq 600 \text{ A};$$

$$308 \text{ A} \leq 600 \text{ A}.$$

Электротехнический расчёт условий проверки трансформаторов тока 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- по вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2.ном} , \quad (59)$$

$$r_{приб} + r_{пров} + r_k \leq Z_{2ном} . \quad (60)$$

где Z_2 - номинальная допустимая вторичная нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности, Ом.

Индуктивной составляющей ввиду её незначительной величины в слаботочных сетях пренебрегаем:

$$Z_2 \approx r_2.$$

Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ включает в себя:

- сопротивления приборов, расчётная величина;
- сопротивления соединительных проводов, расчётная величина;
- переходного сопротивления контактов, принимается упрощенно

$$r_k = 0.05 \text{ Ом} [10].$$

Электротехнический расчёт сопротивления вторичной нагрузки трансформаторов тока 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_k \quad (61)$$

$$r_{\text{нагр}} = 0,168 + 0,057 + 0,05 = 0.275 \text{ Ом.}$$

Электротехнический расчёт сопротивления вторичной нагрузки приборов трансформаторов тока 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (62)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{4.2}{25} = 0,168 \text{ Ом.}$$

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

I_2 - вторичный номинальный ток прибора, А.

Электротехнический расчёт сопротивления соединительных проводов трансформаторов тока 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

$$r_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_k \quad (63)$$

$$r_{\text{пров}} = 0,8 - 0,168 - 0,05 = 0,582 \text{ Ом.}$$

$$S = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}}, \quad (64)$$

$$S = \frac{0,0283 \cdot 4}{0,582} = 0,194 \text{ мм}^2, \text{ для алюминиевых жил сечение не должно быть}$$

меньше 4 мм²;

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 4}{2} = 0,057 \text{ Ом;}$$

где ρ - удельное сопротивление материала провода, (для алюминия $\rho = 0,0283 \text{ Ом/мм}^2$);

$l_{\text{расч}}$ - расчетная длина проводов, 4 м.

К трансформаторам тока 10 кВ в РУ-10 кВ ПС ПРП подключены следующие приборы:

СА3020 - щитовой цифровой амперметр, потребляемая мощность $S_{\text{ном.V}} = 4 \text{ В} \cdot \text{А}$.

ПСЧ-4ТМ.05 - прибор учета электрической энергии, 0,1 ВА на канал.

Для всех измерительных приборов принимаем класс точности 0,5, так как почти все ТТ подключены к расчетным счетчикам.

- по термической стойкости:

$$B_K = 5,34^2 \cdot (1,555 + 0,006) = 44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$44 \leq 1200.$$

- на электродинамическую стойкость:

$$i_{пр,с} > i_{уд.}$$

$$32 \text{ кА} > 9,1 \text{ кА.}$$

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов правильности выбора и проверки трансформаторов тока 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 24-25 с указанием основных расчётных данных

Таблица 24 - Нагрузка приборов на низкой стороне ТТ Кт=0,5

Наименование прибора	Цепь	Тип Прибора	Нагрузка, ВА, фазы		
			А	В	С
Амперметр	ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6 (вариант 1)	СА3020	4	–	4
Счетчик АЭ		ПСЧ-4ТМ.05	0,1	–	0,1
Счетчик РЭ		ПСЧ-4ТМ.05	0,1	–	0,1
Итого:			4,2	–	4,2
Амперметр	ПС - ТП 2 - ТП 4 (вариант 1)	СА3020	4	–	4
Счетчик АЭ		ПСЧ-4ТМ.05	0,1	–	0,1
Счетчик РЭ		ПСЧ-4ТМ.05	0,1	–	0,1
Итого:			4,2	–	4,2

Таблица 25 - Проверка трансформатора тока на отходящих присоединениях

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{расч} = 10 \text{ кВ}$ $I_{расч} = 500 \text{ А}$ $I_{расч} = 308 \text{ А}$ $Z_{Нрасч} = 0,275 \text{ Ом}$ $i_{уд} = 9,1 \text{ кА}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$ $I_{НОМ} = 600 \text{ А}$ $I_{НОМ} = 600 \text{ А}$ $Z_{НОМ} = 0,8 \text{ Ом}$ $i_{пр,с} = 32 \text{ кА}$ $K_T = 0,5$	$U_{расч} \leq U_{НОМ}$ $I_{расч} \leq I_{НОМ}$ $Z_{Нрасч} \leq Z_{НОМ}$ $i_{пр,с} > i_{уд}$

Из расчета видно, что трансформатор тока марки ТОЛ-10-1-У2 (Кт=0,5), устанавливаемый на отходящем присоединении проходит по всем параметрам.

4.4 Выбор трансформатора напряжения

Выбираем трансформатор напряжения НАЛИ.-10-У2 (трансформатор напряжения, антирезонансный, с литой изоляцией, для измерений), [11].

Электротехнический расчёт условия выбора трансформаторов напряжения 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

Электротехнический расчёт условия проверки трансформаторов напряжения 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{прив}} \cdot \cos \varphi_{\text{приб}}\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi_{\text{приб}}\right)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}. \quad (65)$$

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{доп.}}. \quad (66)$$

где $S_{\text{доп}}$ - мощность трех фаз по каталожным данным, для класса точности 0,5 75 ВА.

К трансформаторам напряжения 10 кВ в РУ-10 кВ ПС ПРП подключены следующие приборы:

СВ3020 - щитовой цифровой вольтметр, потребляемая мощность $S_{\text{ном.V}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$.

СР3020 - щитовой цифровой ваттметр, потребляемая мощность последовательной цепью: $S_{\text{ном.W(A)}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$ и $S_{\text{ном.W(V)}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$ параллельной.

СС3020 - щитовой цифровой частотометр, потребляемая мощность $S_{\text{ном.A}} = 4 \text{ В} \cdot \text{А}$.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов правильности выбора и проверки трансформаторов напряжения 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформированы таблицы 26-27 с указанием основных расчётных данных

Таблица 26 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения на 10 кВ

Прибор	Тип	Количество приборов	Мощность катушки, В·А	Количество катушек	Суммарная мощность катушки, В·А
Вольтметр	СВ 3020	2	4	1	8
Ваттметр	СР 3020	1	5	2	10
Варметр	СР 3020	1	5	2	10
Частотомер	СС 3020	2	5	2	20
Счетчик АЭ	ПСЧ-4ТМ.05	14	0,1	2	2,8
Счетчик РЭ					
Итого					50,8

Таблица 27 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $S_2 = 50,8 \text{ ВА}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $S_{2ном} = 75 \text{ ВА}$ $K_T = 0,5$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $S_{2ном} \geq S_2$

Из расчета видно, что трансформатор напряжения марки НАЛИ-10-У2 ($K_T=0,5$), проходит по всем параметрам.

4.5 Выбор жестких шин

В КРУ СЭЦ-70-10 выполнены алюминиевые шины прямоугольного сечения $60 \times 8 \text{ мм}^2$, марки АД0, рисунок 11.

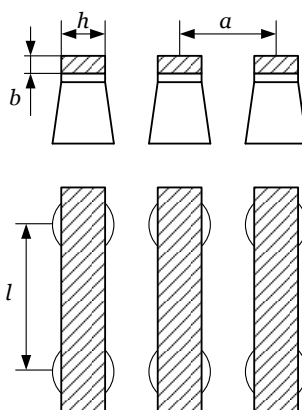


Рисунок 11 – Жесткая ошиновка РУ 10 кВ

Электротехнический расчёт условия выбора ошиновки 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- по условию нагрева

$$I_{\max} \leq I_{\text{дон}},$$

$$500 \text{ A} \leq 1025 \text{ A}.$$

Электротехнический расчёт условий проверки ошиновки 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- по термической стойкости:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}, \quad (67)$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{44 \cdot 10^6}}{91} = 73 \text{ мм}^2.$$

- по условию колебательного воздействия:

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

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12},$$

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

q - поперечное сечение шины, равное 480 мм^2 .

$$l \leq 1,2 \text{ м.}$$

$$0,9 \text{ м} \leq 1,2 \text{ м};$$

где l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, $0,9 \text{ м}$;

J - момент инерции шины.

Электротехнический расчёт механического напряжения ошиновки 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

$$\sigma_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{\text{уд}}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (68)$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{9100^2 \cdot 0,9^2}{0,64 \cdot 0,45} = 4 \text{ МПа,}$$

где $W = \frac{0,8^2 \cdot 6}{6} = 0,64$ - момент сопротивления шины относительно оси, пер-

пендикулярной действию усилия, см^3 ,

a - расстояние между фазами, для выбранного КРУ равно $0,45 \text{ м}$;

l - длина пролёта, м .

$$\sigma_{\text{расч}} < \sigma_{\text{доп}},$$

$$4 < 75 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{\text{доп}} \leq 0,7 \sigma_{\text{разр}},$$

$$4 \leq 0.7 \cdot 130 = 91.$$

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов правильности выбора и проверки жёстких шин 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 28 с указанием основных расчётных данных

Таблица 28 – Выбор жёстких шин 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{\max} = 500 \text{ А}$ $\sigma_{\text{расч}} = 4 \text{ МПа}$ $q_{\min} = 73 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$ $\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$ $q = 480 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\max}$ $\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{расч}}$ $q \geq q_{\min}$

Из расчета видно, что жёстких шины марки АДО-60х8, проходят по всем параметрам.

4.6 Выбор предохранителей трансформаторов напряжения

Для трансформатора напряжения выбираем предохранитель марки ПKN 001-10У3 с кварцевым наполнителем, для трансформатора напряжения, [11].

Электротехнический расчёт условий выбора предохранителей 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{S_{\text{тн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (69)$$

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 10} = 4,3 \text{ А},$$

$$I_{\text{раб макс}} \leq I_{\text{ном}};$$

$$4,3 \text{ A} \leq 10 \text{ A};$$

$$I_{\text{н о}} \leq I_{\text{откл ном}} .$$

$$5,35 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов правильности выбора и проверки предохранителей 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 29 с указанием основных расчётных данных

Таблица 29– Выбор предохранителей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 10 \text{ А}$ $I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 4,3 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 5,34 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} \geq U_{\text{ном}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{по}}$

Из расчета видно, что предохранители марки ПKN 001-10У3, проходят по всем параметрам.

4.7 Выбор ограничителей перенапряжения

Выбираем ОПН марки ОПН-П1-/10,5/40,5/10/3УХЛ1, [14].

Электротехнический расчёт условий выбора ограничителей перенапряжения 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам:

- по максимально допустимому напряжению:

$$U_{\text{н.р.}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном.сети}}, \quad (70)$$

$$U_{\text{н.р.}} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ} .$$

- по длительно допустимому напряжению:

$$U_{расч} = \frac{U_{н.р.}}{K_B}, \quad (71)$$

$$U_{расч} = \frac{10,5}{1,52} = 6,9 \text{ кВ},$$

где K_B - коэффициент величины допустимого напряжения, 1,52, [13].

Электротехнический расчёт энергии поглощения ограничителей перенапряжения 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$\mathcal{E} = \left(\frac{U - U_{ост}}{Z} \right) \cdot U_{ост} \cdot 2T \cdot n, \quad (72)$$

$$\mathcal{E} = \frac{(44,9 - 32)}{200} \cdot 96 \cdot 2 \cdot 0,7326 \cdot 2 = 18,2 \text{ кДж},$$

где U – величина неограниченных перенапряжения;

$U_{ост}$ – остающееся напряжение на ограничителе, $U_{ост} = 32 \text{ кВ}$;

Z – волновое сопротивление линии, $Z = 200 \text{ Ом}$ [13];

T – время распространения волны;

n – количество последовательных токовых импульсов.

Электротехнический расчёт величины неограниченных перенапряжений ограничителей перенапряжения 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$U = \frac{U_0}{1 + k \cdot l \cdot U_0}, \quad (73)$$

$$U = \frac{45}{1 + 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 45} = 44,9 \text{ кВ}$$

где U_0 – напряжение волны перенапряжений в месте ее возникновения;

k – коэффициент полярности, $k = 0,2 \cdot 10^{-3}$;

l – длина защищенного подхода.

Электротехнический расчёт времени распространения волны ограничителей перенапряжения 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$T = \frac{l}{\beta \cdot c}, \quad (74)$$

$$T = \frac{0,2}{0,91 \cdot 300000} \cdot 10^6 = 0,7326 \text{ мкс.}$$

где β – коэффициент затухания волны;

c – скорость распространения волны.

Электротехнический расчёт удельной энергоемкости ограничителей перенапряжения 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{ном}}; \quad (75)$$

$$\mathcal{E}^* = \frac{18,2}{10} = 1,82 \text{ кДж/кВ.}$$

Окончательно выбираем ОПН марки ОПН-П1-10/40,5/10/3УХЛ1 с удельной энергоемкостью 2 кДж/кВ.

4.8 Выбор выключателей нагрузки 10 кВ

Выбираем выключатель нагрузки ВНП-10/400, [11].

Электротехнический расчёт условий выбора выключателей нагрузки 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам для ТП-1:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

$$I_{max} \leq I_{ном};$$

$$185 \text{ А} \leq 400 \text{ А};$$

Электротехнический расчёт условий проверки выключателей нагрузки 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [4] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемым формулам для ТП-1:

- на электродинамическую стойкость:

$$i_{пр,с.} = 32 \text{ кА} > i_{уд} = 9,1 \text{ кА.}$$

- на термическую стойкость:

$$W_K = I_{\text{пю}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a),$$

$$W_K = 4,07^2 \cdot (0,055 + 0,5) = 16 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}} = 12,5^2 \cdot 4 = 625 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$16 \leq 625.$$

Электротехнические расчёты выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных данных по другим ТП района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов правильности выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 30 с указанием основных расчётных данных

Таблица 30 – Выбор выключателей нагрузки ТП

ТП	$I_{\text{max}}, \text{А}$	$I_{\text{НОМ}}, \text{А}$	Условия выбора	$W_{\text{кр}}, \text{кА}^2\text{с}$	$W_{\text{кн}}, \text{кА}^2\text{с}$	Условия выбора	$I_{\text{уд}}, \text{кА}$	$I_{\text{дин}}, \text{кА}$	Условия выбора
ТП-1	185	400	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{max}}$	16	625	$W_{\text{кн}} \geq W_{\text{кр}}$	9,1	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-2	185	400	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{max}}$	5	625	$W_{\text{кн}} \geq W_{\text{кр}}$	6,2	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-3	116	400	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{max}}$	22	625	$W_{\text{кн}} \geq W_{\text{кр}}$	8,2	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-4	116	400	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{max}}$	7	625	$W_{\text{кн}} \geq W_{\text{кр}}$	5,5	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-5	116	400	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{max}}$	26	625	$W_{\text{кн}} \geq W_{\text{кр}}$	7,7	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-6	46	400	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{max}}$	30	625	$W_{\text{кн}} \geq W_{\text{кр}}$	7,3	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$

По данным сравнения выбранная марка выключателя нагрузки подходит для всех ТП.

5 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ

Электротехнический расчёт величины ёмкостного тока в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для ТП-1:

$$I_c = \frac{1,35 \cdot U_H \cdot L_K}{10}; \quad (76)$$

$$I_c = \frac{1,35 \cdot 10 \cdot 9,1}{10} = 12,3 \text{ А};$$

где U_H – принятое номинальное напряжение сети, 10 кВ;

L_K – суммарная длина КЛ, км.

По [10] допустимая величина 20 А, дополнительные мероприятия по обеспечению компенсации ёмкостного тока не требуются.

6 РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ СЕТИ 10 КВ

Расчет надежности сетей электроснабжения проводим аналитическим методом, [16]. Данный метод позволяет количественно оценить надежность электрической схемы любой сложности.

Вероятностный расчёт интенсивности отказов для последовательно соединенных элементов в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$\omega = \sum \omega_i + \omega_{\text{пр.наиб}}, \quad (77)$$

где $\omega_{\text{пр.наиб}}$ - наибольшая частота преднамеренных отключений, 1/год.

Вероятностный расчёт вероятности преднамеренных отказов элементов в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для трансформатора 10/0,4 кВ:

$$q_{\text{пр}} = \frac{\omega \cdot t_B}{T_c}; \quad (78)$$

$$q_{\text{пр}} = \frac{0,03 \cdot 10}{8760} = 0,00003425.$$

Вероятностный расчёт потока отказов для двух параллельно соединенных цепочек сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$\omega_{II,III} = \omega_{II} \cdot q_{III} + \omega_{III} \cdot q_{II} + \omega_{II}^* \cdot q_{npIII} + \omega_{III}^* \cdot q_{npII}, \quad (79)$$

$$\begin{aligned} \omega_{II,III} &= 1,447 \cdot 0,0019 + 1,175 \cdot 0,00204 + \\ &+ (1,447 - 0,03) \cdot 0,00003 + (1,175 - 0,03) \cdot 0,00003 = 0,00518 \end{aligned}$$

где q_{np} - вероятность преднамеренных отказов.

Вероятностный расчёт средней вероятности состояния сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$q_c = K_{ПС} = q_1 \cdot q_2 + K_{np1} \cdot \lambda_{np1} \cdot q_2 + K_{np2} \cdot \lambda_{np2} \cdot q_1, \quad (80)$$

$$\begin{aligned} q_c = K_{ПС} &= 0,00204 \cdot 0,0019 + 0,918 \cdot 1,447 \cdot 0,0019 + \\ &+ 0,918 \cdot 1,175 \cdot 0,00204 = 0,00468, \end{aligned}$$

где K_{npi} – коэффициент преднамеренного отключения.

Вероятностный расчёт коэффициент преднамеренного отключения сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$K_{npi} = 1 - e^{\frac{-t_{npi}}{t_{Вэк6}}}, \quad (81)$$

$$K_{np1} = K_{np2} = 1 - e^{\frac{-5}{2}} = 0,918$$

Вероятностный расчёт вероятности отказа системы с учетом АВР сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» может быть

выполнен при условии, если найдены составляющие формулы полной вероятности:

- условная вероятность отказа совпадения отключения каждой из секции шин (0,002) и вероятности во включении секции шин ПС ПРП:

$$q(S / A_1 A_2) = 2 \cdot 2 \cdot q_{III} \cdot 0,01 = 4 \cdot 0,002 \cdot 0,01 = 0,00006;$$

- условная вероятность отсутствия отказа во включении АВР ПС ПРП при неуспешном отключении повреждения:

$$q(S / A_1' A_2) = 0,5,$$

- условная вероятность отсутствия отказа во включении АВР ПС ПРП при успешном отключении повреждения:

$$q(S / A_1 A_2') = 0,5,$$

- условная вероятность отказа во включении АВР ПС ПРП при успешном отключении повреждения:

$$q(S / A_1' A_2') = 0,5,$$

- вероятность отказа секции шин 10 кВ ПС ПРП, [16]:

$$p(A_1) = 1 - q(A_1') = 1 - 2 \cdot q_{III};$$

$$p(A_1) = 1 - 2 \cdot 0,002 = 0,997;$$

- вероятность рабочего состояния АВР 10 кВ ПС ПРП, [16]:

$$p(A_2) = 1 - 0,01 = 0,99;$$

- вероятность отказа АВР 10 кВ ПС ПРП, [16]:

$$q(A_1') = 2 \cdot q_{III};$$

$$q(A_1') = 2 \cdot 0,002;$$

- вероятность отказа в автоматическом включении резерва, [16]:

$$q(A_2') = 0,01.$$

Вероятностный расчёт вероятности отказа системы с учетом АВР сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$q_{c.ABP} = q(S / A_1 A_2) \cdot p(A_1) \cdot p(A_2) + q(S / A_1' A_2) \cdot q(A_1') \cdot p(A_2) + q(S / A_1 A_2') \cdot p(A_1) \cdot q(A_2') + q(S / A_1' A_2') \cdot q(A_1') \cdot q(A_2') \quad (82)$$

$$q_{c.ABP} = 0,00006 \cdot 0,997 \cdot 0,99 + 0,5 \cdot 2 \cdot 0,002 \cdot 0,01 \cdot (0,004) \cdot 0,99 + 0,5 \cdot 2 \cdot 0,002 \cdot 0,01 \cdot (0,004) \cdot 0,01 + 0,5 \cdot 2 \cdot 0,002 \cdot 0,01 \cdot (0,004) \cdot 0,01 = 0,00006329.$$

Вероятностный расчёт среднего времени безотказной работы сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$T_c = \frac{1}{\omega_c} ; \quad (83)$$

$$T_c = \frac{1}{0,00518} = 20 \text{ лет.}$$

Вероятностный расчёт расчётного времени безотказной работы сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$T_p = 0,105 \cdot \frac{1}{\omega_c} ; \quad (84)$$

$$T_p = 0,105 \cdot \frac{1}{0,00518} = 193 \text{ лет.}$$

Вероятностный расчёт среднего времени восстановления сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$t_{BC} = \frac{q_c}{\omega_c} ; \quad (85)$$

$$t_{BC} = \frac{0,00006329}{0,00518} = 4 \text{ с.}$$

Вероятностный расчёт недоотпущенной электроэнергии в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для

выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$W_{нед} = P_{деф} \cdot q_c \cdot 8760; \quad (86)$$

$$W_{нед} = 5798 \cdot 0,00006329 \cdot 8760 = 3214,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Вероятностный расчёт недоотпущенной мощности в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$P_{нед} = P_P \cdot q_c ; \quad (87)$$

$$P_{нед} = 5798 \cdot 0,00006329 = 0,367 \text{ кВт}.$$

Вероятностный расчёт ущерба недоотпуска в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$Y = C \cdot W_{нед} ; \quad (88)$$

$$Y = 2,76 \cdot 3214,5 = 8872 \text{ руб}.$$

где C – стоимость электроэнергии, отпускаемой потребителям, равная 2,76 руб/кВт·ч.

Вероятностные расчёты надёжности сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием программы Mathcad 2007 (приложение) с

учётom схемы замещения и схемы замещения для расчёта надёжности сети 10 кВ района застройки города Благовещенск, рисунок 12-13.

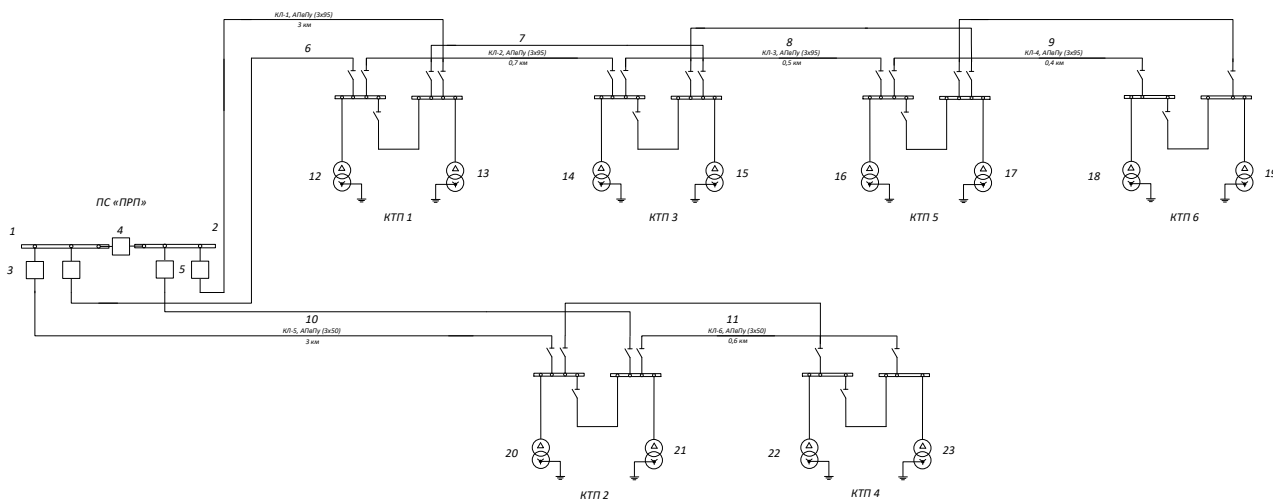


Рисунок 12 - Схема питания

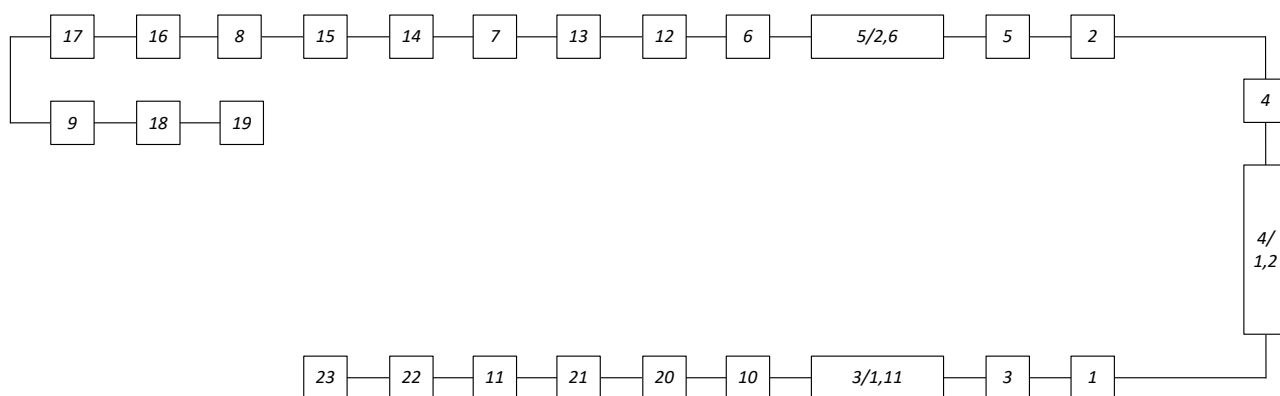


Рисунок 13 - Схема надёжности сети 10 кВ

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов вероятностных расчётов сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» сформирована таблица 18 с указанием основных расчётных данных.

Таблица 31 – Результаты расчёта надёжности

Показатели надёжности сети	Значение показателя надёжности сети
1	2
Вероятность отказа системы без учёта АВР	0,00468
Вероятность отказа системы с учётом АВР	0,00006329
Коэффициент вынужденного простоя системы	0,00006329

Продолжение таблицы 31

1	2
Коэффициент готовности системы	0,99994
Время восстановления, с	4
Расчётное время безотказной работы, лет	193
Среднее время безотказной работы, лет	20
Недоотпуск ЭЭ, кВт*ч в год	3214,5
Ограничения мощности, кВт	0,367
Ущерб от недоотпуска за год, руб	8872

Проектируемая система электроснабжения 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [12] надёжна по всем показателям.

7 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

В данной выпускной квалификационной работе сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются кабельными линиями протяженностью по трассе 8,2 км.

Электротехнический расчёт коэффициента трансформации трансформатора тока 10 кВ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$n_T = \frac{300}{5} = 60 .$$

7.1 Токовая отсечка без выдержки времени

Электротехнический расчёт первичного тока срабатывания токовой отсечки в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$I_{с.з.} = k_H \cdot I_{к.мах}^{(3)}; \tag{89}$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 5,34 = 5,87,$$

где k_H – коэффициент надежности срабатывания блоков защит, 1,1;

$I_{к.мах}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на шинах 10 кВ ТП-1.

Электротехнический расчёт чувствительности отсечки в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$K_{\psi} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{С.З.}}}, \quad (90)$$

$$K_{\psi} = \frac{5,87}{3,31} = 0,6 \leq 2,$$

0,6 < 2 - неверно

где $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ на шинах 10 кВ ТП-6.

Электротехнический расчёт вторичного тока срабатывания отсечки в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$I_{\text{С.Р.}} = k_{\text{СХ}} \frac{I_{\text{С.З.}}}{n_{\text{T}}}, \quad (91)$$

$$I_{\text{С.Р.}} = 1 \cdot \frac{5870}{60} = 98 \text{ А} .$$

Выдержка времени ТО: 0 с.

Электротехнические расчёты токовой отсечки без выдержки времени в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных данных по другим кабельным линиям района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов токовой отсечки без выдержки времени в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 32 с указанием основных расчётных данных

Используются блоки микропроцессорных защит.

Таблица 32 – Расчёт токовой отсечки

Линия	ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6	ПС - ТП 2 - ТП 4
$I_{(3)по}, \text{кА}$	5,34	3,01
$I_{(2)по}, \text{кА}$	3,31	2,21
$I_p, \text{А}$	250	154
$I_{н\text{т}}, \text{А}$	300	200
$I_{с.з.}, \text{кА}$	6	3
n_T	60	40
$I_{с.р.}, \text{А}$	98	83
$K_{ч}$	0,60	0,70

7.2 Максимальная токовая защита линий

Электротехнический расчёт первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_{в} \quad (92)$$

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

где k_H – коэффициент надежности блоков защит, 1,1;

$k_{с.з.}$ – коэффициент запуска двигателей, 1;

$k_{в}$ – коэффициент возврата, 0,95;

$I_{раб.}$ – допустимый максимальный ток кабеля, А.

Электротехнический расчёт тока срабатывания максимальной токовой защиты в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$I_{с.р.} = I_{с.з.} \cdot k_{сх} / n_T, \quad (93)$$

$$I_{c.p.} = 305 \cdot 1 / (60) = 5,08.$$

где k_{cx} – коэффициент схемы, $k_{cx} = 1$;

Электротехнический расчёт чувствительности МТЗ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$K_{\chi} = \frac{3310}{300} = 11 \geq 1,5 .$$

Электротехнический расчёт времени срабатывания МТЗ в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$t_{MTЗ} = t_{p.z.} + \Delta t + t_{OTC}; \tag{94}$$

$$t_{MTЗ.} = 0,025 + 0,5 + 0 = 0,525,$$

где $t_{OTC.}$ – время срабатывания токовой отсечки, 0 с.

Электротехнические расчёты максимальной токовой защиты в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных данных по другим кабельным линиям района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов максимальной токовой защиты в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 33 с указанием основных расчётных данных.

Используются блоки микропроцессорных защит.

Таблица 33 – Расчёт МТЗ

Линия	ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6	ПС - ТП 2 - ТП 4
$I_{(2)по}, \text{кА}$	3,31	2,21
$I_{НТТ}, \text{А}$	300	200
$I_{с.з.}, \text{кА}$	0,30	0,23
$I_{с.р.}, \text{А}$	5,1	5,6
$K_{ч}$	11	10

7.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Электротехнический расчёт тока через трансформатор тока нулевой последовательности в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$I_{ТНП.повр.л} = I_{ЗНЗ} - I_{повр.л}, \quad (95)$$

$$I_{ТНП.повр.л} = 12,3 - 6,2 = 6,1 \text{ А},$$

где $I_{ЗНЗ}$ – суммарный емкостной ток сети, $I_{ЗНЗ} = 12,3 \text{ А}$;

$I_{повр.л}$ – ток замыкания на землю линии.

Электротехнический расчёт тока замыкания на землю в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$I_{повр.л} = \frac{10 \cdot 1,35 \cdot 4,6}{10} = 6,2 \text{ А}.$$

Электротехнический расчёт тока срабатывания защиты сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле для линии ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6:

$$I_{с.з.} = I_{ГНП.повр.л} / k_{ч} , \quad (96)$$

$$I_{с.з.} = 6,1 / 1,3 = 4,1 \text{ А,}$$

где $k_{ч}$ - коэффициент надежности блоков защит, 1,3.

Электротехнические расчёты защиты от замыканий на землю в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются по аналогии, с показанным выше порядком, но с использованием исходных данных по другим кабельным линиям района застройки города Благовещенск.

С целью обеспечения компактности и наглядности полученных результатов электротехнических расчётов защиты от замыканий на землю в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск сформирована таблица 34 с указанием основных расчётных данных.

Используются блоки микропроцессорных защит.

Таблица 34 – Расчёт ЗНЗ

Линия	ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 5 - ТП 6	ПС - ТП 2 - ТП 4
$I_{повр.л}, \text{ А}$	6,21	4,86
$I_{ГНП.повр.л}, \text{ А}$	6,08	7,43
$I_{с.з.}, \text{ А}$	4,1	5,0

7.4 Устройства автоматического включения резерва

ТП, питающиеся по одной рабочей линии, обеспечиваются автоматически включаемым резервным источником питания (АВР), [18].

Электротехнический расчёт напряжения срабатывания пусковых реле АВР в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$U_{с.з.} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{ном}; \quad (97)$$

$$U_{с.з.} = 0,4 \cdot 10000 = 400 \text{ В.}$$

Электротехнический расчёт времени срабатывания АВР в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$t_{\text{ABP}} = t_{\text{MTЗ}} + \Delta t;$$

$$t_{\text{ABP}} = 0,525 + 0,5 = 1,025 \text{ с.}$$

8 ЗАЗЕМЛЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 10/0,4 КВ

Рассчитаем заземляющее устройство КТП. Заземляющее устройство представляет собой систему из вертикальных и горизонтальных электродов диаметром 10 мм, соединённых между собой сваркой.

Электротехнический расчёт сопротивления стационарного назначения вертикального электрода для ТП-1 в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (98)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{50}{\pi \cdot 2 \cdot 4} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 0,2 + 4)}{d \cdot (4 \cdot 0,2 + 4)} \right] = 15 \text{ Ом},$$

где l_B - длина вертикального электрода, 4 м;

h_3 - глубина заложения заземлителя, 0,2 м;

$\rho_{\text{грунт}}$ - удельное сопротивление грунта, по [21] 50 Ом*м;

d - диаметр электродов, 0,01 м.

Электротехнический расчёт сопротивления стационарного назначения горизонтального электрода для ТП-1 в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (99)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{50}{\pi \cdot 7,5} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot 7,5}{\sqrt{2 \cdot 0,01 \cdot 0,2}} \right] = 6 \text{ Ом},$$

где l – длина горизонтальной полосы, 7,5 м.

Электротехнический расчёт сопротивления стационарного назначения для ТП-1 в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_{\text{В}} \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_{\text{Г}} \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (100)$$

$$R = \frac{15 \cdot 6}{0,75 \cdot (4 \cdot 15 + 2 \cdot 6)} = 2,1 \text{ Ом},$$

где $\eta = 0,75$ - коэффициент использования;

$n_{\text{В}}$ - число вертикальных электродов, 4 шт;

$n_{\text{Г}}$ - число горизонтальных электродов, 2 шт;

Электротехнический расчёт сопротивления импульсного назначения вертикального электрода для ТП-1 в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$R_{\text{иВ}} = \frac{\alpha_{\text{иВ}} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_{\text{В}}}, \quad (101)$$

$$R_{\text{иВ}} = \frac{1 \cdot 15}{0,75 \cdot 4} = 5 \text{ Ом},$$

где $\alpha_{\text{иВ}} = 1$ - импульсный коэффициент вертикального электрода.

Электротехнический расчёт удельной индуктивности сопротивления импульсного назначения для ТП-1 в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$L_o = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (102)$$

$$L_o = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{7,5}{0,01/2} - 0,31 \right) = 1,4 \text{ мкГн/м.}$$

Электротехнический расчёт импульсного коэффициента сопротивления импульсного назначения для ТП-1 в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$\alpha_{uГ} = 1 + \frac{L_o \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{эГ}}, \quad (103)$$

$$\alpha_{uГ} = 1 + \frac{1,4 \cdot 7,5}{3 \cdot 2 \cdot 6} = 1,32,$$

где $\tau_\phi = 2 \text{ мкс}$ - длительность фронта тока молнии.

Электротехнический расчёт сопротивления импульсного назначения горизонтального электрода для ТП-1 в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$R_{uГ} = \alpha_u \cdot R_{эГ}. \quad (104)$$

$$R_{uГ} = 1,32 \cdot 6 = 7 \text{ Ом.}$$

Электротехнический расчёт сопротивления импульсного назначения для ТП-1 в сети 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в соответствии с [19] для выпускной квалификационной работы осуществляется по применяемой формуле:

$$R_u = \frac{R_{uГ} \cdot R_{uВ}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{uГ} + n_G \cdot R_{uВ})} \quad (105)$$

$$R_u = \frac{5 \cdot 7}{0,75 \cdot (4 \cdot 7 + 2 \cdot 5)} = 1,2 \text{ Ом.}$$

Полученное стационарное сопротивление заземляющего устройства не превышает 4 Ом. Полученное импульсное сопротивление заземляющего устройства не превышает 9 Ом.

В результате расчётов получено, что заземлитель ТП-1 отвечает требованиям молниезащиты и защиты от поражения током при прикосновении к токоведущим частям, рисунок 14.

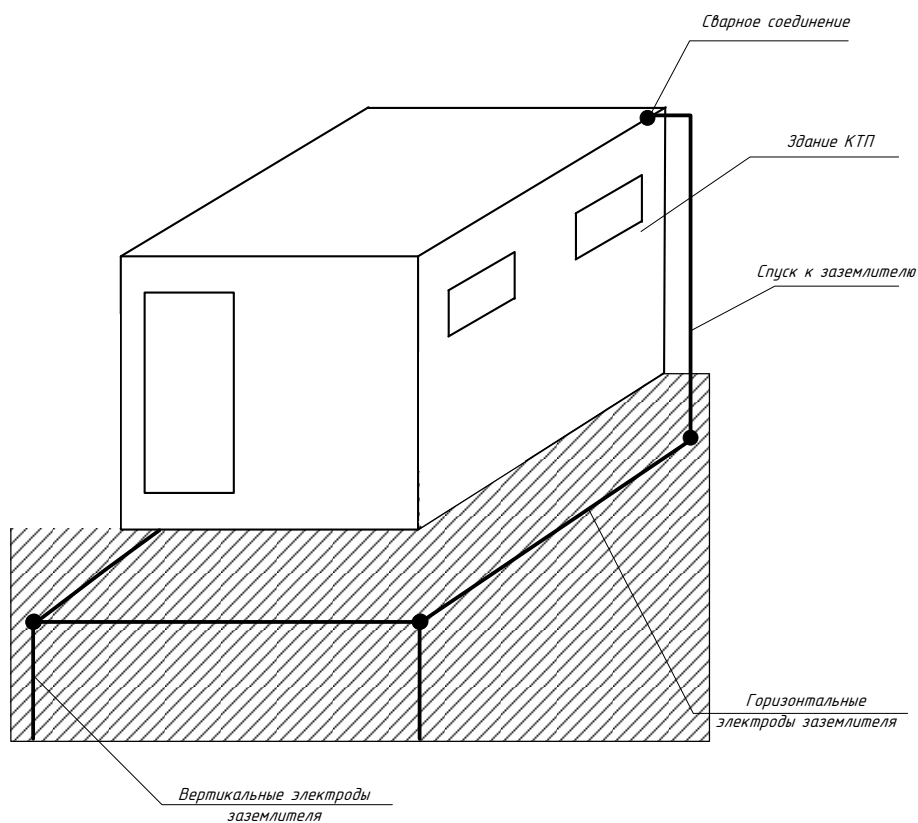


Рисунок 14 – Общий вид устройства заземлителя ТП-1

9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

В данной выпускной квалификационной работе проводится разработка системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ выбранного района города Благовещенск - комплекса «Маленькая венеция», подлежащего застройке зданиями переменной этажности.

Для обеспечения безопасности работ по монтажу системы электроснабжения 0,4-10 кВ необходимо рассмотреть соответствующие меры безопасности при монтаже кабельных линий 10-0,4 кВ, трансформаторных подстанций, распределительных устройств центров питания. Так как проектом предусматривается прокладка КЛ 10-0,4 кВ и сооружение КТП необходимо определить площадь земель отводимых во временное и постоянное пользование. В качестве мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций рассмотрим меры пожарной безопасности.

9.1 Безопасность

Сооружение объектов электросетевого хозяйства комплекса «Маленькая венеция», предусмотренного данной выпускной квалификационной работой, а именно – КЛ 10-0,4 кВ и КТП, должно выполняться с соблюдением мер безопасности [29]. Так как выпускная квалификационная работа предусматривает земляные работы по прокладке КЛ (рисунок 15) и установке КТП, то рассмотрим меры безопасности при работе с КЛ.

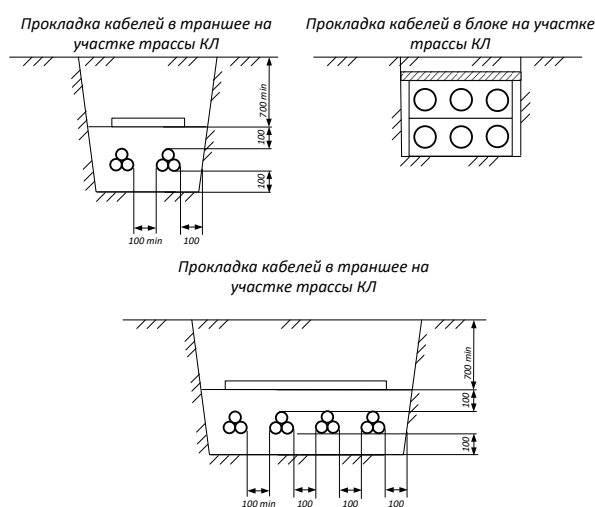


Рисунок 15 – Прокладка КЛ

Любые земляные работы на территории собственника земельного участка, где предусмотрено сооружение кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» должны выполняться при обязательном согласовании планируемых трасс прокладки кабелей с охранными зонами подземных коммуникаций. Наличие письменного разрешения на каждый вид работ при монтаже кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» оформляется до проведения каких-либо работ. Комплект сопроводительной документации к разрешению на сооружение кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» должен включать обязательные планы существующих коммуникаций, глубины их заложения и протяженности, указаны координаты на текущей схеме зонирования территории района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

В ситуациях, когда обнаруживаются бесхозные или непомеченные в согласованной документации объекты подземных коммуникаций в процессе сооружения кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» земляные работы останавливаются до момента установления принадлежности объекта подземных коммуникаций и получения дополнительных согласований.

Сооружение кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» с использованием землеройных машин должно проводиться на расстоянии менее 1 м от трассы кабелей не допускается, в случае использования ковшовой техники на расстоянии менее 5 м от трассы кабелей не допускается при условии, что работы не связаны с раскопкой кабеля. Использование машин и механизмов по проведению вскрышных работ над трассой кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» допустимо при глубине грунта не менее 30 см над кабелями. Дальнейшие работы вскрышные работа проводятся ручным способом.

Сооружение кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в холодное время года с задействованием специальных устройств обогрева грунта допустимо при расстоянии не менее 15 см до кабелей.

Работы по организации траншей кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» проводятся с обязательным ограждением участков работ по требованиям [35], установкой предупреждающих знаков и надписей, сигнального освещения в темное время суток.

Устройство траншей кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в слабом или влажном грунте проводится только с обеспечением укреплений стенок траншеи. В случаях, когда проводятся работы в сыпучем грунте района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» без укрепления стенок траншеи сооружаются откосы в соответствии с углом естественного откоса грунта. Вынимаемый грунт из траншеи размещается на расстоянии не менее 0,5 м от края траншеи

Устройство траншей кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» без укрепления стенок траншеи в насыпных песчаных и крупнообломочных грунтах высокой влажности в случаях отсутствия грунтовых вод и различных подземных сооружений допускается на глубину не более 1 м.

Устройство траншей кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» без укрепления стенок траншеи в супесях в случаях отсутствия грунтовых вод и различных подземных сооружений допускается на глубину не более 1,25 м.

Устройство траншей кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» без укрепления стенок траншеи в суглинках и глинах высокой влажности в случаях отсутствия грунтовых вод и различных подземных сооружений допускается на глубину не более 1,5 м.

Устройство траншей кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» без укрепления стенок траншеи в плотных

грунтах с использованием землеройной техники допускается на глубину не более 3 м. При таких работах нахождение персонала из числа рабочих не допускается. В противном случае устраиваются откосы для безопасного покидания траншеи персоналом.

Устройство траншей кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» без укрепления стенок траншеи в мерзлых грунтах допускается на глубину промерзания.

Устройство траншей кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в случаях, не указанных в [35], допускается с оборудованием откосов или укреплений стенок траншеи по всей высоте.

Устройство кабельных муфт кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» допускается на деревянной доске с обязательным её креплением специальными удерживающими устройствами, прокладываемыми через траншею, которые закрываются коробами с крепежом без применения гвоздей

Открытые муфты при прокладке КЛ 10 кВ комплекса «Маленькая венеция» должны укрепляться на доске, подвешенной с помощью проволоки или троса к перекинутым через траншею брусам, и закрываться коробами. Одна из стенок короба должна быть съемной и закрепляться без применения гвоздей. Открытые муфты при прокладке КЛ 10 кВ комплекса «Маленькая венеция» должны укрепляться без использования соседних кабелей и трубопроводов.

Подвешивание монтируемых кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» проводится так, чтобы не происходило смещения кабелей, открыто расположенные кабели следует закрывать коробами с установкой плаката безопасности «Стоять! Напряжение».

При прокладке КЛ 0,4-10 кВ комплекса «Маленькая венеция» необходимо предусмотреть меры против захвата кабелей 0,4-10 кВ выступами частей одежды работников, осуществляющих монтаж. Работы по перемещению барабанов ка-

бельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» проводятся после предварительного крепежа концов кабелей и только по горизонтальной поверхности из настила или твердого грунта.

Ручная прокладка кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» допускается с использованием спецодежды при распределении массы кабелей на каждого работника-мужчину массы не более 35 кг, на работника-женщину массы не более 15 кг,

Прокладка кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» не допускается при нахождении работников внутри радиуса поворота кабеля и ручной его корректировке, допускается применение угловых роликов.

Прогрев кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» не допускается трансформаторами напряжением выше 380 В.

Прокладка кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» допускается без отключения кабеля с использованием спецодежды (диэлектрических перчаток, брезентовых рукавиц, а также кабельные муфты должны крепиться гибкими крепежами работниками, у которых есть опыт аналогичных работ. Прокладка кабельных линий 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» допускается без отключения кабеля при его температуре не ниже 5 градусов при надзоре для КЛ 10 кВ ответственными работниками с группой по электробезопасности V и с группой по электробезопасности IV для КЛ 0,4 кВ,

Прокладка кабельных линий 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» предусматривается с оборудованием подземного тоннеля для прокладки через оживлённую кольцевую магистраль города Благовещенск в районе улицы Магистральная-Игнатьевское шоссе.

Прокладка кабельных линий 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в подземных кабельных сооружениях со спуском в них

должна осуществляться не менее чем тремя работниками по наряду, оформленном в установленном порядке, двое работников при этом выполняют роль страховщиков. Ответственный за проведение подобных работ должен иметь группу по электробезопасности IV.

Прокладка кабельных линий 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в подземных кабельных сооружениях со спуском в них должна осуществляться при наличии утверждённого ответственным работником плана подземных коммуникаций газового хозяйства, с которым должен быть ознакомлен каждый работник, задействованный на работах в подземных кабельных сооружениях. Все подземные коммуникации газового хозяйства обязательно отмечаются на плане и оборудуются надёжно запирающимися люками и дверями, с обозначением соответствующими надписями и знаками.

Прокладка кабельных линий 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» в подземных кабельных сооружениях со спуском в них должна осуществляться при наличии у каждого работника сигнального газового анализатора для предотвращения отравления персонала.

9.2 Экологичность

При проектировании КТП и линий 0,4-10 кВ комплекса «Маленькая венеция» должны выполняться требования экологической безопасности и охраны здоровья населения.

При несоблюдении ответственными лицами за сооружение системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ выбранного она застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» вводятся ограничения на производимые работы на период приведения в соответствие системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ выбранного она застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция»

9.2.1 Отвод земель под электрические сети

В данной выпускной квалификационной работе проводится разработка системы электроснабжения кабелями напряжением 10 - 0,4 кВ. Определяем отвод земель комплекса «Маленькая Венеция» под электрические сети в постоянное и временное пользование.

Согласно [30], использование земель над кабельными линиями и под проводами воздушных линий по назначению должно осуществляться землевладельцами и землепользователями с соблюдением действующих Правил охраны электрических сетей.

Проводится расчёт площади земли, отводимой в постоянное пользование для района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» для выпускной квалификационной работы по применяемой формуле:

$$S_{КТП} = S_{КТП2мп} \cdot n_{ТП2}, \quad (106)$$

$$S_{КТП} = 80 \cdot 6 = 480 \text{ м}^2,$$

где $S_{КТП2мп}$ - площадь земли, отводимая под двухтрансформаторную КТП, согласно [30] 80 м^2 ;

$n_{ТП2}$ - количество двухтрансформаторных КТП района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция», 6 шт.

Отвод земель во временное пользование для района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняется на период строительства КЛ-10-0,4 кВ.

Проводится расчёт площади земли, отводимой во временное пользование для района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» для выпускной квалификационной работы по применяемой формуле:

$$S_{КЛ} = (L_{КЛ10кВ} + L_{КЛ0,4кВ}) \cdot L_{полосы}, \quad (107)$$

$$S_{КЛ} = (8200 + 3250) \cdot 6 = 68700 \text{ м}^2,$$

где $L_{КЛ10кВ}, L_{КЛ0,4кВ}$ - длина КЛ 10 и 0,4 кВ соответственно, м ;

$L_{\text{полосы}}$ - ширина полосы земли отчуждения, согласно [36] 6 м .

9.2.2 Устройство маслоприёмника

В системе электроснабжения 10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» применяются КТП с трансформаторами мощностью 400, 1000, 1600 кВА. Согласно [31], для КТП с трансформаторами мощностью 400 кВА маслоприёмные устройства можно не выполнять, так как вес масла не превышает 600 кг.

С целью обеспечения компактности и наглядности справочных данных трансформаторов района застройки города Благовещенск сформирована таблица 35 с указанием основных справочных данных.

Таблица 35- Паспортные данные трансформаторов

Типовая мощность, кВА	Вес масла, кг	Габаритные размеры	
		длина	ширина
400	465	1400	980
1000	750	2100	1400
1600	1180	2400	1600

Выбирается маслоприёмник для закрытого размещения трансформатора в отсеке комплектной трансформаторной подстанции.

В соответствии с [31], габариты маслоприёмника должны выступать за габариты трансформатора не менее, чем на 0,2 м.

Проводится расчёт площадь маслоприёмника для трансформатора мощностью 1000 кВА типа ТМ-1000/10 района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» для выпускной квалификационной работы по применяемой формуле:

$$S_{\text{МП}} = (A + 2 \cdot \delta) \cdot (B + 2 \cdot \delta), \quad (108)$$

$$S_{\text{МП}} = (2,1 + 2 \cdot 0,2) \cdot (1,4 + 2 \cdot 0,2) = 4,5 \text{ м}^2,$$

где A - длина трансформатора, согласно таблице 52, м;

B - ширина трансформатора, согласно таблице 52, м;

δ - ширина выступа, согласно [31], 0,2 м.

Проводится расчёт объёма трансформаторного масла для трансформатора мощностью 1000 кВА типа ТМ-1000/10 района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» для выпускной квалификационной работы по применяемой формуле:

$$V_{TM} = \frac{M}{\rho_{TM}}, \quad (109)$$

$$V_{TM} = \frac{750}{880} = 0,85 \text{ м}^3,$$

где M - масса масла, согласно таблице 45, кг;

ρ_{TM} - плотность масла, выбираемая из диапазона 880-890, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Проводится расчёт глубины маслоприёмника для приёма 100 % масла для трансформатора мощностью 1000 кВА типа ТМ-1000/10 района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» для выпускной квалификационной работы по применяемой формуле:

$$h_{TM} = \frac{V_{TM}}{S_{МП}}, \quad (110)$$

$$h_{TM} = \frac{0,85}{4,5} = 0,19 \text{ м.}$$

Проводится расчёт окончательной глубины маслоприёмника с учётом насыпи гравия и зазора от сетки до поверхности масла для трансформатора мощ-

ностью 1000 кВА типа ТМ-1000/10 района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» для выпускной квалификационной работы по применяемой формуле:

$$h_{МП} = h_{ТМ} + h_z + h_{ен} + h_p \quad (111)$$

$$h_{МП} = 0,19 + 0,25 + 0,05 + 0,075 = 0,56$$

где h_z - толщина слоя гравия на решетке ($h_z = 0,25$ м);

h_p - расстояние до решетки ($h_p = 0,05$ м);

$h_{ен}$ - толщина воздушной прослойки на гравием ($h_{ен} = 0,075$ м);

В соответствии с [37], маслоприёмники без отвода масла выполняются с заглублением, при этом маслоприёмники покрываются металлической решеткой. На металлическую решетку укладывается слой толщиной 0,25 м состоящий из чистого гравия или промытого гранитного щебня. В маслоприёмнике выдерживается расстояние от верхнего уровня масла до решетки 0,05 м. Верхний уровень гравия в маслоприемнике под трансформатором должен быть на 0,075 м ниже отверстия воздухоподводящего вентиляционного канала.

Эскиз маслоприёмника представлен на рисунке 16.

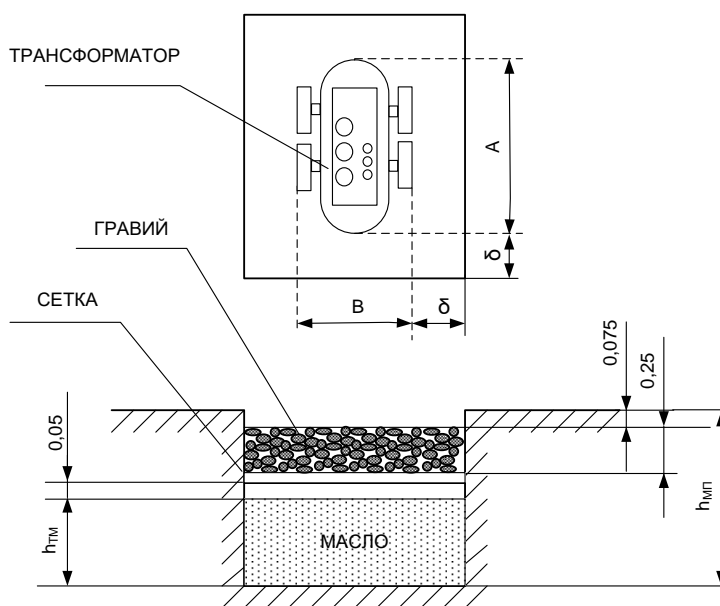


Рисунок 16 - Эскиз маслоприёмника

9.3 Чрезвычайные ситуации

В данной выпускной квалификационной работе предусматривается проведение работ по монтажу маслонаполненных трансформаторов 10/0,4 кВ комплекса «Маленькая Венеция» и кабелей 10 кВ с изоляцией из ПВХ. При этом необходимо руководствоваться правилами пожарной безопасности, [32].

Тушение пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» достигается при помощи охлаждения зоны горения или горящего вещества, разбавлением концентрации реагирующих веществ и как следствие снижением скорости реакции окисления, разделение зоны горения и горящего вещества, снижением интенсивности горения или окисления, [40].

Тушение пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» рекомендуется проводить с использованием как огнетушащих, так и технических средств огнетушения.

Выбор огнетушащего средства для тушения пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» определяется условиями пожара и свойствами материала в условиях пожара, а также пространством распространения пожара и его объёма, [40].

Выбор огнетушащего средства для тушения пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» зависит от параметров пожара, условий газообмена, теплообмена при пожаре, от действий персонала по ликвидации горения, от наличия и достаточности огнетушащих средств и их эффективности.

Способы тушения пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» определяются степенью воздействия на процесс горения, [33]:

- снижение температуры конденсированной фазы непрерывными струями воды;
- снижение температуры распыленными дисперсными струями воды;
- снижение температуры за счёт смешивания горючих материалов.

Способы тушения пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» с использованием воды обладают определенной эффективностью, так как вода обладает высокой термической стойкостью. Разложение на водород и кислород происходит при температуре выше 1700°C. Тушение водяными струями элементов системы электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» и горючих жидкостей безопасно, поскольку температура при их горении не превышает 1300°C, [40].

Тушение пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» обеспечивается при условии подачи воды в распыленном состоянии. Снижение расхода воды достигается при использовании растворов-смачивателей, которые снижают поверхностное натяжение воды.

Ввиду электропроводности воды, снижение концентрации солей, растворенных в воде снижает ее электропроводность, [38]. При добавлении в воду добавок в виде пенообразователей, ионогенных смачивателей и солей, участвующих в процессе диссоциации воды, её электропроводность возрастает вплоть до кратности 100-1000 раз относительно случая использования дистиллированной воды. Таким образом, тушение пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» с использованием компактных или распыленных струй воды в условиях, когда электроустановки не обесточены, допустимо только в условия открытой видимости частей электроустановок ствольщиком, а также кабелей напряжением 0,4-10 кВ системы электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция».

Тушение пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» обеспечивается при условии подачи воды с заданной интенсивностью, то есть определенный объём воды подается на заданную площадь горячей поверхности, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Подача пены в зону горения осуществляется посредством сосредоточения струи или рассредоточения,

наибольшая эффективность и скорость тушения достигается при подачи пены струями в зону горения.

В соответствии с [39], для того, чтобы предотвратить чрезвычайные ситуации в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» для обслуживающих работников необходимо организовать мероприятия по обучению и проверке знаний правил пожарной безопасности, обеспечению противопожарного инструктажа, проведению тренировок по пожарнотехническому минимуму. При приёме на работу работников по обслуживанию системы электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» организовывается противопожарный инструктаж, далее при выполнении работ организовывается вторичный инструктаж на рабочем месте.

Причинами пожаров в КТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» являются повреждения работающего электрооборудования КТП с последующим воспламенением изоляции кабелей, трансформаторного масла. Кроме того, во время работ с использованием открытого огня также может произойти возгорание материала, находящегося в непосредственной близости от открытого пламени.

Для предотвращения пожаров в КТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» организовывается контроль и надзор за рабочими характеристиками трансформаторов, уровнем масла, герметичности баков трансформаторов. Хранение горючих материалов и разогрев открытым пламенем материалов в РУ КТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» запрещено.

Для предотвращения пожаров в КТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняются требования по оснащению огнетушителями, ящиками с песком, асбестовой тканью мест проведения огневых работ при нахождении по близости конструкций, возгорание которых возможно при открытых огневых работах вблизи них, а также

при нахождении по близости огнеопасных лаков и красок запрещено применение открытого огня.

Для предотвращения пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» к работам организуется допуск работников, прошедших обучение по противопожарному минимуму. В случае возгорания работники бригады по обслуживанию системы электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» сообщают о произошедшем возгорании диспетчеру и немедленно приступают к тушению пожара всеми имеющимися средствами.

Тушение пожаров в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» выполняется при снятом напряжении, предотвращая распространение огня на рядом расположенное оборудование. При загорании маслonaполненной аппаратуры в системе электроснабжения 0,4-10 кВ района застройки города Благовещенск «Маленькая Венеция» допускается применение любых средств пожаротушения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной целью выпускной квалификационной работы, заключающейся в проектировании системы электроснабжения строящегося района «Маленькая Венеция», выполнен ряд задач, который позволил всесторонне проработать данную актуальную тему работы. По порядку решенных задач отмечается следующее:

- Рассчитана нагрузка потребителей;
- Выбраны проводники 0,4-10 кВ и проверены по потере напряжения и устойчивости к токами КЗ;
- На ПС «ПП» выбраны аппараты и проверены по устойчивости к токам КЗ, применяются ячейки тика СЭЩ-70-10 в вакуумными выключателями ВВ-Тэл;
- Рассчитана надёжность проектируемой сети 10 кВ;
- Выбраны уставки срабатывания РЗА;
- Выбраны способы молниезащиты, рассчитано стационарное и импульсное сопротивление заземлителя для соответствия требованиям ПУЭ;
- Рассмотрен подробный расчёт потребителей 0,4 кВ, схемы подключения потребителе к ТП-10/0,4 кВ;
- Определены размеры маслоприёмника для КТП, определена площадь отводимых земель, рассмотрены меры безопасности при пожаре в электроустановках.

Итогом проведённых расчётов является данная пояснительная записка в объёме 110 с, 1 приложение, 7 листов графической части, которые являются неотъемлемой частью работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 URL: http://old.admblag.ru/administration/public_auditions/genplan/ (доступ от 10.04.2021)
- 2 Киреева, Э.А. Электроснабжение жилых и общественных зданий : моногр. / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. – Москва: НТФ «Энергопресс», 2015. – 96 с.
- 3 Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.385-94.
- 4 Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов / Е.А. Конюхова. – Москва: ЭНАС, 2013. – 320 с.
- 5 Киреева, Э.А. Электроснабжение цехов промышленных предприятий./ Э.А. Киреева, В.В. Орлов, Л.Е. Старкова – М.: НТФ «Энергопресс», 2016. – 120 с.
- 6 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). - 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2012. — 964 с.
- 7 Фадеева, Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей : учеб. пособие / Г. А. Фадеева, В. Т. Федин; под ред. В.Т. Фебина. - Минск : Вышэйш. шк., 2009. - 367 с. - Библиогр. : с. 361.
- 8 Фёдоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования/ А.А. Фёдоров, Л.Е. Старкова.- М.: Энергия, 2017. – 369 с.
- 9 URL: <http://forca.ru/stati/podstancii/vyklyuchatel-vakuumnyy-trehfaznyy-vv-tel.html> (доступ от 19.04.2021)
- 10 URL: http://www.rsu77.info380.ru/index.php?action =products_cart&id _dop=4094 (доступ от 19.04.2021)
- 11 Электрооборудование подстанций [Электронный ресурс]: офиц. сайт.– 11.03.2007.– режим доступа: http://www.eti.su/price/highpower/ /transformation/transformation_1205.html. – 02.04.2021.
- 12 URL: [http:// tol-10.zaovec.ru > params.php](http://tol-10.zaovec.ru > params.php) (доступ от 10.04.2021)

- 13 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК, 1999.
- 14 URL: <http://www.energo-plan.ru/production/item.2390.html> (доступ от 19.04.2021)
- 15 Надежность систем электроснабжения. Зорин В. В., Тисленко В. В., Клеппель Ф., Адлер Г. — К.: Вища шк. Головное изд-во, 2014. — 192 с.
- 16 Савина Н.В. Теория надежности в электроэнергетике: Учебное пособие. - Амурский гос. ун-т. 2007.
- 17 Трубицын, В.И. Надежность электростанций: Учебник для вузов. Энергоатомиздат, 2017. — 240 с.
- 18 Шабад, М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: моногр. / М.А. Шабад. - СПб.: ПЭИПК, 2015. – 4-е изд., перераб. и доп. - 350 с.
- 19 Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014.– 132 с.
- 20 Ротачёв Ю.А. Релейная защита и автоматика: Учебно-методическое пособие для студентов заочного обучения/ Амурский гос. ун-т – Благовещенск, 2010.
- 21 СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
- 22 Ополева Г. Н. Схемы и ПС электроснабжения Москва, 2016 г.
- 23 URL: <http://www.mo-sokol.ru/?pId=5&cId=139> (дата обращения 2.04.2021)
- 24 URL: <http://zao-tehnolog.ru/page457748> (дата обращения 2.04.2021)
- 25 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0-20.527-98, М.: Издательство НЦ ЭНАС., 2012/

26 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.

27 СТО 56947007-29.240.01.271-2019. Методические указания по технико-экономическому обоснованию электросетевых объектов. Эталоны обоснований [Электронный ресурс]. URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.01.271-2019.pdf (дата обращения 20.04.2021)

28 СТО 56947007-29.240.30.010-2008 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения [Электронный ресурс]. URL: https://www.fsk-ees.ru/media/File/customers_tech/Schems.pdf (дата обращения 27.04.2021)

29 Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957)

30 Норма отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 – 750 кВ № 14278 ТМ – Т1.

31 Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 8-е изд. – М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2012. – 488 с.

32 ГОСТ 12.1.019-79 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

33 ГОСТ 12.1.033-81 (2001) ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Расчёт надёжности сети 10 кВ

Вакуумные выключатели 10 кВ:

- средний параметр потока отказов w , 1/год	$\omega_B := 0.004$
- среднее время восстановления $T_{в.в}$, ч	$T_{в.в} := 8$
- частота текущих ремонтов m , 1/год	$\mu_B := 0.083$
- продолжительность текущего ремонта $T_{р}$, ч	$T_{р.в} := 4$
- параметр отказа выключателей при отключении КЗ $a_{кз}$	$a_{кз} := 0.0027$
- относительная частота отказов выключателей $a_{о.п}$	$a_{о.п} := 0.0022$

КЛ 10 кВ:

- средний параметр потока отказов на 1 км w , 1/год	$\omega_{л} := 0.076$
- среднее время восстановления $T_{в}$, ч	$T_{в.л} := 2$
- частота текущих ремонтов m , 1/год	$\mu_{л} := 0.17$
- продолжительность текущего ремонта $T_{р}$, ч	$T_{р.л} := 5$

Система шин 10 кВ:

- средний параметр потока отказов w , 1/год	$\omega_{сш} := 0.25 \cdot 2$	
- среднее время восстановления $T_{в}$, ч	$T_{в.сш} := 14 \cdot 2$	
- частота текущих ремонтов m , 1/год	$\mu_{сш} := 0.8 \cdot 2$	$\mu_{сш} = 1.6$
- продолжительность текущего ремонта $T_{р}$, ч	$T_{р.сш} := 25 \cdot 2$	

ТП 10 кВ:

- средний параметр потока отказов w , 1/год	$\omega_{тп} := 0.03$
- среднее время восстановления $T_{в}$, ч	$T_{в.тп} := 10$
- частота текущих ремонтов m , 1/год	$\mu_{тп} := 0.4$
- продолжительность текущего ремонта $T_{р}$, ч	$T_{р.тп} := 4$

Вероятности отказа элементов схемы

$$q_{л6} := \frac{2\omega_{л} \cdot 3 \cdot T_{в.л}}{8760} \quad q_{л7} := \frac{2\omega_{л} \cdot 0.7 \cdot T_{в.л}}{8760} \quad q_{л8} := \frac{2\omega_{л} \cdot 0.5 \cdot T_{в.л}}{8760} \quad q_{л9} := \frac{2\omega_{л} \cdot 0.4 \cdot T_{в.л}}{8760}$$

$$q_{л6} = 1.041 \times 10^{-4} \quad q_{л7} = 2.429 \times 10^{-5} \quad q_{л8} = 1.735 \times 10^{-5} \quad q_{л9} = 1.388 \times 10^{-5}$$

$$q_{Л10} := \frac{2\omega_{Л} \cdot 3 \cdot T_{В.Л}}{8760} \quad q_{Л11} := \frac{2\omega_{Л} \cdot 0.6 \cdot T_{В.Л}}{8760}$$

$$q_{Л10} = 1.041 \times 10^{-4} \quad q_{Л11} = 2.082 \times 10^{-5}$$

$$q_{ТП} := \frac{\omega_{ТП} \cdot T_{В.ТП}}{8760} \quad q_{ТП} = 3.425 \times 10^{-5}$$

$$q_{СШ} := \frac{\omega_{СШ} \cdot T_{В.СШ}}{8760} \quad q_{СШ} = 0.002$$

$$q_{ВСТ} := \frac{\omega_{В} \cdot T_{В.В}}{8760}$$

$$q_{рзШИН} := 0.002$$

$$q_{рзЛИН} := 0.0012$$

$$q_{рзТР} := 0.0012$$

$$\omega_{рзВ} := 0.0012$$

$$q_{В3} := q_{ВСТ} \dots \\ + a_{КЗ} \cdot (1 + 0) \cdot [1 - (1 - q_{рзШИН}) \cdot (1 - q_{рзЛИН})] \cdot [1 - (1 - q_{СШ}) \cdot (1 - q_{Л10})] \dots \\ + a_{О.П} \cdot \frac{\mu_{СШ} + \mu_{Л}}{8760}$$

$$q_{В3} = 4.112 \times 10^{-6}$$

$$q_{В5} := q_{ВСТ} \dots \\ + a_{КЗ} \cdot (1 + 0) \cdot [1 - (1 - q_{рзШИН}) \cdot (1 - q_{рзЛИН})] \cdot [1 - (1 - q_{СШ}) \cdot (1 - q_{Л6})] \dots \\ + a_{О.П} \cdot \frac{\mu_{СШ} + \mu_{Л}}{8760}$$

$$q_{В5} = 4.112 \times 10^{-6}$$

$$q_{В4} := q_{ВСТ} \dots \\ + a_{КЗ} \cdot (1 + 0) \cdot [1 - (1 - q_{рзШИН}) \cdot (1 - q_{рзЛИН})] \cdot [1 - (1 - q_{СШ}) \cdot (1 - q_{СШ})] \dots \\ + a_{О.П} \cdot \frac{\mu_{СШ} + \mu_{СШ}}{8760}$$

$$q_{B4} = 4.484 \times 10^{-6}$$

Вероятности отказа цепочки

$$q_1 := q_{B3} + q_{Л6} + q_{Л7} + q_{Л8} + q_{Л9} \dots \\ + q_{СШ} + q_{ТП} \cdot 8$$

$$q_1 = 0.00204$$

$$q_2 := q_{B5} + q_{Л11} + q_{Л10} \dots \\ + q_{СШ} + q_{ТП} \cdot 4$$

$$q_2 = 0.0019$$

Параметр потока отказов для цепочек:

$$\omega_{B3} := \omega_B + \omega_{p3B} \cdot \omega_{Л} \cdot (\omega_{СШ}) + a_{o.л} \cdot (\mu_{СШ} + \mu_{Л})$$

$$\omega_{B3} = 7.9396 \times 10^{-3}$$

$$\omega_{B5} := \omega_{B3}$$

$$\omega_{B4} := \omega_B + \omega_{p3B} \cdot \omega_{Л} \cdot (\omega_{СШ} + \omega_{СШ}) + a_{o.л} \cdot (\mu_{СШ} + \mu_{СШ})$$

$$\omega_1 := \omega_{B3} + \omega_{СШ} + 2(3 + 0.7 + 0.5 + 0.4)\omega_{Л} + 8\omega_{ТП}$$

$$\omega_1 = 1.447$$

$$\omega_2 := \omega_{B5} + \omega_{СШ} + 2(3 + 0.6)\omega_{Л} + 4\omega_{ТП}$$

$$\omega_2 = 1.175$$

Параметр потока отказов для системы:

$$\omega_{сист} := \omega_1 \cdot q_2 + \omega_2 \cdot q_1 + (\omega_1 - \omega_{ТП}) \cdot (q_{ТП}) + (\omega_2 - \omega_{ТП}) \cdot (q_{ТП})$$

$$\omega_{сист} = 0.00518$$

$$\omega_{ТП} = 0.03$$

$$K_{гп1} := 1 - e^{-\frac{T_{р.л}}{T_{в.л}}}$$

$$K_{гп1} = 0.918$$

$$T_{р.л} = 5$$

$$K_{гп2} := 1 - e^{-\frac{T_{р.л}}{T_{в.л}}}$$

$$K_{гп2} = 0.918$$

$$T_{в.л} = 2$$

Вероятность отказа системы без учёта АВР:

$$q_{сбезАВР} := q_1 \cdot q_2 + K_{гп1} \cdot \omega_1 \cdot q_2 + K_{гп2} \cdot \omega_2 \cdot q_1$$

$$q_{сбезАВР} = 0.00468$$

Вероятность отказа системы с учётом АВР:

$$q_{cABP} := 2 \cdot 2 \cdot q_{cIII} \cdot 0.01 \cdot (1 - 2 \cdot q_{cIII}) \cdot 0.99 + 2 \cdot 2 \cdot q_{cIII} \cdot 0.01 \cdot (2 \cdot q_{cIII}) \cdot 0.99 \dots \\ + 2 \cdot q_{cIII} \cdot 0.01 \cdot (2 \cdot q_{cIII}) \cdot 0.01 + 2 \cdot q_{cIII} \cdot 0.01 \cdot (2 \cdot q_{cIII}) \cdot 0.01$$

$$q_{cABP} = 0.00006329$$

Коэффициент вынужденного простоя системы

$$K_{ПС} := q_{cABP}$$

$$K_{ПС} = 0.00006329$$

Коэффициент готовности

$$K_{ГС} := 1 - K_{ПС}$$

$$K_{ГС} = 0.99994$$

Время восстановления

$$t_{BC} := \frac{K_{ПС} \cdot 360}{\omega_{сист}} \quad t_{BC} = 4 \quad \text{секунд}$$

Расчётное время безотказной работы

$$T_P := \frac{0.105}{\omega_{сист}} \quad T_P = 20.3 \quad \text{лет}$$

Среднее время безотказной работы

$$T_C := \frac{1}{\omega_{сист}} \quad T_C = 193.1 \quad \text{лет}$$

Недоотпуск ЭЭ, при передаваемой мощности 5798 КВт за год

$$W_{нед} := 5798 \cdot 8760 \cdot K_{ПС} \quad W_{нед} = 3214.5 \quad \text{КВт*ч}$$

Ограничения мощности

$$P_{огр} := 5798 K_{ПС} \quad P_{огр} = 0.367 \quad \text{КВт}$$