

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

« _____ » _____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование системы электроснабжения напряжением 10/0,4 кВ
микрорайона Питер города Благовещенск на 2025 год

Исполнитель

студент группы 842-об3

подпись, дата

А.А. Гащенко

Руководитель

профессор, канд.техн.наук

подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

Консультант по безопасно-
сти и экологичности

доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Н.Козлов

Благовещенск 2022

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 А.А. Гащенко

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы электроснабжения напряжением 10/0,4 кВ микрорайона Питер города Благовещенск на 2025 год

(утверждена приказом от 15.03.2022г. №506-Уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: план застройки микрорайона Питер, однолинейная схема ПС «Новая», контрольный замер в электрических сетях за 2021 год, схема и план развития Амурской области на период до 2030 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):, Исходные данные для проектирования, Определение нагрузки сети 0,4 кВ, Определение нагрузки сети 10 кВ, Расчёт токов короткого замыкания в сети 10-0,4 кВ, Выбор аппаратов в сети 0,4 кВ, Выбор аппаратов в сети 10 кВ, Выбор оборудования в центре питания, Надёжность проектируемой сети 10 кВ, Релейная защита и автоматика, безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план микрорайона «питер» с указанием разводки 0,4-10 кВ, однолинейная схема сети 10 кВ, микропроцессорная защита кабельной линии 10 кВ и автоматика 0,4 кВ, микропроцессорная защита трансформатора 10/0,4 кВ, однолинейная схема ТП, Компоновка 2 КТПБ серии «ЭКТА» в двух блоках

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

Бакалаврская работа содержит 107 с, 110 формул, 13 рисунков, 45 таблиц, 33 источника.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА, КОМПЛЕКТНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, ЗАЩИТНОЕ ЗАЕМЛЕНИЕ, МНОГОКВАРТИРНЫЕ ЖИЛЫЕ ДОМА, ДВУХЛУЧЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.

Утвержденная программа развития города Благовещенск Администрацией города предполагает наращивание темпов строительства нового жилого фонда. На фоне тенденции развития квартальной застройки крупных районов города во втором и третьем микрорайонах происходит повсеместное освоение новых кварталов города, ранее не использованных под жилую застройку. Расширение действующих строительных компаний и появление новых застройщиков в городе Благовещенск создаёт условия для развития строительства многоквартирных домов. Проектом предусматривается сооружение системы электроснабжения для района новой жилой застройки в северной части города.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Исходные данные для проектирования	9
1.1 Характеристика города	9
1.2 Характеристика района города	9
2 Расчётные нагрузки сети 0,4 кВ	12
2.1 Расчётные нагрузки жилых зданий	12
2.2 Расчётные нагрузки общественных зданий	17
2.3 Расчётные нагрузки фидеров 0,4 кВ	20
2.4 Выбор сечений и марки фидеров 0,4 кВ	23
2.5 Расчётные нагрузки стороны 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ	25
2.6 Проверка коэффициента мощности на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ	28
3 Расчётные нагрузки сети 10 кВ	29
3.1 Выбор мощности силовых трансформаторов 10/0,4 кВ	29
3.2 Потери мощности в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ	31
3.3 Расчётные нагрузки кабелей 10 кВ	33
3.4 Выбор сечений и марки фидеров 10 кВ	35
3.5 Технико-экономическое сравнение вариантов сети 10 кВ	38
4 Расчёт токов короткого замыкания	42
4.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 10 кВ	42
4.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ	45
5 Выбор аппаратов в сети 0,4 кВ	50
5.1 Выбор линейных автоматических выключателей	50
5.2 Выбор вводных автоматических выключателей	52
5.3 Выбор рубильников 0,4 кВ	53
5.4 Проверка кабелей 0,4 кВ	54

6	Выбор аппаратов в сети 10 кВ	57
6.1	Выбор предохранителей 10 кВ	57
6.2	Выбор выключателей нагрузки 10 кВ	58
6.3	Выбор кабелей 10 кВ	59
7	Выбор оборудования в центре питания	62
7.1	Нагрузка центра питания	62
7.2	Компенсация реактивной мощности	63
7.3	Компенсация емкостных токов	63
7.4	Выбор комплектного распределительного устройства 10 кВ	64
7.5	Выбор выключателей 10 кВ	65
7.6	Выбор трансформаторов тока 10 кВ	68
7.7	Выбор трансформаторов напряжения 10 кВ	70
7.8	Выбор предохранителей для защиты трансформаторов напряжения	71
7.9	Выбор изоляторов 10 кВ	72
8	Надёжность проектируемой сети 10 кВ	74
9	Релейная защита и автоматика	78
9.1	Токовая отсечка	78
9.2	Максимальная токовая защита линий	79
9.3	Защита от однофазных замыканий на землю	81
9.4	Устройства автоматического включения резерва	83
9.5	Защита трансформаторов 10/0,4 кВ	84
10	Безопасность и экологичность	88
10.1	Безопасность	88
10.2	Экологичность	92
10.2.1	Площадь отводимых земель	93
10.2.2	Параметры маслоприёмника	94
10.3	Чрезвычайные ситуации	98
	Заключение	103
	Библиографический список	104
	Приложение А. Надёжность сети 10 кВ	108

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;
АКС – Амурские коммунальные системы;
АО – акционерное общество;
БК – батареи конденсаторов;
ВН – высокое напряжение;
ВРУ – вводное распределительное устройство;
ЗНЗ – защита от замыкания на землю;
ИП – источник питания;
КЗ – короткое замыкание;
КЛ – кабельная линия;
КРУ – комплектное распределительное устройство;
КТП – комплектная трансформаторная подстанция;
МТЗ – максимальная токовая защита;
НН – низкое напряжение;
ПС – подстанция;
РЗ - релейная защита;
РУ – распределительное устройство;
ТО – токовая отсечка;
ТП – трансформаторная подстанция;
ЦП – центр питания.
ЭДС – электродвижущая сила.

ВВЕДЕНИЕ

Для города Благовещенск ожидается существенный прирост ввода жилой площади многоквартирных жилых домов. Среди прочих проектов по крупной застройке в городе Благовещенск реализуется план по застройке квартала, ограниченного улицами Мухина-Кантемирова-Промышленная-Игнатьевское шоссе. Среди уже введенных в эксплуатацию жилых домов микрорайона «Питер», планируется к строительству около 10 жилых и общественных зданий.

На фоне спада рынка строительства недвижимости в период начала пандемии, связанной с распространением новой коронавирусной инфекции Covid-2019, ожидается постепенное восстановление прежних темпов роста. Губернатором Амурской области неоднократно в СМИ анонсировано появление крупных застройщиков-резидентов, обладающих существенным ресурсом рабочей силы, что предполагает как минимум сохранение динамики строительства в допандемийный период. В районе города Благовещенск, где ожидается строительство комплекса «Питер» необходимо предусмотреть систему электроснабжения 0,4-10 кВ для строящихся объектов.

Актуальность проекта – необходимость в создании системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ для жилых и общественных зданий микрорайона «Питер» города Благовещенск на 2025 год.

Цель проекта - спроектировать систему электроснабжения 10-0,4 кВ для жилых и общественных зданий микрорайона «Питер» города Благовещенск на 2025 год.

Решаемые задачи в ходе проектирования:

1. Определение электрических нагрузок по методике расчёта нагрузок в городских сетях [3];
2. Разработка конфигурации сети 0,4 кВ по двухлучевой схеме с учётом условий прокладки кабелей;
3. Определение токов КЗ и выбор защитных аппаратов в сети;

4. Определение параметров средств защиты оборудования сетей 10-0,4 кВ;

5. Определение параметров надёжности сети 10 кВ;

6. Определение параметров экологичности и безопасности проекта.

Пути решения задач:

1. Анализ и сбор исходной информации из открытых источников, в том числе с официального сайта компании – застройщика ООО «АПИН»;

2. Расчёт нагрузок и параметров сетей с учётом требований РД 153-34.0-20.527-98;

3. Оформление результатов расчёта с использованием ПЭВМ и пакета прикладных программ.

Ожидаемые результаты проекта:

1. Оптимальная по критерию приведенных затрат сеть 10 кВ района;

2. Проверенные аппараты и проводники сети 10-0,4 кВ по стойкости к токам КЗ;

3. Проверенные по чувствительности и селективности средства РЗА;

4. Надёжность системы электроснабжения 10 кВ в течении срока её эксплуатации.

Использованы ПЭВМ стационарного и переносного типа на базе операционной системы Windows 10 с пакетом программ Microsoft Office профессиональный плюс 2016, Mathcad-2017, Mathtype-2010, Microsoft Visio профессиональный плюс 2016,

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 Климатическая и географическая характеристика

Планировка города прямоугольная, поквартальная — улицы ориентированы вдоль Амура и Зеи, численность населения на 1 января 2022 г. - 225757 человек, [3].

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о климатических характеристиках города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде продольной таблицы 1 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 1 - Климатическая характеристика города Благовещенска

Климатические условия	Расчетные величины
Низшая температура воздуха, °С	-44
Расчетная температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С	-34
Среднегодовая темп-ра воздуха, °С	0.3
Высшая температура воздуха, °С	42
Температура гололедообразования, °С	-12
Район по гололеду 25 летней повторяемости	II
Число грозочасов в год	50
Глубина протаивания грунта, м	0.43
Тип грунта	Пески неводоносные

Данные таблицы 1 используются при выборе условий прокладки кабельных линий 0,4-10 кВ, при выборе типа и исполнения оборудования КТП и РУ центра питания. Дальнейшие расчёты электробезопасности в части сопротивления заземления также проводят с учётом числа грозовых часов в год, типа грунта. Дополнительно допускается учитывать наибольшую и наименьшую температуру воздуха при монтаже открытых элементов системы внутриквартального и уличного освещения.

1.2 Характеристика района застройки

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о градостроительном плане района улиц Мухина-Игнатьевское шоссе-Кантемирова города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде рисунка 1 с графическим материалом.

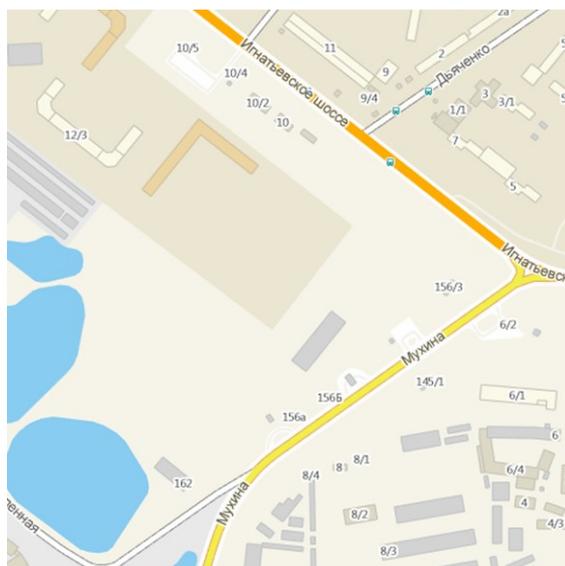


Рисунок 1 – Район проектирования микрорайона «Питер»

Район новой застройки ООО «АПИН» располагается в районе улиц Мурина-Игнатьевское шоссе-Кантемирова северной части города. Планируется сооружение многоквартирных домов (от 9 до 16 этажей) со встраиваемыми помещениями офисов, магазинов, а также общественных зданий.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о строящихся объектах района города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде продольной таблицы 2 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 2 – Строящиеся объекты

Объект	№ на плане	единиц	Нкв	Нпод	Встроенный объект
Кирпичный жилой дом		кв	616	11	
Кирпичный жилой дом	1	кв	448	8	
Кирпичный жилой дом	2-3	кв	552	12	магазин
Кирпичный жилой дом	4	кв	288	8	
Кирпичный жилой дом	5,9,10	кв	360	10	
Кирпичный жилой дом	6	кв	216	6	
Кирпичный жилой дом	7	кв	360	10	
Кирпичный жилой дом	8,14,15	кв	440	10	офисы
Кирпичный жилой дом	11	кв	396	11	
Кирпичный жилой дом	12	кв	552	12	магазин
здание заправки	13	м ²	800		магазин
автопарковка	16	мест	400		
поликлиника	17	мест	500		
Детский сад	18	мест	300		
Магазин	19	м ²	1500		офисы

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о существующей системе электроснабжения 110-35 кВ района города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде рисунка 2 с графическим материалом.

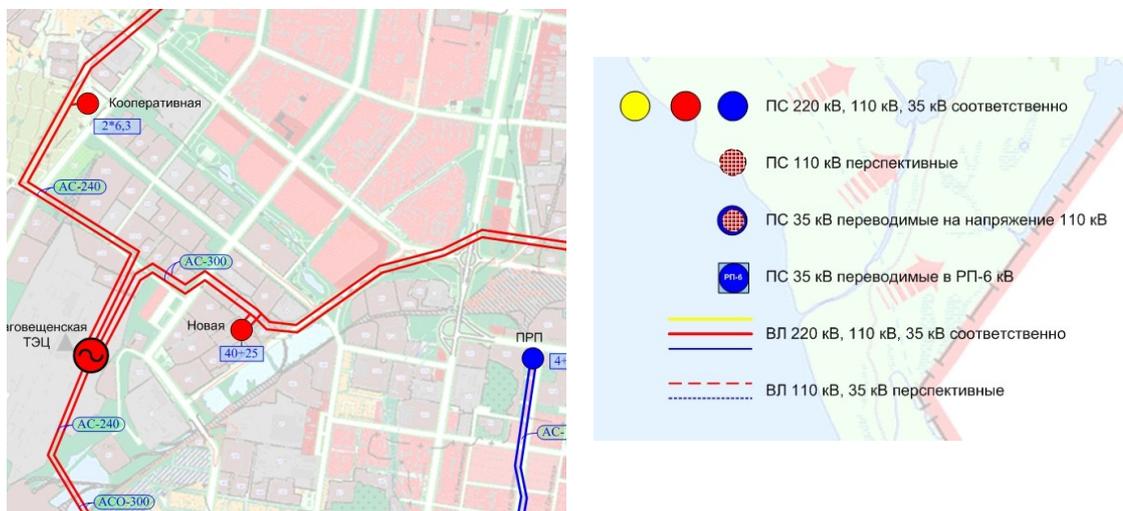


Рисунок 2 – Система электроснабжения 110-35 кВ

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о планируемой застройке района улиц Мухина-Игнатьевское шоссе-Кантемирова города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде рисунка 3 с графическим материалом.

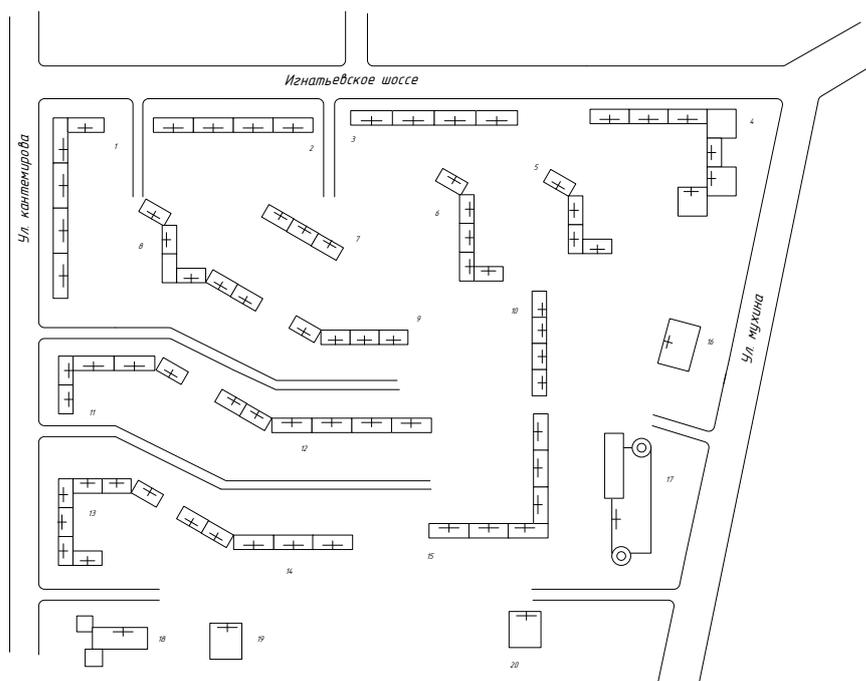


Рисунок 3 – Планируемая застройка микрорайона «Питер»

2 РАСЧЁТНЫЕ НАГРУЗКИ СЕТИ 0,4 КВ

Проектирование электрических сетей вновь сооружаемого района города выполняется по данным [2]. Основным видом используемых данных являются удельные нагрузки на различную единицу, такую как квартира, площадь помещения, количество посещений.

2.1 Расчётные нагрузки жилых зданий

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о строящихся жилых домах района города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде продольной таблицы 3 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 3 – Характеристика жилых домов микрорайона «Питер»

Объект	№	Кол-во домов
Кирпичный жилой дом	1	1
Кирпичный жилой дом	2-3	2
Кирпичный жилой дом	4	1
Кирпичный жилой дом	5,9,10	3
Кирпичный жилой дом	6	1
Кирпичный жилой дом	7	1
Кирпичный жилой дом	8,14,15	1
Кирпичный жилой дом	11	1
Кирпичный жилой дом	12	1
Кирпичный жилой дом	13	1

Использование удельных величин нагрузки при расчёте расчётной нагрузке жилых домов позволяет учесть нагрузки на вводе в жилое помещение, квартиру. Силовая нагрузка насосов водоснабжения и лифтов при этом учитывается посредством коэффициентов участия в максимуме нагрузки жилого дома, [2].

Для демонстрационного расчёта нагрузки выбирается объект 4 на плане - кирпичный жилой дом, 552 кв., 12 подъездов, встроенный магазин площадью 500 м².

Рационально для удобства получения и анализа информации о мощности лифтовых установок выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

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

$$P_l = 0,5 \cdot 12 \cdot 15 = 90 \text{ кВт} ,$$

где k'_c - коэффициент спроса лифтовой нагрузки, [2];

n - количество лифтов одинаковой мощности;

P_{li} - установленная мощность двигателя привода лифта, [4], кВт.

Рационально для удобства получения и анализа информации о мощности насосов водоснабжения выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

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

$$P_{нас} = 0,65 \cdot 12 \cdot 18 = 140,4 \text{ кВт}$$

где k''_c - коэффициент спроса насосов водоснабжения;

n - количество насосов водоснабжения;

$P_{нас}$ - установленная мощность двигателя насосов, [5], кВт.

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной силовой нагрузке выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$P_c = P_{нас} + P_l , \quad (3)$$

$$P_c = 90 + 140,4 = 230,4 \text{ кВт.}$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о нагрузке жилых домов района города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде продольной таблицы 4 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 4 – МКД района города Благовещенска

Объект	№	Обозн.	кол-во ед	Руд, кВт/уд	N _{лифт}	Р _{лифт} , кВт	К _с лифт	N _{нас}	Р _{насос} , кВт	К _с насос	Р _{силЭП} , кВт	К _у
Кирпичный жилой дом	1	кв	616	1,67	11	15	0,6	11	18	0,7	237,6	0,9
Кирпичный жилой дом	2-3	кв	448	1,7	8	15	0,7	8	18	0,9	213,6	0,9
Кирпичный жилой дом	4	кв	552	1,69	12	15	0,5	12	18	0,65	230,4	0,9
Кирпичный жилой дом	5,9,10	кв	288	1,75	8	15	0,7	8	18	0,9	213,6	0,9
Кирпичный жилой дом	6	кв	360	1,73	10	15	0,6	10	18	0,7	216	0,9
Кирпичный жилой дом	7	кв	216	1,82	6	15	0,65	6	18	0,8	144,9	0,9
Кирпичный жилой дом	8,14,15	кв	360	1,73	10	15	0,6	10	18	0,7	216	0,9
Кирпичный жилой дом	11	кв	440	1,7	10	15	0,6	10	18	0,7	216	0,9
Кирпичный жилой дом	12	кв	396	1,72	11	15	0,6	11	18	0,7	237,6	0,9
Кирпичный жилой дом	13	кв	552	1,69	12	15	0,5	12	18	0,65	230,4	0,9
здание заправки	16	м ²	800	0,16								
автопарковка	17	мест	400	0,46								
поликлиника	18	мест	500	0,36								
Детский сад	19	мест	300	0,46								
Магазин	20	м ²	1500	0,16								

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о нагрузке встроенных потребителей жилых домов района города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде продольной таблицы 5 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 5 – Встроенные объекты жилых домов района

Объект	№	Встроен. ЭП	УЕ	кол-во УЕ	Мощность, кВт/УЕ	К _у
Кирпичный жилой дом	4	магазин	м ²	500	0,2	0,6
Кирпичный жилой дом	11	офисы	м ²	350	0,054	0,6
Кирпичный жилой дом	13	магазин	м ²	1000	0,2	0,6

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке квартир выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

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

$$P_{кв} = 1,69 \cdot 552 = 932,9 \text{ кВт},$$

где $P_{кв. уд.}$ – удельная расчетная нагрузка квартиры, кВт/кв;

n – количество квартир.

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке жилого дома без встроенных потребителей выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

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

$$P_{р.ж.д.} = 932,9 + 0,9 \cdot 230,4 = 1140,2 \text{ кВт},$$

где $P_{кв}$ – расчетная нагрузка квартир, кВт;

P_c – расчетная силовая нагрузка, кВт;

k_y – коэффициент участия в максимуме.

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке жилого дома со встроенными потребителями выполнить демонстра-

ционный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

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

$$P_{p.ж.д.общ} = 1140,2 + 0,6 \cdot 100 = 1200,2 \text{ кВт},$$

где $P_{зд.мах}$ - наибольшая нагрузка из всех зданий, кВт;

k_{yi} - коэффициент участия в максимуме, [2];

$P_{зДi}$ - расчетные нагрузки прочих потребителей.

Из встроенный потребителей присутствует магазин площадью 500 м².

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке магазина выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

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

$$P_{\text{маг}} = 500 \cdot 0,2 = 100 \text{ кВт},$$

где $P_{\text{маг. уд}}$ – удельная расчётная нагрузка, [2], кВт;

S – площадь магазина.

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной реактивной нагрузке выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

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

$$Q_{p.ж.д} = 1200,2 \cdot 0,2 = 241,3 \text{ квар},$$

где $tg\varphi$ - коэффициент мощности, принимаем по [2].

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о расчётной нагрузке жилых домов района города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде продольной таблицы 6 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 6 - Расчётная МКД

Объект	№	cosφ	Расчётная нагрузка на вводе		
			Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
Кирпичный жилой дом	1	0,98	1242,56	249,8	1267
Кирпичный жилой дом	2-3	0,98	953,84	191,7	973
Кирпичный жилой дом	4	0,98	1200,24	241,3	1224
Кирпичный жилой дом	5,9,10	0,98	696,24	140,0	710
Кирпичный жилой дом	6	0,98	817,2	164,3	834
Кирпичный жилой дом	7	0,98	523,53	105,2	534
Кирпичный жилой дом	8,14,15	0,98	817,2	164,3	834
Кирпичный жилой дом	11	0,98	953,74	191,7	973
Кирпичный жилой дом	12	0,98	894,96	179,9	913
Кирпичный жилой дом	13	0,98	1260,24	253,3	1285

2.2 Расчётные нагрузки общественных зданий

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по общественным зданиям района города Благовещенска привести соответствующие справочные данные в виде продольной таблицы 7 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 7 - Данные по общественным зданиям

Объект	№	Кол-во объектов
здание заправки	16	1
автопарковка	17	1
поликлиника	18	1
Детский сад	19	1
Магазин	20	1

Для примера определяем нагрузку кирпичного здания 20. Здание представляет собой магазин:

- площадь магазина - 1500 м²
- площадь встроенного офиса - 250 м².

Рационально для удобства получения и анализа информации о нагрузке общественного здания выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$P_{\text{общ зд}} = P_{\text{общ зд уд}} \cdot S, \quad (10)$$

$$P_{\text{общ зд}} = 1500 \cdot 0,16 = 240 \text{ кВт},$$

где $P_{\text{общ зд уд}}$ – удельная расчётная нагрузка, [2], кВт;

S – площадь здания.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по нагрузке общественных зданий района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 8 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 8 - Нагрузка общественных зданий района

Объект	№ на листе	Кол-во	УЕ	кол-во УЕ	Мощность, кВт/УЕ.
здание заправки	16	1	м ²	800	0,16
автопарковка	17	1	мест	400	0,46
поликлиника	18	1	мест	500	0,36
Детский сад	19	1	мест	300	0,46
Магазин	20	1	м ²	1500	0,16

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по нагрузке встроенных в общественные здания потребителей района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 9 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 9 - Данные по встроенным в общественные здания объектам

Объект	№ на листе	Встроен. ЭП	УЕ	кол-во УЕ	Мощность, кВт/УЕ.	Ку
здание заправки	16	магазин	м ²	200	0,16	0,8
Магазин	20	офисы	м ²	250	0,054	0,8

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке общественного здания выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$P_{p \text{ общ зд}} = P_{\text{общ зд}} + k_y \cdot P_{\text{встр общ зд}} , \quad (11)$$

$$P_{p \text{ общ зд}} = 240 + 0,8 \cdot 13,5 = 250,8 \text{ кВт} ,$$

$$P_{\text{встр общ зд}} = P_{\text{встр зд уд}} \cdot S , \quad (12)$$

$$P_{\text{встр общ зд}} = 0,054 \cdot 250 = 13,5 \text{ кВт} ,$$

где $P_{\text{общ зд}}$ - наибольшая нагрузка из всех потребителей в здании, кВт;

k_y - коэффициент участия в максимуме, [2];

$P_{\text{встр общ зд}}$ - расчетная нагрузка встроенного объекта.

$P_{\text{встр зд уд}}$ – удельная расчётная нагрузка для встроенных в общественные здания объекты, [2], кВт;

S – площадь встраиваемого помещения.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по расчётной нагрузке общественных зданий района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 10 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 10 – Расчётные нагрузки общественных зданий

Объект	№	Pr, кВт	Qr, квар	Sp, кВА	cosφ
здание заправки	16	153,6	70,6	169	0,90
автопарковка	17	184	84,5	202	0,90
поликлиника	18	180	73,5	194	0,92
Детский сад	19	138	34,1	142	0,97
Магазин	20	250,8	132,6	284	0,87

2.3 Расчётные нагрузки фидеров 0,4 кВ

Для многоэтажных зданий с наличием лифтовых установок и системами оповещения при пожаре должна быть обеспечена 2 категория по надёжности электроснабжения потребителей. В проекте применяются автоматизированные схемы (двухлучевые) 0,4 кВ.

Входные данные для распределения потребителей по фидерам – план района, лист графической части №1.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по месту подключения потребителей к ТП района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 11 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 11 – Распределение потребителей 0,4 кВ по ТП

Вид нагрузки	№ потребителей	Р _{зд макс} , кВт	Q _{зд макс} , квар
ТП-1			
МКД	1	1242,56	249,78
	8	817,20	164,27
ТП-2			
МКД	2	953,84	191,74
	7	523,53	105,24
ТП-3			
МКД	3	953,84	191,74
	4	1200,24	241,27
ТП-4			
МКД	5	696,24	139,96
	6	817,20	164,27
ТП-5			
МКД	10	696,24	139,96
Нагрузка общественных зданий	16	153,60	70,57
	20	250,80	132,57
	17	184,00	84,54
ТП-6			
МКД	9	696,24	139,96
	12	894,96	179,90
	15	817,20	164,27
ТП-7			
МКД	11	953,74	191,72
	13	1260,24	253,33
ТП-8			
МКД	14	817,20	164,27
Нагрузка общественных зданий	18	180,00	73,55
	19	138,00	34,06

Расчёт нагрузки фидеров 0,4 кВ ведётся по формуле, аналогичной (6). Для примера определяем нагрузку линии 1 от ТП-1. Потребители по линии – жилой дом 1.

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке фидеров 0,4 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$P_{p\ л0,4кВ} = P_{наиб\ зд} + k_y \cdot P_{ост\ зд}, \quad (13)$$

$$P_{p\ л0,4кВ} = 1242,56 + 0 \cdot 0 = 1242,56\ кВт,$$

$$Q_{p\ л0,4кВ} = P_{p\ л0,4кВ} \cdot tg\varphi_{л0,4кВ}, \quad (14)$$

$$Q_{p\ л0,4кВ} = 1242,56 \cdot 0,2 = 249,8\ квар,$$

где $P_{наиб\ зд}$ - наибольшая нагрузка по фидеру 0,4 кВ, кВт;

k_y - коэффициент участия в максимуме, [2];

$P_{ост\ зд}$ - расчетные нагрузки остальных зданий.

$tg\varphi_{л0,4кВ}$ - коэффициент мощности нагрузки.

Рационально для удобства получения и анализа информации о потерях мощности фидеров 0,4 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$\Delta P_{л0,4кВ} = \frac{P_{p\ л0,4кВ}^2 + Q_{p\ л0,4кВ}^2}{U_n^2} \cdot R_{л0,4кВ\ уд} \cdot L_{л0,4кВ}, \quad (15)$$

$$\Delta P_{л0,4кВ} = \frac{1242,56^2 + 249,89^2}{0,4^2} \cdot 0,208 \cdot 0,2 / 4 = 104\ кВт,$$

$$\Delta Q_{л0,4кВ} = \frac{P_{рл0,4кВ}^2 + Q_{рл0,4кВ}^2}{U_n^2} \cdot X_{л0,4кВ уд} \cdot L_{л0,4кВ}, \quad (16)$$

$$\Delta Q_{л0,4кВ} = \frac{1242,56^2 + 249,89^2}{0,4^2} \cdot 0,06 \cdot 0,2 / 4 = 29,9 \text{ квар},$$

где $P_{рл0,4кВ}$, $Q_{рл0,4кВ}$ - расчетная активная и реактивная нагрузка по линии, кВт;

U_n - номинальное напряжение сети;

$R_{л0,4кВ уд}$, $X_{л0,4кВ уд}$ - удельное активное и реактивное сопротивление линии, Ом/км, [8];

$L_{л0,4кВ}$ - длина линии 0,4 кВ, км.

Рационально для удобства получения и анализа информации о приведенной нагрузке фидеров 0,4 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$P_{прив.л0,4кВ} = P_{рл0,4кВ} + \Delta P_{л0,4кВ}, \quad (17)$$

$$P_{прив.л0,4кВ} = 1242,6 + 104 = 1347 \text{ кВт}.$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о токовой нагрузке фидеров 0,4 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_{прив.л0,4кВ}^2 + Q_{прив.л0,4кВ}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (18)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{1347^2 + 279,7^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 249 \text{ А}.$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по расчётам расчётной, приведенной нагрузки и расчётного тока фидеров 0,4 кВ района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 12 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 12 - Расчётные нагрузки фидеров 0,4 кВ

	№	$P_{р л,}$ кВт	$Q_{р л,}$ квар	$S_{расч}$ линии, кВА	$\Delta P_{л,}$ кВт	$\Delta Q_{л,}$ квар	$P_{прив л,}$ кВт	$Q_{прив л,}$ квар	$S_{прив л,}$ кВА	$I_{расч,}$ А
ТП-1										
МКД	1	1242,6	249,8	1267,4	104	29,9	1347,0	279,7	1375,7	249
	8	817,2	164,3	833,5	56	24,8	873,2	189,0	893,4	323
ТП-2										
МКД	2	953,8	191,7	972,9	77	17,7	1031,0	209,5	1052,1	190
	7	523,5	105,2	534,0	40	5,5	563,4	110,7	574,1	207
ТП-3										
МКД	3	953,8	191,7	972,9	73	13,4	1026,8	205,1	1047,1	189
	4	1200,2	241,3	1224,2	92	21,1	1291,9	262,3	1318,3	238
ТП-4										
МКД	5	696,2	140,0	355,1	41	18,9	737,4	158,9	754,3	273
	6	817,2	164,3	416,8	56	49,5	873,2	213,8	899,0	325
ТП-5										
МКД	10	696,2	140,0	710,2	49	14,1	745,4	154,0	761,2	275
Нагрузка об- щественных зданий	16	153,6	70,6	169,0	11	1,1	164,8	71,7	179,7	130
	20	250,8	132,6	283,7	19	8,6	270,3	141,2	304,9	220
	17	184,0	84,5	202,5	16	1,6	200,0	86,1	217,8	157
ТП-6										
МКД	9	696,2	140,0	710,2	52	9,5	748,1	149,4	762,9	276
	12	895,0	179,9	912,9	66	23,3	961,0	203,2	982,2	355
	15	817,2	164,3	833,5	56	24,8	873,2	189,0	893,4	323
ТП-7										
МКД	11	953,7	191,7	972,8	73	13,4	1026,7	205,1	1047,0	189
	13	1260,2	253,3	1285,4	101	23,2	1361,3	276,6	1389,1	251
ТП-8										
МКД	14	817,2	164,3	833,5	68	19,4	884,9	183,7	903,8	327
Нагрузка общ. зданий	18	180,0	73,5	194,4	15	1,5	194,8	75,0	208,7	151
	19	138,0	34,1	142,1	11	0,8	149,3	34,9	153,3	111

2.4 Выбор сечений и марки фидеров 0,4 кВ

Принимается прокладка в траншеях на глубине 0,7 м. Марка кабеля ААШв выбрана исходя из минимизации затрат на обслуживание и закупку оборудования. Кабель с алюминиевыми жилами (А) и оболочкой (А), с изоляцией

из ПВХ (Шв). Для соблюдения условий прокладки учитываются коэффициенты [1].

Для примера проверяем кабель линии 1 от ТП-1. Потребители по линии – жилой дом 1.

Рационально для удобства получения и анализа информации о токовой нагрузке кабельной линии сечением 150 мм² выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{доп} = I_{доп\ справ} \cdot K_{сниж} \cdot K_{перезр} \cdot K_t, \quad (19)$$

$$I_{доп} = 335 \cdot 0.92 \cdot 1.25 \cdot 1 = 385 \text{ A},$$

где $I_{доп\ справ}$ - справочная величина, [27],

$K_{сниж}$ - коэффициент снижения токовой нагрузки, 0,92;

$K_{перезр}$ - коэффициент перегрузочной способности, 1.25;

K_t - коэффициент температуры среды, 1.

Рационально для удобства получения и анализа информации о правильности выбора сечения кабельной линии 0,4 кВ по нагреву выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$I_p \leq I_{доп}, \quad (20)$$

$$249 \text{ A} \leq 385 \text{ A}.$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по предварительным расчётам сечений фидеров 0,4 кВ района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 13 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 13 – Предварительный выбор кабелей 0,4 кВ

Тип нагрузки	№	$I_{расч}, A$	$I_{доп}, A$	$F, мм^2$
ТП-1				
МКД	1	249	385	150
	8	323	508	240
ТП-2				
МКД	2	190	339	120
	7	207	242	70
ТП-3				
МКД	3	189	293	95
	4	238	339	120
ТП-4				
МКД	5	273	339	120
	6	325	508	240
ТП-5				
МКД	10	275	385	150
Нагрузка общественных зда-ний	16	130	201	50
	20	220	508	240
	17	157	201	50
ТП-6				
МКД	9	276	293	95
	12	355	443	185
	15	323	508	240
ТП-7				
МКД	11	189	293	95
	13	251	339	120
ТП-8				
МКД	14	327	385	150
Нагрузка общественных зда-ний	18	151	201	50
	19	111	161	35

2.5 Расчётные нагрузки стороны 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ

Для примера, проводится расчёт по ТП-1. От данной ТП в совокупности по всем жилым домам питается 976 квартир. По [2], удельная нагрузка для квартир принимается 1,62 кВт/кВ. Силовая нагрузка – 21 насос по 18 кВт, 21 лифт по 15 кВт.

Рационально для удобства получения и анализа информации о нагрузке уличного освещения выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$P_{осв} = P_{осв\ у\delta} \cdot L_{тер}, \quad (21)$$

$$P_{осв} = 10 \cdot 0,4 = 4 \text{ кВт},$$

где $P_{осв\ у\delta}$ – удельная мощность уличного освещения, 10 кВт/км;

$L_{тер}$ – длина освещаемой территории, км.

Потери в линиях 0,4 кВ составляют соответственно к потребителю 1 - $\Delta P_{л0,4кВ} = 104$, $\Delta Q_{л0,4кВ} = 29,9$, к потребителю 8 - $\Delta P_{л0,4кВ} = 56$, $\Delta Q_{л0,4кВ} = 24,8$,

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной активной нагрузке на шинах 0,4 кВ ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$P_{расч\ ТП-1} = P_{кв\ у\delta} \cdot n_{кв} + (k''_c \cdot P_{нас} \cdot n_{нас} + k'_c \cdot P_{лифт} \cdot n_{лифт}) \cdot k_y + P_{осв} + \Delta P_{л0,4кВ}, \quad (22)$$

$$P_{расч\ ТП-1} = 1,62 \cdot 976 + (0,45 \cdot 15 \cdot 21 + 0,65 \cdot 18 \cdot 21) \cdot 0,9 + 4 + 160 = 2094,3 \text{ кВт}.$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной реактивной нагрузке на шинах 0,4 кВ ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$Q_{расч\ ТП-1} = Q_{кв} + \Delta Q_{л0,4кВ}, \quad (23)$$

$$Q_{расч\ ТП-1} = 316 + 55 = 371 \text{ квар}.$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке на шинах 0,4 кВ ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$S_{расч\ ТП-1} = \sqrt{P_{расч\ ТП-1}^2 + Q_{расч\ ТП-1}^2}, \quad (24)$$

$$S_{расч\ ТП-1} = \sqrt{2094,3^2 + 370,9^2} = 2126,8\text{ кВА}.$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по подробным расчётам нагрузок на стороне 0,4 кВ ТП района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 14 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 14 – Подробный расчёт нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП

№ ТП	N _{кв}	P _{кв уд,} кВт/кВ	P _{кв,} кВт	Q _{кв,} квар	P _{силЭП}	K _у	L _{тер,} км	P _{осв уд,} кВт/км	P _{осв,} кВт	ΔP _{л,} кВт	ΔQ _{л,} квар
ТП-1	976	1,62	1581,12	316,224	387,45	0,9	0,4	10	4	160	55
ТП-2	664	1,66	1102,24	220,448	279,3	0,9	0,3	10	3	117	23
ТП-3	1000	1,62	1620	324	369	0,9	0,3	10	3	165	34
ТП-4	648	1,66	1075,68	215,136	332,1	0,9	0,3	10	3	97	68
ТП-5	288	1,75	504	100,8	192	0,9	0,65	10	6,5	96	25
ТП-6	1116	1,62	1807,92	361,584	497,55	0,9	0,45	10	4,5	174	58
ТП-7	992	1,62	1607,04	321,408	389,4	0,9	0,3	10	3	174	37
ТП-8	360	1,73	622,8	124,56	216	0,9	0,35	10	3,5	94	22

Рационально для удобства восприятия и анализа информации по итоговым расчётным нагрузкам на стороне 0,4 кВ ТП района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 15 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 15 – Расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП

№	P _{р 0,4 кВ,} кВт	Q _{р 0,4 кВ,} квар	S _{р 0,4 кВ,} кВА
ТП-1	2094,3	370,9	2126,8
ТП-2	1473,6	243,6	1493,7
ТП-3	2119,8	358,4	2149,9
ТП-4	1474,7	283,6	1501,7
ТП-5	1132,2	298,8	1170,9
ТП-6	2434,1	419,1	2469,9
ТП-7	2134,6	358,0	2164,4
ТП-8	1105,3	210,8	1125,2

Далее по расчётной нагрузке проводится выбор батарей конденсаторов.

2.6 Проверка коэффициента мощности на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной величине коэффициента мощности на шинах 0,4 кВ ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$tg\varphi = \frac{Q_{расч\ ТП-1}}{P_{расч\ ТП-1}}, \quad (25)$$

$$tg\varphi = \frac{370.9}{2094.3} = 0.18,$$

$$tg\varphi \leq tg\varphi_{лд},$$

$$0,18 \leq 0,35;$$

где $tg\varphi_{лд}$ - предельно допустимый коэффициент реактивной мощности, 0,35 по [16].

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о расчётной величине коэффициента мощности на шинах 0,4 кВ ТП района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 16 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 16 – Расчётная величина коэффициента мощности на шинах 0,4 кВ ТП

№	$P_{р\ 0,4\ кВ},\ кВТ$	$Q_{р\ 0,4\ кВ},\ кВар$	$tg\varphi$	$tg\varphi_{лд}$	ВЫВОД
ТП-1	2094,3	370,9	0,18	0,35	КРМ не выполняется
ТП-2	1473,6	243,6	0,17	0,35	КРМ не выполняется
ТП-3	2119,8	358,4	0,17	0,35	КРМ не выполняется
ТП-4	1474,7	283,6	0,19	0,35	КРМ не выполняется
ТП-5	1132,2	298,8	0,26	0,35	КРМ не выполняется
ТП-6	2434,1	419,1	0,17	0,35	КРМ не выполняется
ТП-7	2134,6	358,0	0,17	0,35	КРМ не выполняется
ТП-8	1105,3	210,8	0,19	0,35	КРМ не выполняется

3 РАСЧЁТНЫЕ НАГРУЗКИ СЕТИ 10 КВ

3.1 Выбор мощности силовых трансформаторов 10/0,4 кВ

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной величине мощности трансформаторов 10/0,4 кВ для ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$S_{pCT\ TП-1} = \frac{S_{расч\ TП-1}}{n_T \cdot K_3^{ОПТ}}, \quad (26)$$

$$S_{pCT\ TП-1} = \frac{2126,8}{2 \cdot 0,8} = 1329\ кВА,$$

где $S_{расч\ TП-1}$ - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1, кВА;

n_T - количество трансформаторов, равно 2 для потребителей 2 категории;

$K_3^{ОПТ}$ - коэффициент загрузки, 0,8.

Рационально для удобства получения и анализа информации о выбранной номинальной мощности трансформаторов 10/0,4 кВ для ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$S_{pCT\ TП-1} \leq S_{ном\ TП-1},$$

$$1329\ кВА \leq 1600\ кВА,$$

где $S_{ном\ TП-1}$ - номинальная мощность трансформаторов ТМГ-10/0,4 кВ ТП-1, 1600 кВА;

Рационально для удобства получения и анализа информации о нормальной загрузке трансформаторов 10/0,4 кВ для ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$K_{загр\ норм} = \frac{S_{p\ CT\ ТП-1}}{S_{\phi\ CT\ ТП-1} \cdot n_T} ; \quad (27)$$

$$K_{загр\ норм} = \frac{2126,8}{1600 \cdot 2} = 0,66 .$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о послеаварийной загрузке трансформаторов 10/0,4 кВ для ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$K_{загр\ послеав} = \frac{S_{p\ CT\ ТП-1}}{S_{\phi\ CT\ ТП-1} \cdot (n_T - 1)} , \quad (28)$$

$$K_{загр\ послеав} = \frac{2126,8}{1600 \cdot (2 - 1)} = 1,33 .$$

Послеаварийная перегрузка трансформаторов ТМГ не превышает 1,5. Для продолжительности перегрузки в течении 6 часов с минимальным ущербом для внутренней изоляции трансформаторов 10/0,4 кВ ТМГ допустимая величина перегрузки 1,6, [6]. Под минимальным ущербом для внутренней изоляции трансформаторов 10/0,4 кВ подразумевается такая величина повышенных токов в обмотках трансформатора, при которых межвитковая изоляция сохраняет свои свойства, при этом не происходит существенного её старения.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о загрузке трансформаторов 10/0,4 кВ ТП района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 17 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 17 – Загрузка трансформаторов 10/0,4 кВ

№ ТП	$P_{p, 0,4 \text{ кВ}}, \text{ кВт}$	$Q_{p, 0,4 \text{ кВ}}, \text{ кВар}$	$S_{p, 0,4 \text{ кВ}}, \text{ кВА}$	$N_{\text{тр}}$	$K_{\text{доп}}$	$S_{\text{тр расч}}, \text{ кВА}$	$S_{\text{тр ном}}, \text{ кВА}$	$K_3 \text{ норм}$	$K_3 \text{ послеав}$
ТП-1	2094,3	370,9	2126,8	2	0,8	1329	1600	0,66	1,33
ТП-2	1473,6	243,6	1493,7	2	0,8	934	1000	0,75	1,49
ТП-3	2119,8	358,4	2149,9	2	0,8	1344	1600	0,67	1,34
ТП-4	1474,7	283,6	1501,7	2	0,8	939	1000	0,75	1,50
ТП-5	1132,2	298,8	1170,9	2	0,8	732	1000	0,59	1,17
ТП-6	2434,1	419,1	2469,9	2	0,8	1544	1600	0,77	1,54
ТП-7	2134,6	358,0	2164,4	2	0,8	1353	1600	0,68	1,35
ТП-8	1105,3	210,8	1125,2	2	0,8	703	1000	0,56	1,13

3.2 Потери мощности в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ

Рационально для удобства получения и анализа информации о потерях мощности в трансформаторах 10/0,4 кВ для ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$\Delta P_T = \frac{P_{pCT \text{ ТП-1}}^2 + Q_{pCT \text{ ТП-1}}^2}{U_H^2} \cdot \frac{R_T}{2} + \Delta P_{XX} \cdot 2, \quad (29)$$

$$\Delta P_T = \frac{2094,3^2 + 370,9^2}{10^2} \cdot \frac{0,0007}{2} + 3,3 \cdot 2 = 22,5 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = \frac{P_{pCT \text{ ТП-1}}^2 + Q_{pCT \text{ ТП-1}}^2}{U_H^2} \cdot \frac{X_T}{2} + \left(\frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{\phi CT \text{ ТП-1}} \right) \cdot 2, \quad (30)$$

$$\Delta Q_T = \frac{2094,3^2 + 370,9^2}{10^2} \cdot \frac{0,0034}{2} + \left(\frac{1,3}{100} \cdot 1600 \right) \cdot 2 = 117,7 \text{ квар},$$

где ΔP_{XX} - потери холостого хода трансформатора, кВт, [14];

I_{xx} - ток холостого хода трансформатора, %, [14];

$S_{\phi CT \text{ ТП-1}}$ - фактическая мощность трансформатора, кВА;

$P_{pCT \text{ ТП-1}}, Q_{pCT \text{ ТП-1}}$ - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП, кВт, кВар;

$U_{H BH}$ - номинальное напряжение трансформатора 10/0,4 кВ высокой стороны, 10 кВ;

R_T, X_T - активное и реактивное сопротивление трансформатора, [14].

Рационально для удобства получения и анализа информации о сопротивлении трансформаторов 10/0,4 кВ для ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$R_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{H BH}^2}{S_{\phi CT TП-1}}, \quad (31)$$

$$R_T = \frac{18 \cdot 10^2}{1600} = 0,0007 \text{ Ом},$$

$$X_T = \sqrt{\left(\frac{U_K \cdot U_{H BH}^2}{100 \cdot S_{\phi CT TП-1}}\right)^2 - R_T^2}, \quad (32)$$

$$X_T = \sqrt{\left(\frac{5.5 \cdot 10^2}{100 \cdot 1600}\right)^2 - 0.0007^2} = 0.0034 \text{ Ом},$$

где ΔP_K - потери короткого замыкания трансформатора, кВт, [14];

U_K - напряжение короткого замыкания трансформатора, %, [14];

Рационально для удобства получения и анализа информации о нагрузке трансформаторов на высокой стороне для ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$S_{p 10кВ TП-1} = \sqrt{(P_{p CT TП-1} + \Delta P_T)^2 + (Q_{p CT TП-1} + \Delta Q_{TП})^2}, \quad (33)$$

$$S_{p 10кВ TП-1} = \sqrt{(2094,3 + 22,5)^2 + (370,9 + 117,7)^2} = 2172,4 \text{ кВА}.$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о нагрузке трансформаторов на высокой стороне ТП района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 18 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 18 – Приведение нагрузки к стороне ВН ТП

№ ТП	P_p 0,4 кВ, кВт	Q_p 0,4 кВ, кВар	$N_{тр}$	R_T , Ом	X_T , Ом	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВТ	P_p 10 кВ, кВт	Q_p 10 кВ, кВар	S_p 10 кВ, кВА
ТП-1	2094,3	370,9	2	0,0007	0,0034	0,0034	22,50	117,7	2116,8	488,6
ТП-2	1473,6	243,6	2	0,0012	0,0054	0,0055	18,51	87,8	1492,2	331,5
ТП-3	2119,8	358,4	2	0,0007	0,0034	0,0034	22,85	119,4	2142,6	477,8
ТП-4	1474,7	283,6	2	0,0012	0,0054	0,0055	18,66	88,5	1493,4	372,0
ТП-5	1132,2	298,8	2	0,0012	0,0054	0,0055	13,26	64,8	1145,4	363,6
ТП-6	2434,1	419,1	2	0,0007	0,0034	0,0034	28,05	144,2	2462,1	563,3
ТП-7	2134,6	358,0	2	0,0007	0,0034	0,0034	23,07	120,4	2157,6	478,4
ТП-8	1105,3	210,8	2	0,0019	0,0085	0,0087	15,24	79,1	1120,5	289,9

3.3 Расчётные нагрузки кабелей 10 кВ

Особенность распределительных и питающих сетей 10 кВ города Благовещенск заключается в использовании многолучевые схемы с взаимным резервированием и поперечными связями между ТП. Нормально выключенные участки многолучевой схемы в таком случае редко используются, поэтому применение двухлучевых схем обоснованно [6].

Для выбранного района проектирования рассматривается сооружение питающей сети 10 кВ (2 кабеля от шин 10 кВ ПС) с сооружением РТП.

В рассматриваемом районе проектирования центр питания - шины 10 кВ ПС 110/10 кВ «Новая». ПС «Новая» находится на расстоянии 0,5 км от района проектирования. Составляются 2 варианта подключения ТП к сети 10 кВ – с использованием трёх и двух магистралей питания.

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке участка схемы сети 10 кВ включающей ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 по варианту 1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$P_{расч\ лин10кВ} = k_{сов\ макс} \cdot P_{сумм\ нагр\ ТП}, \quad (34)$$

$$Q_{расч\ лин10кВ} = k_{сов\ макс} \cdot Q_{сумм\ нагр\ ТП}, \quad (35)$$

$$P_{сумм\ нагр\ ТП} = 2116.8 + 1492.2 + 2157.6 = 5767 \text{ кВт},$$

$$Q_{сумм\ нагр\ ТП} = 488.6 + 331.5 + 478.4 = 1298 \text{ квар},$$

$$S_{расч\ лин10кВ} = \sqrt{P_{расч\ лин10кВ}^2 + Q_{расч\ лин10кВ}^2}, \quad (36)$$

$$P_{расч\ лин10кВ} = 0.8 \cdot 5767 = 4613 \text{ кВт},$$

$$Q_{расч\ лин10кВ} = 0.8 \cdot 1298 = 1039 \text{ квар},$$

$$S_{расч\ лин10кВ} = \sqrt{4613^2 + 1039^2} = 4729 \text{ кВА},$$

где $k_{сов\ макс}$ - коэффициент совмещения максимумов, 0,8, [2];

$S_{сумм\ нагр\ ТП}$, $Q_{сумм\ нагр\ ТП}$, $P_{сумм\ нагр\ ТП}$ - суммарная нагрузка на стороне 10 кВ

ТП 7 - ТП 1 - ТП 2:

Рационально для удобства получения и анализа информации о токовой нагрузке участка схемы сети 10 кВ включающей ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 по варианту 1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$I_{расч\ лин10кВ} = \frac{S_{расч\ лин10кВ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (37)$$

$$I_{расч\ лин10кВ} = \frac{4729}{\sqrt{3} \cdot 10} = 273 \text{ А}.$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о нагрузке кабелей 10 кВ района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 19 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 19 - Расчёт нагрузки кабелей 10 кВ

Наименование фидера 10 кВ	$P_{\text{СУМ}} \text{ КЛ, кВт}$	$Q_{\text{СУММ}} \text{ КЛ, кВар}$	$S_{\text{СУММ}} \text{ КЛ, кВА}$	$K_{\text{СОВМ}}$	$P_{\text{Р КЛ, кВт}}$	$Q_{\text{Р КЛ, кВар}}$	$S_{\text{Р КЛ, кВА}}$	$I_{\text{Р КЛ, А}}$
ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 (вариант 1)	5767	1298	5911	0,8	4613	1039	4729	273
ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3 (вариант 1)	7244	1777	7462	0,8	5795	1421	5969	345
ПС - ТП 7 - ТП 1 (вариант 2)	4274	967	4382	0,85	3633	822	3725	215
ПС - ТП 6 - ТП 2 (вариант 2)	3954	895	4054	0,9	3361	761	3446	199
ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3 (вариант 2)	4781	1213	4936	0,8	3825	971	3949	228
кабель питания РТП 8	14131	3365	14530	0,75	10598	2524	10898	630

3.4 Выбор сечений и марки фидеров 10 кВ

Для увеличения надёжности пропускной способности сети 10 кВ применяем кабель марки АПВВнг с алюминиевыми жилами (А), изоляцией из сшитого полиэтилена (Пв), оболочкой из ПВХ пластиката (Внг).

Рационально для удобства получения и анализа информации о правильности выбора сечения кабельной линии 10 кВ по нагреву длительно допустимым током схемы сети 10 кВ включающей ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 по варианту 1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$I_p \leq I_{\text{дон}} , \quad (38)$$

$$273 \text{ А} \leq 298 \text{ А} .$$

Предварительное сечение жил кабеля 10 кВ для линии ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 варианта №1 сети составляет 120 мм².

Рационально для удобства получения и анализа информации о правильности выбора сечения кабельной линии 10 кВ по ожидаемой потере напряжения участка схемы сети 10 кВ включающей ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 по варианту 1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$F_{расч\ лин10кВ} = \frac{P_{расч\ лин10кВ} \cdot L_{лин10кВ} \cdot \rho_{уд}}{U_{ном} \cdot \Delta U_{доп}}, \quad (39)$$

$$F_{расч\ лин10кВ} = \frac{4613 \cdot 0,8 \cdot 28}{10 \cdot 500} = 21 \text{ мм}^2,$$

где $P_{расч\ лин10кВ}$ - расчётная активная нагрузка по линии;

$L_{лин10кВ}$ - длина линии, км;

$\rho_{уд}$ - удельное активное сопротивление для выбранного материала проводника, $28 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2$;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение сети, 10 кВ;

$\Delta U_{доп}$ - допустимое падение напряжение, принято 5% от номинала – 500 В.

Принимается сечение жил кабеля участка схемы сети 10 кВ включающей ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 по варианту 1 удовлетворяющее всем требованиям - 120 мм^2 .

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине потерь электроэнергии участка схемы сети 10 кВ включающей ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 по варианту 1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$\Delta W_{лин10кВ} = \frac{P_{расч\ лин10кВ}^2 + Q_{расч\ лин10кВ}^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{лин10кВ} \cdot T, \quad (40)$$

$$\Delta W_{\text{лин}10\text{кВ}} = \frac{4613^2 + 1039^2}{10^2} \cdot 0,2 \cdot 4000 = 90517 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$R_{\text{лин}10\text{кВ}} = L_{\text{лин}10\text{кВ}} \cdot \rho_{\text{пог уд}}, \quad (41)$$

$$R_{\text{лин}10\text{кВ}} = 0,8 \cdot 0,253 = 0,2 \text{ Ом},$$

где $P_{\text{расч лин}10\text{кВ}}$ – активная нагрузка по линии, МВт;

$Q_{\text{расч лин}10\text{кВ}}$ – реактивная нагрузка по линии, Мвар;

$R_{\text{лин}10\text{кВ}}$ – активное сопротивление линии;

$\rho_{\text{пог уд}}$ – удельное погонное сопротивление линии 10 кВ, Ом/км;

T – число часов максимума нагрузки, для городских сетей принято 4000 ч.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выбранных кабелях 10 кВ района города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 20 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 20 - Выбор сечения кабелей 10 кВ

Наименование фидера 10 кВ	$P_{\text{Р КЛ}}$, кВт	$Q_{\text{Р КЛ}}$, кВар	$S_{\text{Р КЛ}}$, кВА	$I_{\text{Р КЛ}}$, А	$I_{\text{Доп КЛ}}$, А	L , км	$F_{\text{КЛ ΔU}}$, мм ²	$F_{\text{КЛ ФАКТ}}$, мм ³	$R_{\text{КЛ}}$, Ом/км	$\Delta W_{\text{КЛ}}$, кВт*ч
ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 (вариант 1)	4613	1039	4729	273	298	0,8	21	120	0,253	90517
ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3 (вариант 1)	5795	1421	5969	345	371	1,2	39	185	0,164	140124
ПС - ТП 7 - ТП 1 (вариант 2)	3633	822	3725	215	240	0,4	8	70	0,443	49176
ПС - ТП 6 - ТП 2 (вариант 2)	3361	761	3446	199	240	1,2	23	70	0,443	126264
ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3 (вариант 2)	3825	971	3949	228	240	1,4	30	70	0,443	193180
кабель питания РТП 8	10598	2524	10898	630	653	0,7	42	630	0,046	76435

3.5 Техничко-экономическое сравнение вариантов сети 10 кВ

Разработаны 2 варианта конфигурации схемы сети 10 кВ. Для обоих вариантов основным источником питания сетей 10 кВ принята РТП. Такая необходимость является следствием ограниченного количества ячеек КРУ на ПС Новая, которая является ближайшим открытым центром питания. Использование РТП позволяет задействовать 2 ячейки КРУ ПС Новая, при этом сохранить возможность подключения новых ТП от РУ 10 кВ РТП.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о вариантах подключения сетей 10 кВ к питающей ПС объектов застройки района улиц Мухина-Игнатьевское шоссе-Кантемирова города Благовещенска привести соответствующие расчётные данные в виде рисунков 4 и 5 с графическим материалом.

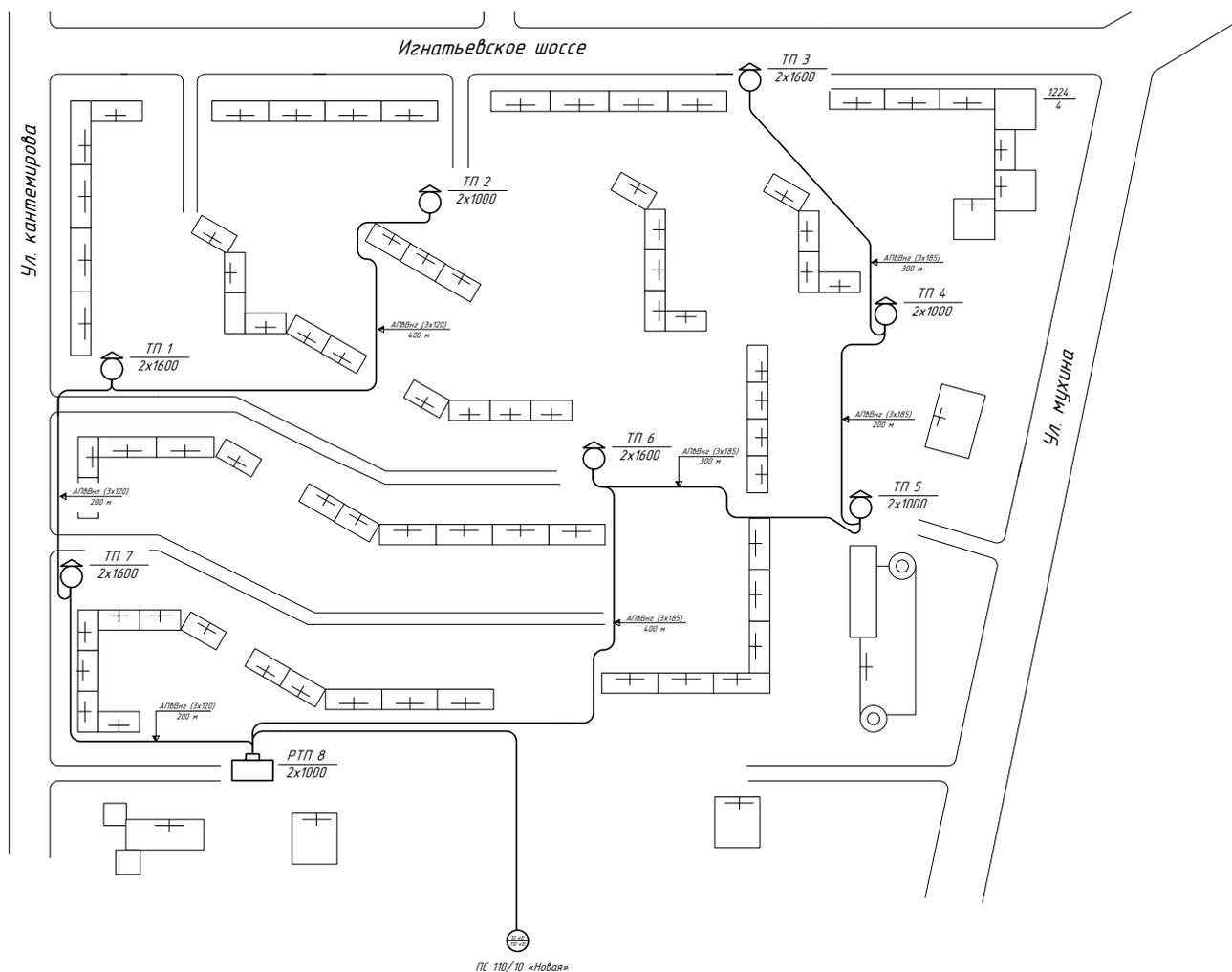


Рисунок 4 – Вариант №1 выполнения сетей 10 кВ микрорайона «Питер»

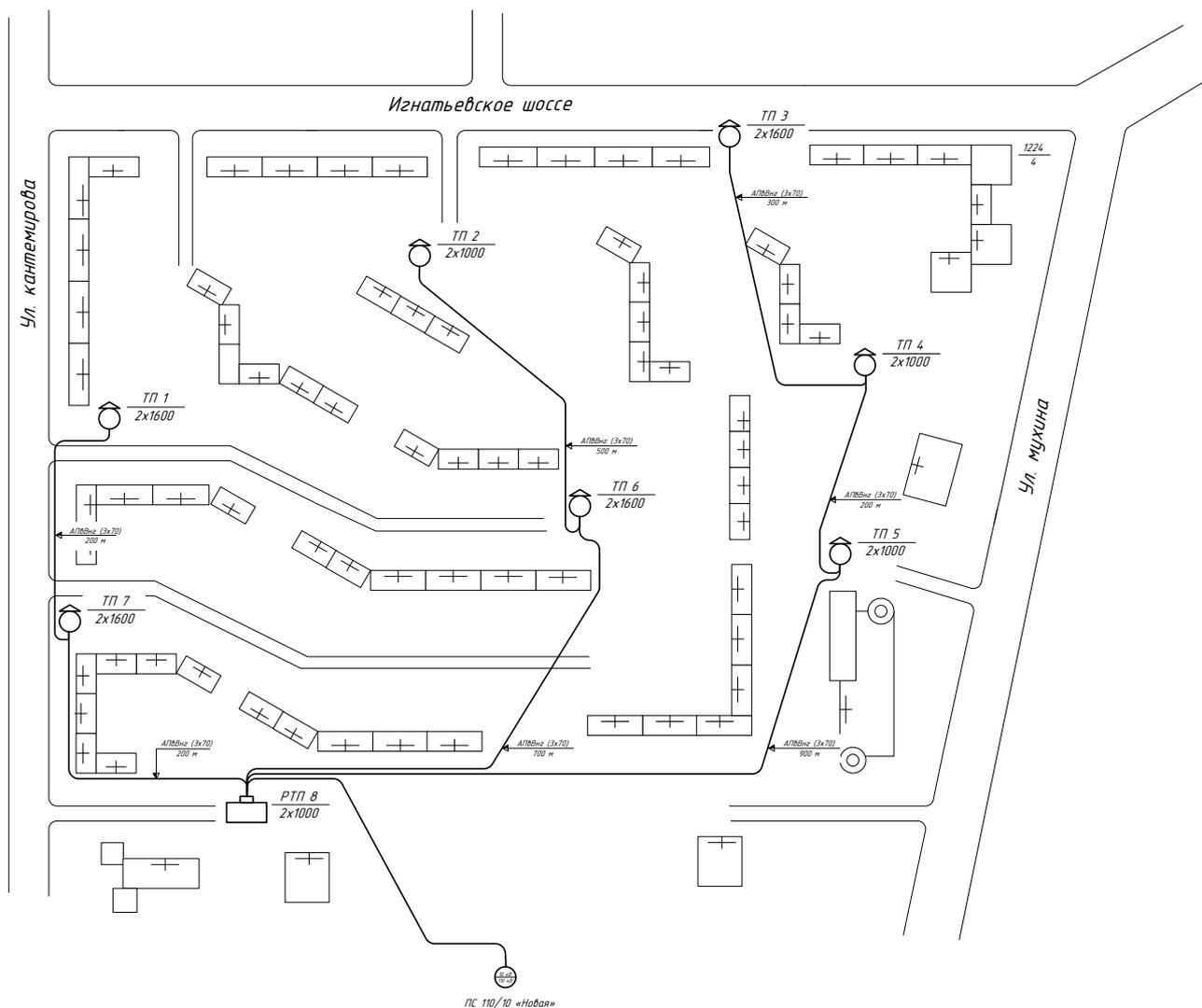


Рисунок 5 – Вариант №2 выполнения сетей 10 кВ микрорайона «Питер»

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине приведенных затрат на сооружение и эксплуатацию сети 10 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$Z = E \cdot K + I = E \cdot (K_{\text{лин}} + K_{\text{выкл}}) + (A_{\text{лин}} \cdot K_{\text{лин}} + A_{\text{выкл}} \cdot K_{\text{выкл}}) + C_0 \cdot \Delta W_{\text{лин}10\text{кВ}}, \quad (37)$$

$$Z_1 = 0,1 \cdot (10839 + 1800) + (0,005 \cdot 10839 + 0,059 \cdot 1800) + 1,5 \cdot (90517 + 140124) = 2075 \text{ тыс.руб.},$$

$$Z_2 = 0,1 \cdot (7158 + 2700) + (0,005 \cdot 7158 + 0,059 \cdot 2700) + 1,5 \cdot (49176 + 126264 + 193180) = 1973 \text{ тыс.руб.},$$

$$K_{\text{лин}} = L_{\text{лин}} \cdot C_{\text{лин}},$$

$$K_{\text{лин}1} = L_{\text{лин-185}} \cdot C_{\text{лин-185}} + L_{\text{лин-120}} \cdot C_{\text{лин-120}} = 2,4 \cdot 3153 + 1,6 \cdot 2045 = 10839 \text{ тыс.руб.},$$

$$K_{\text{лин}2} = L_{\text{лин-70}} \cdot C_{\text{лин-70}} = 6 \cdot 1193 = 7158 \text{ тыс.руб.},$$

$$K_{\text{выкл}1} = 4 \cdot 450 = 1800 \text{ тыс.руб.},$$

$$K_{\text{выкл}2} = 6 \cdot 450 = 2700 \text{ тыс.руб.},$$

где E - норматив дисконтирования, принимается по [28] 0,1;

$K_{\text{лин}}$ - стоимость кабелей КЛ, для варианта 1 и 2 соответственно:

$L_{\text{лин-185}}, L_{\text{лин-70}}, L_{\text{лин-120}}$ - протяженность линий выполненной кабелем сечением 185, 70 и 120 мм², км;

$C_{\text{лин-185}}, C_{\text{лин-70}}, C_{\text{лин-120}}$ - стоимость кабеля сечением 185, 70 и 120 мм², принимается по [27] 1100 и 1193 тыс. руб./км;

$K_{\text{выкл}}$ - стоимость выключателей 10 кВ установленных в центре питания - 450 тыс. руб.

A - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание $A_{\text{выкл}} = 5,9\%$, $A_{\text{лин}} = 0,5\%$;

$\Delta W_{\text{лин}10\text{кВ}}$ - потери электроэнергии в ВЛ, кВтч;

C_0 - удельная стоимость потерь электроэнергии, принимается 1,5 руб/кВтч по [12].

Разница в затратах между вариантами составляет 102 тыс.руб., по отношению к большей величине 5%. В таком случае принято рассматривать варианты как равноэкономичные. В дальнейшем следует принимать вариант с минимальными издержками потерь электроэнергии, поэтому вариант 1 оптимальный для проектирования.

4 РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Проверка параметров электрооборудования сетей 0,4-10 кВ, выбор и проверка уставок релейной защиты и автоматики осуществляются по результатам расчёта токов КЗ.

4.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 10 кВ

В целях сокращения объёмов расчёта, но с условием сохранения достаточности расчётных данных проводится расчёт токов КЗ для ближней и дальней ТП по каждому лучу из схем 10 кВ.

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени участка схемы сети 10 кВ до ТП 7 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (42)$$

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,03^2 + 0,485^2}} = 12,5 \text{ кА},$$

$$R_{\Sigma} = R_{лин 10кВ} = R_{уд лин 10кВ} \cdot L, \quad (43)$$

$$R_{\Sigma} = 0,253 \cdot 0,2 = 0,03 \text{ Ом},$$

$$X_{\Sigma} = X_c = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{выкл}^{(3)}}, \quad (44)$$

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

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение на ЦП, принимается 10,5 кВ;

R_{Σ} - суммарное активное сопротивление до точки КЗ,

L – длина участка до точки КЗ, км.

X_{Σ} - суммарное реактивное сопротивление до точки КЗ:

$I_{выкл}^{(3)}$ - номинальный ток отключения выключателя, установленного на ПС

Новая согласно п 6.2.3 РД 153-34.0-20.527-98, для выключателя ВВ/Тел принимается 12,5 кА.

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине тока двухфазного короткого замыкания участка схемы сети 10 кВ до ТП 7 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{по}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{по}^{(3)}, \quad (45)$$

$$I_{по}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12,5 = 10,87 \text{ кА}.$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине постоянной затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания участка схемы сети 10 кВ до ТП 7 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (46)$$

$$T_a = \frac{0,485}{0,03 \cdot 314} = 0,061 \text{ с},$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине коэффициента затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания участка схемы сети 10 кВ до ТП 7 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (47)$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,061}} = 1,8.$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине ударного тока короткого замыкания участка схемы сети 10 кВ до ТП 7 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{по}, \quad (48)$$

$$i_{y\partial} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,5 = 32,7 \text{ кА}.$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о величине токов КЗ в сети 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 21 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 21 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

точка	L, км	R _Σ , Ом	X _Σ , Ом	Z _Σ , Ом	I ⁽³⁾ _{по} , кА	I ⁽²⁾ _{по} , кА	T, с	K _{y∂}	i _{y∂} , кА
ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2									
ТП 7	0,2	0,03	0,485	0,49	12,50	10,87	0,061	1,8	32,7
ТП 2	0,8	0,10	0,485	0,50	12,25	10,66	0,015	1,5	26,3
ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3									
ТП 6	0,4	0,03	0,485	0,49	12,49	10,86	0,047	1,8	31,9
ТП 3	1,2	0,10	0,485	0,49	12,26	10,67	0,016	1,5	26,5

4.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ

Уровни токов КЗ в сети 0,4 кВ так же оценочно находятся на ближайшем и дальнейшем потребителе по кабельной линии 0,4 кВ. Сопротивления кабельных линий принимаются на основе выбранных ранее КЛ 0,4 кВ, [8]. Сопротивления трансформаторов принимаются на основе выбранных трансформаторов 10/0,4 кВ, [8].

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о схеме замещения магистрали ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 привести соответствующие расчётные данные в виде рисунка 6 с графическим материалом.

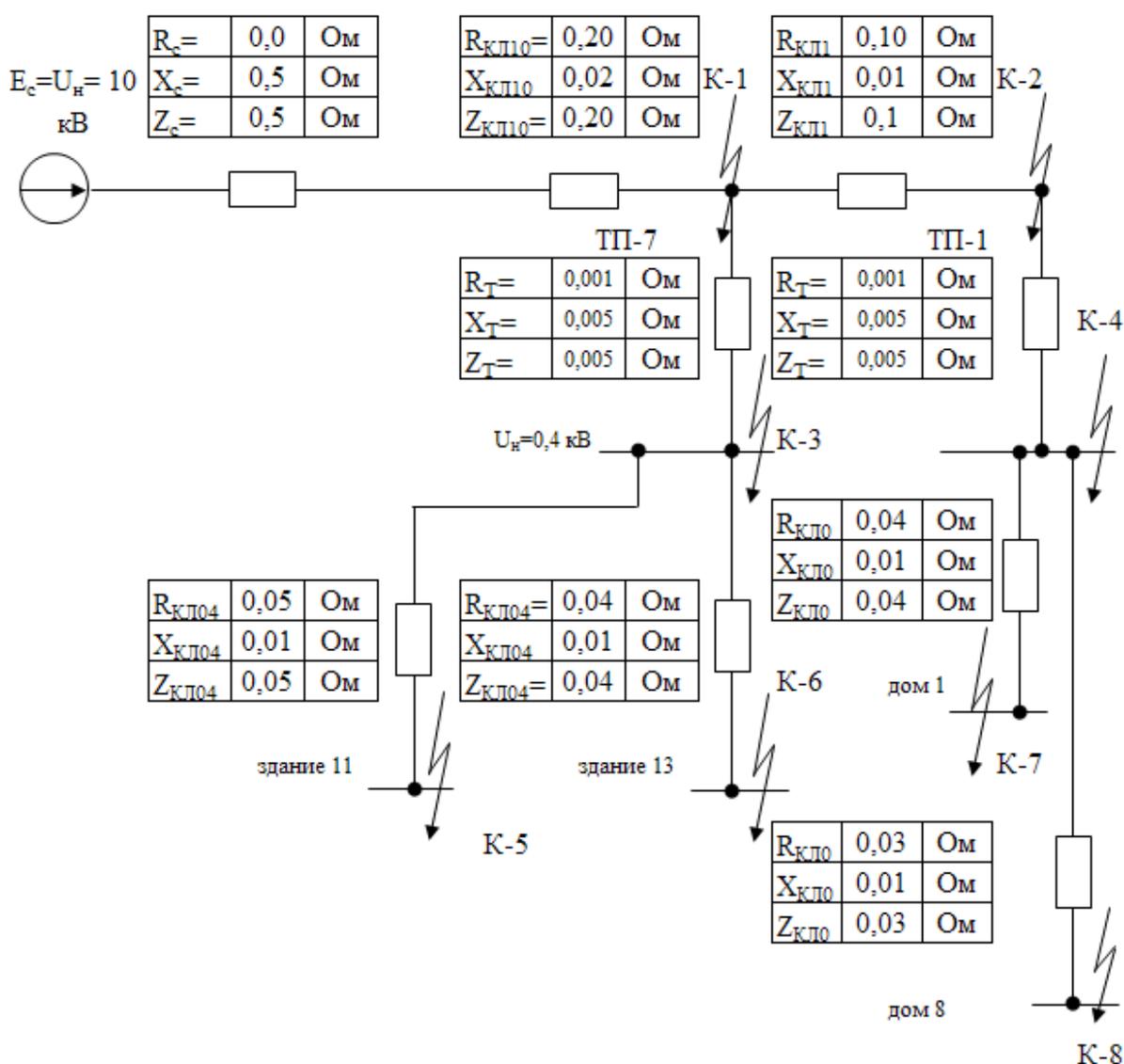


Рисунок 6 – Схема замещения магистрали ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине тока периодической составляющей трёхфазного КЗ в сети 0,4 кВ от ТП 7 и ТП 1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (49)$$

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,001^2 + 0,007^2}} = 33,4 \text{ кА},$$

$$X_{\Sigma} = X_T + X_c = X_T + \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{ПО ВН}^{(3)}} \cdot \left(\frac{1}{K_T} \right)^2, \quad (50)$$

$$X_{\Sigma} = 0,002 + \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 12,5} \cdot \left(\frac{1}{0,4} \right)^2 = 0,007 \text{ Ом},$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение на стороне НН ТП, 0,4 кВ;

R_{Σ} - суммарное активное сопротивление до точки КЗ, $R_{\Sigma} = R_0 = 0,001 \text{ Ом}$;

X_{Σ} - суммарное реактивное сопротивление до точки КЗ;

X_T - реактивное сопротивление трансформатора 0,005 Ом, [8];

$U_{ном}$ - номинальное напряжение на стороне ВН ТП, принимается 10 кВ;

$I_{ПО ВН}^{(3)}$ - ток трёхфазного КЗ на стороне ВН ТП, рассчитана ранее, 12,5 кА;

K_T - коэффициент трансформации, определяется как 10/0,4.

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине тока однофазного КЗ в сети 0,4 кВ от ТП 7 и ТП 1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{\Pi 0}^{(1)} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(2 \cdot R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (51)$$

$$I_{\Pi 0}^{(1)} = \frac{0,4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(2 \cdot 0,001 + 0,001)^2 + (2 \cdot 0,007 + 0,007)^2}} = 45,2 \text{ кА},$$

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

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

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о величине токов КЗ в сети 0,4 кВ от ТП 7 и ТП 1 привести соответствующие расчётные данные в виде рисунка 7 с графическим материалом.

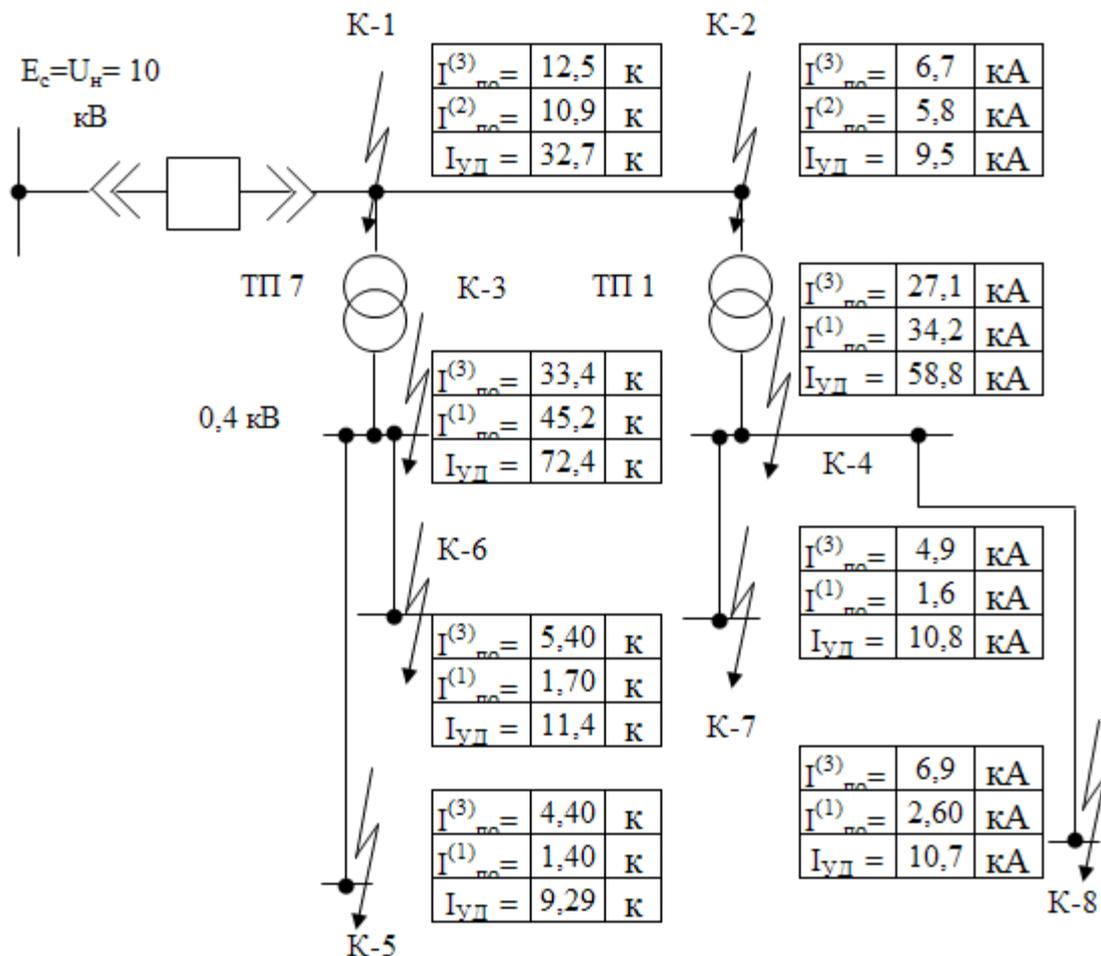


Рисунок 7 - Токи КЗ сети 0,4 кВ для ТП 7 и ТП 1

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о величине токов КЗ в сети 0,4 кВ для остальных магистралей привести соответствующие расчётные данные в виде рисунка 8,9 с графическим материалом.

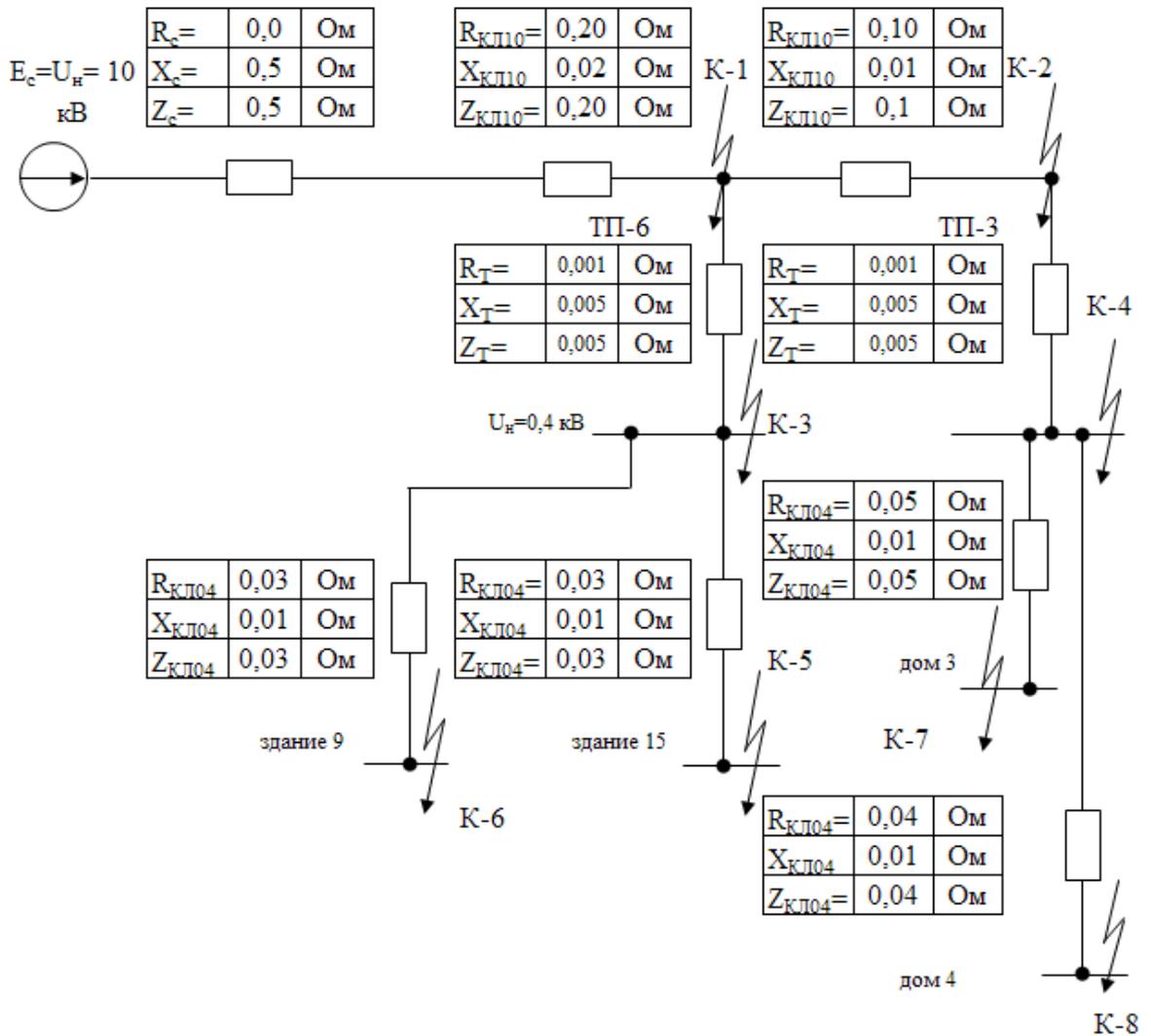


Рисунок 8 – Схема замещения магистрали ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3

По рисунку 8 на ближней ТП:

- ближайший ввод потребителя – здание 15,
- дальнейший ввод потребителя – здание 9.

на дальней ТП:

- ближайший ввод потребителя – жилой дом 3,
- дальнейший ввод потребителя – жилой дом 4.

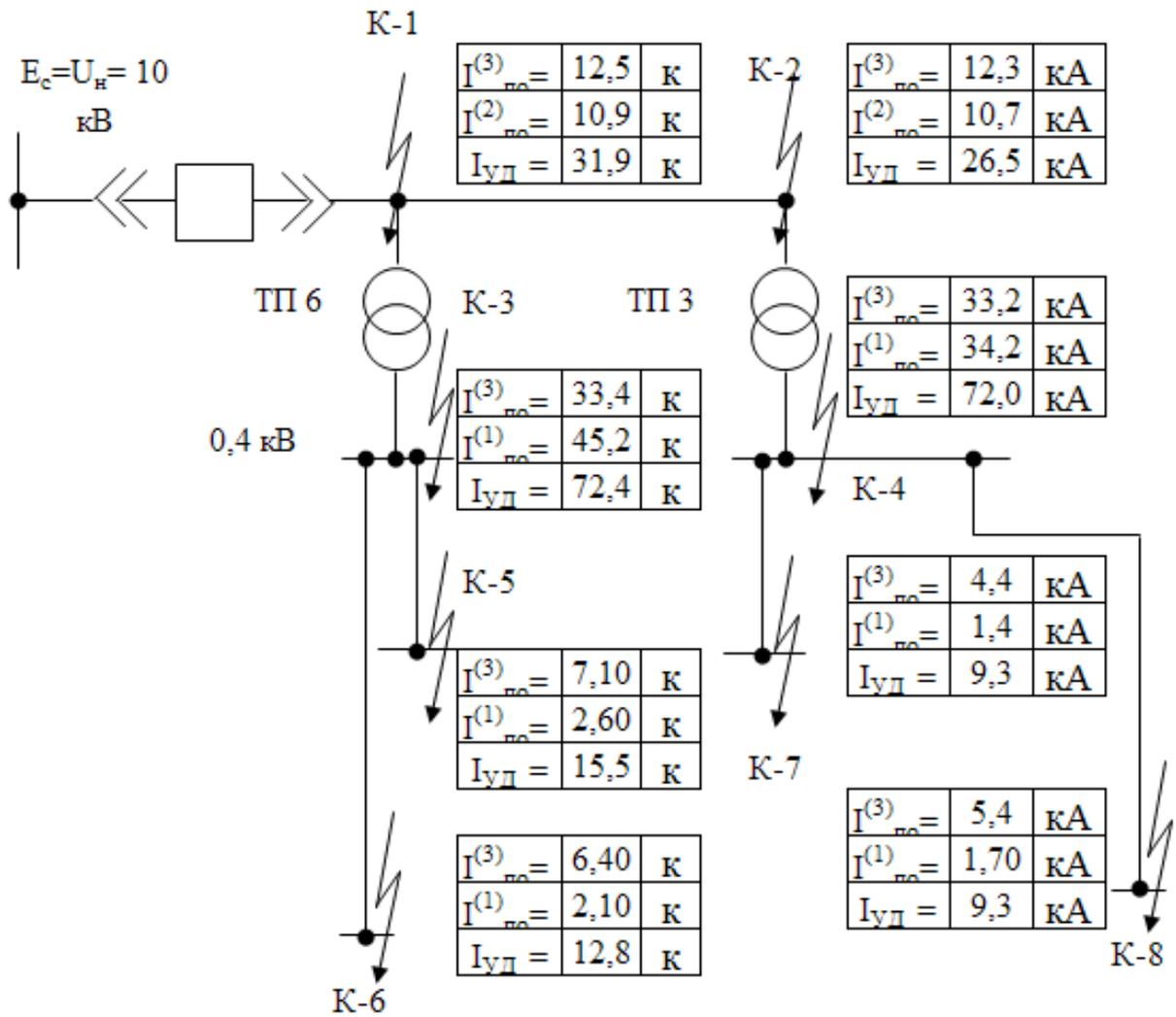


Рисунок 9 - Токи КЗ сети 0,4 кВ для ТП 6 и ТП 3

По рисунку 9 уровни токов КЗ в сети 0,4 кВ трёхфазное/однофазное КЗ:

на ближней ТП:

- ближайший ввод потребителя – 7,1/2,6 кА,
- дальнейший ввод потребителя – 6,4/2,1 кА.

на дальней ТП:

- ближайший ввод потребителя – 4,4/1,4 кА,
- дальнейший ввод потребителя – 5,4/1,7 кА.

5 ВЫБОР АППАРАТОВ В СЕТИ 0,4 КВ

5.1 Выбор линейных автоматических выключателей

Рационально для удобства получения и анализа информации о выбранных линейных автоматических выключателях линии 1 ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{расч} \leq I_{номВА} , \quad (52)$$

$$249 А \leq 250 А ,$$

$$U_{ном} \leq U_{ном ВА} , \quad (53)$$

$$0,4кВ \leq 0,4кВ ,$$

где $U_{ном ВА}$ - номинальное напряжение автоматического выключателя, [8].

$I_{ном ВА}$ - номинальный ток автоматического выключателя, [18].

Используются автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем типа ВА 54-41, [14].

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе линейных автоматических выключателей 0,4 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 22 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 22 – Выбор линейных автоматических выключателей 0,4 кВ

Тип нагрузки	Наим. потр.	$I_{расч}$, А	$I_{ном ВА}$, А	Тип ВА
1	2	3	4	5
ТП-1				
МКД	1	249	250	ВА 54-41
	8	323	400	ВА 54-41

1	2	3	4	5
ТП-2				
МКД	2	190	200	ВА 54-41
	7	207	250	ВА 54-41
ТП-3				
МКД	3	189	200	ВА 54-41
	4	238	250	ВА 54-41
ТП-4				
МКД	5	273	300	ВА 54-41
	6	325	400	ВА 54-41
ТП-5				
МКД	10	275	300	ВА 54-41
	Нагрузка общественных зданий	16	130	200
20		220	250	ВА 54-41
17		157	200	ВА 54-41
ТП-6				
МКД	9	276	300	ВА 54-41
	12	355	400	ВА 54-41
	15	323	400	ВА 54-41
ТП-7				
МКД	11	189	200	ВА 54-41
	13	251	300	ВА 54-41
ТП-8				
МКД	14	327	400	ВА 54-41
	Нагрузка общественных зданий	18	151	200
19		111	150	ВА 54-41

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о проверке линейных автоматических выключателей 0,4 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 23-24 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 23 - Проверка линейных автоматических выключателей 0,4 кВ для ТП 7 – ТП 1

Условие	Формула	Потребители	Выполнение
Стойкость к воздействию тока трёхфазного КЗ	$I_{отк} > I^{(3)}_{по}$	здание 11 от ТП7	$25 > 5,4$
		здание 13 от ТП7	$25 > 4,4$
		здание 1 от ТП1	$25 > 4,9$
		здание 8 от ТП1	$25 > 6,9$
Возможность отключить ток однофазного КЗ	$1,25 I_{расц} < I^{(1)}_{по}$	здание 11 от ТП7	$1,25 < 1,7$
		здание 13 от ТП7	$1,25 < 1,4$
		здание 1 от ТП1	$1,25 < 1,6$
		здание 8 от ТП1	$1,25 < 2,6$

Таблица 24 - Проверка линейных автоматических выключателей 0,4 кВ для ТП 6 – ТП 3

Условие	Формула	Потребители	Выполнение
Стойкость к воздействию тока трёхфазного КЗ	$I_{отк} > I^{(3)}_{по}$	здание 9 от ТП6	$25 > 7,1$
		здание 15 от ТП6	$25 > 6,4$
		здание 3 от ТП3	$25 > 4,4$
		здание 4 от ТП3	$25 > 5,4$
Возможность отключить ток однофазного КЗ	$1,25 I_{расч} < I^{(1)}_{по}$	здание 9 от ТП6	$1,25 < 2,6$
		здание 15 от ТП6	$1,25 < 2,1$
		здание 3 от ТП3	$1,25 < 1,4$
		здание 4 от ТП3	$1,25 < 1,7$

Все линейные автоматические выключатели 0,4 кВ проверку проходят.

5.2 Выбор вводных автоматических выключателей

Вводные автоматические выключатели 0,4 кВ для ТП выбираются и проверяются по тем же условиям, что и линейные автоматические выключатели 0,4 кВ.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе вводных автоматических выключателей 0,4 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 25 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 25 – Выбор вводных автоматических выключателей 0,4 кВ

№ ТП	$I_{расч}$, А	$I_{номВА}$, А	Марка выключателя
ТП-1	1537	1600	ВА54-41
ТП-2	1079	1600	ВА54-41
ТП-3	1553	1600	ВА54-41
ТП-4	1085	1600	ВА54-41
ТП-5	846	1000	ВА54-41
ТП-6	1785	2000	ВА54-41
ТП-7	1564	1600	ВА54-41
ТП-8	813	1000	ВА54-41

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о проверке вводных автоматических выключателей 0,4 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 26-27 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 26 - Проверка вводных автоматических выключателей 0,4 кВ для ТП 7 – ТП 1

Условие	Формула	Потребители	Выполнение
Стойкость к воздействию тока трёхфазного КЗ	$I_{отк} > I^{(3)}_{по}$	здание 11 от ТП7	40 > 33,4
		здание 13 от ТП7	40 > 33,4
		здание 1 от ТП1	40 > 27,1
		здание 8 от ТП1	40 > 27,1
Возможность отключить ток однофазного КЗ	$1,25I_{расц} < I^{(1)}_{по}$	здание 11 от ТП7	1,25 < 1,7
		здание 13 от ТП7	1,25 < 1,4
		здание 1 от ТП1	1,25 < 1,6
		здание 8 от ТП1	1,25 < 2,6

Таблица 27- Проверка вводных автоматических выключателей 0,4 кВ для ТП 6 – ТП 3

Условие	Формула	Потребители	Выполнение
Стойкость к воздействию тока трёхфазного КЗ	$I_{отк} > I^{(3)}_{по}$	здание 9 от ТП6	40 > 33,4
		здание 15 от ТП6	40 > 33,4
		здание 3 от ТП3	40 > 33,2
		здание 4 от ТП3	40 > 33,2
Возможность отключить ток однофазного КЗ	$1,25I_{расц} < I^{(1)}_{по}$	здание 9 от ТП6	2 < 2,6
		здание 15 от ТП6	2 < 2,1
		здание 3 от ТП3	1,25 < 1,4
		здание 4 от ТП3	1,25 < 1,7

Все вводные автоматические выключатели 0,4 кВ проверку проходят.

5.3 Выбор рубильников 0,4 кВ

Рационально для удобства получения и анализа информации о выбранных рубильниках ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{расч} \leq I_{ном руб} , \quad (54)$$

$$1537 A \leq 1600 A .$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе рубильников 0,4 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 28 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 28 - Выбор рубильников 0,4 кВ

№ ТП	$I_{расч}$, А	$I_{ном руб}$, А	Марка рубильника
ТП-1	1537	1600	РЕ-1943
ТП-2	1079	1600	РЕ-1943
ТП-3	1553	1600	РЕ-1943
ТП-4	1085	1600	РЕ-1943
ТП-5	846	1000	РЕ-1941
ТП-6	1785	2000	РЕ-1944
ТП-7	1564	1600	РЕ-1943
ТП-8	813	1000	РЕ-1941

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о проверке рубильников 0,4 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 29 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 29 - Проверка рубильников 0,4 кВ

Условие	Формула	Потребители	Выполнение
Стойкость к воздействию тока трёхфазного КЗ	$I_{отк} > I^{(3)}_{по}$	ТП7	40 > 33,4
		ТП1	40 > 27,1
		ТП6	40 > 33,4
		ТП3	40 > 33,2

Все рубильники 0,4 кВ проверку проходят.

5.4 Проверка кабелей 0,4 кВ

Рационально для удобства получения и анализа информации о проверке кабелей 0,4 кВ линии 1 ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$\Delta U_{факт} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{расч} \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos(\varphi) + x_0 \cdot \sin(\varphi))}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (55)$$

$$\Delta U_{факт} = \frac{\sqrt{3} \cdot 249 / 2 \cdot 0,1 \cdot (0,208 \cdot 0,98 + 0,06 \cdot 0,2)}{0,4} \cdot 100\% = 4,9\%,$$

$$\Delta U_{факт} \leq \Delta U_{доп}, \quad (56)$$

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

где $\cos(\varphi), \sin(\varphi)$ – средние коэффициенты мощности по линии;

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

L – длина кабельной линии 0,4 кВ, км;

$I_{расч}$ – расчетный ток по кабельной линии 0,4 кВ, А;

r_0, x_0 – удельные сопротивления ранее выбранных кабелей, Ом/км;

$\Delta U_{дон}$ – допустимая потеря напряжения по [13], 10%.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о проверке кабелей 0,4 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 30 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 30 – Потери напряжения в сети 0,4 кВ

	Наим. потр.	$I_{расч},$ А	L, км	cosφ	sinφ	R, Ом/км	X, Ом/км	$\Delta U, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП-1								
МКД	1	249	0,2	0,98	0,20	0,208	0,060	4,9
	8	323	0,2	0,98	0,20	0,129	0,057	4,0
ТП-2								
МКД	2	190	0,2	0,98	0,20	0,261	0,060	4,6
	7	207	0,1	0,98	0,20	0,447	0,061	4,3
ТП-3								
МКД	3	189	0,2	0,98	0,20	0,329	0,060	4,3
	4	238	0,2	0,98	0,20	0,261	0,060	4,4
ТП-4								
МКД	5	273	0,1	0,98	0,20	0,261	0,060	3,3
	6	325	0,2	0,98	0,20	0,129	0,057	4,1
ТП-5								
МКД	10	275	0,2	0,98	0,20	0,208	0,060	4,1
Нагрузка обществен- ных зданий	16	130	0,1	0,98	0,20	0,625	0,063	3,7
	20	220	0,3	0,87	0,49	0,129	0,057	4,2
	17	157	0,1	0,90	0,44	0,625	0,063	4,2
ТП-6								
МКД	9	276	0,1	0,98	0,20	0,329	0,060	4,2
	12	355	0,2	0,98	0,20	0,169	0,060	4,3
	15	323	0,2	0,98	0,20	0,129	0,057	4,0
ТП-7								
МКД	11	189	0,2	0,98	0,20	0,329	0,060	4,3
	13	251	0,2	0,98	0,20	0,261	0,060	4,6
ТП-8								

Продолжение таблицы 30

1	2	3	4	5	6	7	8	9
МКД	14	327	0,2	0,98	0,20	0,208	0,060	4,8
Нагрузка обществен- ных зданий	18	151	0,1	0,92	0,39	0,625	0,063	4,1
	19	111	0,1	0,97	0,24	0,894	0,064	4,5

Все кабели 0,4 кВ проверку проходят.

6 ВЫБОР АППАРАТОВ В СЕТИ 10 КВ

6.1 Выбор предохранителей 10 кВ

Для защиты трансформаторов 10 кВ от токов КЗ со стороны ВН применяются кварцевые предохранители ПК.

Рационально для удобства получения и анализа информации о выборе предохранителей 10 кВ ТП-1 выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{РАСЧ} = \frac{S_{тр\ ном} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (57)$$

$$I_{РАСЧ} = \frac{1600 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129 \text{ А},$$

$$I_{РАСЧ} \leq I_{номПР},$$

$$129 \text{ А} \leq 160 \text{ А},$$

где $S_{тр\ ном}$ - мощность трансформатора, кВА;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение ВН, 10 кВ.

Выбирается предохранитель марки ПК4-160-160-10У3 на ток 160 А, [7].

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе предохранителей 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 31 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 31 – Выбор предохранителей 10 кВ

№ ТП	$S_{тр\ ном}$, кВА	$I_{РАСЧ}$, А	$I_{номПР}$, А	$I_{вст}$, А	Тип предохранителя
1	2	3	4	5	6
ТП-1	1600	129	160	160	ПК4– 10У3
ТП-2	1000	81	160	160	ПК4– 10У4
ТП-3	1600	129	160	160	ПК4– 10У5

1	2	3	4	5	6
ТП-4	1000	81	160	160	ПК4– 10У6
ТП-5	1000	81	160	160	ПК4– 10У3
ТП-6	1600	129	160	160	ПК4– 10У3
ТП-7	1600	129	160	160	ПК4– 10У3
ТП-8	1000	81	160	160	ПК4– 10У3

6.2 Выбор выключателей нагрузки 10 кВ

Выключатели нагрузки ВНП-16 с ручным автоматическим приводом ПРА-17 и предохранителями ПК обеспечивают защиту трансформаторов от токов КЗ.

Рационально для удобства получения и анализа информации о выборе выключателей нагрузки 10 кВ ТП-7 по термической стойкости выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$B_{к\ расч} = I_{ПО}^{(3)2} \cdot (t_{отк} + T_a + \Delta t), \quad (58)$$

$$B_{к\ расч} = 12,5^2 \cdot (1 + 0,061 + 0,5) = 234 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} ,$$

$$B_{к\ ном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} , \quad (59)$$

$$B_{к\ ном} = 12,5^2 \cdot 4 = 625$$

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314} ;$$

$$T_a = \frac{0,485}{0,03 \cdot 314} = 0,061 \text{ с};$$

где $t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя 1с;

T_a - постоянная затухания аperiodической составляющей

Δt - степень селективности по магистрали, увеличивается от головного участка магистрали на 0,5 с.

Рационально для удобства получения и анализа информации о проверке выключателей нагрузки 10 кВ ТП-7 по электродинамической стойкости выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{уд} \leq I_{дин} ,$$

$$32,7 \leq 40 \text{ кА}.$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе и проверке выключателей нагрузки 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 32 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 32 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ

№ ТП	$I_{РАСЧ}$, А	I_H , А	$B_{к расч}$, кА ² с	$B_{к ном}$, кА ² с	$I_{уд}$, кА	$I_{дин}$, кА
ТП-1	129	400	322	625	26,3	40
ТП-2	81	400	377	625	32,68	40
ТП-3	129	400	454	625	26,52	40
ТП-4	81	400	397	625	31,94	40
ТП-5	81	400	319	625	31,94	40
ТП-6	129	400	241	625	31,94	40
ТП-7	129	400	244	625	32,68	40
ТП-8	81	400	234	625	32	40

Для всех ТП выключатели нагрузки 10 кВ выбраны правильно.

6.3 Проверка кабелей 10 кВ

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о проверке кабелей 10 кВ по допустимой потере напряжения привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 33 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 33 - Проверка кабелей 10 кВ по потере напряжения

Наименование линии 10 кВ	$I_{p\text{кЛ}}$, А	L, км	$\cos(\varphi)$	$R_{\text{кЛ}}$, Ом/км	$\Delta U_{\text{кЛ}}$, %	$\Delta U_{\text{кЛ доп}}$, %
ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2	273	0,8	0,98	0,253	0,5	10%
ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3	345	1,2	0,97	0,164	0,6	10%

Рационально для удобства получения и анализа информации о проверке кабелей 10 кВ ТП-7 по термической стойкости выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$S_{T\text{ расч}} = \frac{\sqrt{I_{\text{ПО}}^{(3)2} \cdot t_{\text{возд}}}}{C}, \quad (60)$$

$$S_{T\text{ расч}} = \frac{\sqrt{12,5^2 \cdot 1,561}}{95} = 30,9 \text{ мм}^2,$$

$$t_{\text{возд}} = t_{\text{отк}} + T_a + \Delta t, \quad (61)$$

$$t_{\text{возд}} = 1 + 0,061 + 0,5 = 1,561 \text{ с},$$

где $I_{\text{ПО}}^{(3)}$ - ток КЗ по линии, кА;

$t_{\text{возд}}$ - время воздействия тока КЗ, равно $t_{\text{отк}} + T_a + \Delta t$ при выборе предохранителей 10 кВ, с;

C - температурный коэффициент, равный 95.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о проверке кабелей 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 34 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 34 – Проверка кабелей 10 кВ по термической стойкости

Линия	$I_{\text{ПО}}^{(3)}$, кА	$S_{T\text{ расч}}$, мм ²	$S_{\text{факт}}$, мм ²
1	2	3	4
ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2			
ТП 7	12,50	30,9	120

Продолжение таблицы 34

1	2	3	4
ТП 1	12,25	50,8	120
ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3			
ТП 6	12,49	30,8	185
ТП 3	12,26	50,8	185

Все предварительно выбранные сечения кабелей 10 кВ проверки пройдут.

7 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ В ЦЕНТРЕ ПИТАНИЯ

При расчете вариантов сети 10 кВ оптимальным оказался вариант подключения КЛ 10 кВ через РП к ПС «Новая».

7.1 Нагрузка центра питания

Рационально для удобства получения и анализа информации о расчётной нагрузке центра питания выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$P_{расч ЦП} = k_{сов макс} \cdot P_{сумм нагр ТП}, \quad (62)$$

$$P_{расч ЦП} = 0,75 \cdot 14131 = 10598 \text{ кВт},$$

$$S_{расч ЦП} = \frac{P_{расч ЦП}}{\cos \varphi}, \quad (63)$$

$$S_{расч ЦП} = \frac{10598}{0,97} = 10890 \text{ кВА},$$

$$Q_{расч ЦП} = \sqrt{S_{расч ЦП}^2 - P_{расч ЦП}^2}, \quad (64)$$

$$Q_{расч ЦП} = \sqrt{10890^2 - 10598^2} = 2506 \text{ кВар},$$

$$I_{расч ЦП} = \frac{S_{расч ЦП}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (65)$$

$$I_{расч ЦП} = \frac{10890}{\sqrt{3} \cdot 10} = 629 \text{ А},$$

где $P_{\text{сумм нагр ТП}}$ - суммарная активная нагрузка всех ТП района проектирования, кВт;

$\cos \varphi$ - средний коэффициент мощности по всем ТП, равен 0,97.

$k_{\text{сов макс}}$ - коэффициент совмещения при количестве трансформаторов 16 шт. в сети, 0,75.

7.2 Компенсация реактивной мощности

Рационально для удобства получения и анализа информации о мощности батарей конденсаторов центра питания выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$Q_{\text{треб БК}} = Q_{\text{расч ЦП}} - P_{\text{расч ЦП}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{пред}}, \quad (66)$$

$$Q_{\text{треб БК}} = 2506 - 10598 \cdot 0,4 = -1733 \text{ квар},$$

где $\text{tg} \varphi_{\text{пред}}$ - предельное значение коэффициента реактивной мощности при подключении потребителя к шинам 10 кВ ПС, равно 0,4 по [16] для напряжения 6-20 кВ.

Компенсация реактивной мощности на ПС Новая не требуется.

7.3 Компенсация емкостных токов

Рационально для удобства получения и анализа информации о величине ёмкостного тока выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_c = \frac{1,35 \cdot U_{\text{ном}} \cdot L_{\text{лин}}}{10}, \quad (67)$$

$$I_c = \frac{1,35 \cdot 10 \cdot 4}{10} = 5,4 \text{ А},$$

$$I_c \leq I_{c \text{ доп}},$$

$$5,4 \text{ A} \leq 20 \text{ A},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, 10 кВ;

Установка дугогасящего реактора не требуется.

7.4 Выбор комплектного распределительного устройства 10 кВ

В ЗРУ-10 кВ ПС «Новая» ставятся ячейки КРУ К-63 (рисунок 10).



Рисунок 10 - Общий вид ячейки КРУ К-63

Рационально для удобства получения и анализа информации о проверке КРУ 10 кВ по термической устойчивости выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$B_{\text{к расч ввод}} = I_{\text{ПО откл}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{отк}} + T_a + \Delta t_{\text{сел}}), \quad (68)$$

$$B_{\text{к расч ввод}} = 12,5^2 \cdot (0,03 + 0,01 + 1,5) = 240,6 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{\text{к ном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}};$$

$$B_{к ном} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $I^{(3)}_{ПО откл}$ - ток трёхфазного КЗ, кА;

$t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя, 0,03с;

T_a - постоянная затухания апериодической составляющей, 0,01 с;

$\Delta t_{сел}$ - степень селективности, 1,5с,

$t_{терм}$ - время допустимого термического воздействия на шины КРУ, 3 с;

$I_{терм}$ - ток допустимого термического воздействия на шины КРУ, 20 кА.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе КРУ 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 35 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 35 – Выбор и проверка КРУ 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия
$U_{ном} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $i_{а.ном} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 629 \text{ А}$ $i_{уд} = 17,8 \text{ кА}$ $B_{к.} = 240,6 \text{ кА}^2\text{с}$ $i_{ат} = 5 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$ $i_{а.ном} \geq i_{ат}$

Все ячейки КРУ проверку проходят.

7.5 Выбор выключателей 10 кВ

Применяем вакуумные выключатели ВВ/TEL – 10/20 УХЛ1.

Рационально для удобства получения и анализа информации о проверке выключателей 10 кВ по термической устойчивости выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$B_{к расч ввод} = I^{(3)}_{ПО макс}{}^2 \cdot (t_{отк} + T_a + \Delta t_{сел}),$$

$$B_{к расч ввод} = 12,5^2 \cdot (0,03 + 0,01 + 2,0) = 319 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{к\ расч\ секци} = 12,49^2 \cdot (0,03 + 0,01 + 2) = 318 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{к\ ном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм};$$

$$B_{к\ ном} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $I_{ПО\ откл}^{(3)}$ - ток трёхфазного КЗ, кА;

$t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя, 0,03с;

T_a - постоянная затухания апериодической составляющей, 0,01 с;

$\Delta t_{сел}$ - степень селективности, для ввода – 0,5 с, для секционного выключателя - 1 с, для отходящих – 1,5 с,

$t_{терм}$ - время допустимого термического воздействия на шины КРУ, 3 с;

$I_{терм}$ - ток допустимого термического воздействия на шины КРУ, 20 кА.

Рационально для удобства получения и анализа информации о допустимом значении апериодической составляющей выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{ном\ откл}, \quad (69)$$

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 20 = 11,31 \text{ кА},$$

где β_n – номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей, 0,4;

$I_{ном\ откл}$ – номинальный ток отключения, кА.

Рационально для удобства получения и анализа информации о проверке выключателей 10 кВ по возможности отключения полного тока КЗ выполнить

демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО отк}}^{(3)} + I_{\text{ПО отк}}^{(3)} \cdot (1 - \beta_{\text{н}}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ отк}}^{(3)} \cdot (1 + \beta_{\text{н}}), \quad (70)$$

$$\sqrt{2} \cdot 12,5 + 12,5 \cdot (1 - 0,4) \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,4);$$

$$25,25 \leq 39,2 \text{ кА.}$$

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе и проверке выключателей 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 36 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 36 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия
Выключатели вводные РТП и линейные ПС		
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ $i_{\text{СКВ}} = 32 \text{ кА}$ $В_{\text{к.НОМ}} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ВКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $I_{\text{ОТКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{РМАХ}} = 629 \text{ А}$ $i_{\text{УД}} = 26,3 \text{ кА}$ $В_{\text{к.РАСЧ.}} = 240,9 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ПО}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{ПТ}} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{\text{АТ}} = 5,5 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{РМАХ}}$ $i_{\text{СКВ}} \geq i_{\text{УД}}$ $В_{\text{к.НОМ}} \geq В_{\text{к}}$ $I_{\text{ВКЛ}} \geq I_{\text{ПО}}$ $I_{\text{ОТКЛ}} \geq I_{\text{ПТ}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{АТ}}$
Выключатель секционный РТП		
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ $i_{\text{СКВ}} = 32 \text{ кА}$ $В_{\text{к.НОМ}} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ВКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $I_{\text{ОТКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{РМАХ}} = 629 \text{ А}$ $i_{\text{УД}} = 26,3 \text{ кА}$ $В_{\text{к.РАСЧ.}} = 240,9 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ПО}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{ПТ}} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{\text{АТ}} = 5,5 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{РМАХ}}$ $i_{\text{СКВ}} \geq i_{\text{УД}}$ $В_{\text{к.НОМ}} \geq В_{\text{к}}$ $I_{\text{ВКЛ}} \geq I_{\text{ПО}}$ $I_{\text{ОТКЛ}} \geq I_{\text{ПТ}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{АТ}}$
Выключатели линейные РТП		
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ $i_{\text{СКВ}} = 32 \text{ кА}$ $В_{\text{к.НОМ}} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ВКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $I_{\text{ОТКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{РМАХ}} = 345 \text{ А}$ $i_{\text{УД}} = 26,5 \text{ кА}$ $В_{\text{к.РАСЧ.}} = 319 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ПО}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{ПТ}} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{\text{АТ}} = 5,5 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{РМАХ}}$ $i_{\text{СКВ}} \geq i_{\text{УД}}$ $В_{\text{к.НОМ}} \geq В_{\text{к}}$ $I_{\text{ВКЛ}} \geq I_{\text{ПО}}$ $I_{\text{ОТКЛ}} \geq I_{\text{ПТ}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{АТ}}$

Все выключатели проверку проходят.

7.6 Выбор трансформаторов тока 10 кВ

Применяем трансформаторы тока ТОЛ-10-1, встраиваемые в КРУ.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о вторичной нагрузке трансформаторов тока 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 37 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 37 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка, В*А, фазы		
		А	В	С
Амперметр цифровой	РА-1941		0.5	
Счетчик ЭЭ	Меркурий 230 ART	0.35		0.35
Ватметр цифровой	PM-1941	0.4		0.4
Варметр цифровой	PM-1941	0.4		0.4
Итого		1.15	0.5	1.15

Рационально для удобства получения и анализа информации о номинальном сопротивлении вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}, \quad (71)$$

$$Z_{2H} = \frac{12.5}{5^2} = 0.5 \text{ Ом.}$$

где S_{2H} - мощность вторичной обмотки, 12.5 ВА.

Рационально для удобства получения и анализа информации об общем сопротивлении приборов и проводов трансформаторов тока 10 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (72)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1.15}{5^2} = 0.046 \text{ Ом.}$$

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (73)$$

$$r_{\text{пров}} = \frac{0.0283 \cdot 10}{4} = 0.07 ,$$

где $S_{\text{ПРИБ}}$ – мощность, потребляемая приборами;

I_2 – вторичный номинальный ток прибора, равный 5 А.

ρ - удельное сопротивление, 0,0283.

q – сечение провода АКРВГ с алюминиевыми жилами, 4 мм²,

l - длина проводов, 10 м

Рационально для удобства получения и анализа информации о вторичной нагрузке трансформаторов тока 10 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}, \quad (74)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.07 + 0.046 = 0.216 \text{ Ом,}$$

где $r_{\text{конт}}$ - сопротивление контактов, 0.1 Ом.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе и проверке трансформаторов тока 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 38 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 38 – Выбор и проверка трансформаторов тока 10 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия
Ввод 10 кВ РТП, линейная ячейка ПС		
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 800 \text{ А}$	$I_P = 629 \text{ А}$	$I_H \geq I_{Pmax}$
$Z_{2H} = 0.4 \text{ Ом}$	$Z_{HP} = 0.216 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{HP}$
$W_{KH} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{KP} = 240,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{KH} \geq W_{KP}$
$I_{дин} = 32 \text{ кА}$	$I_{уд} = 26,3 \text{ кА}$	$I_{дин} \geq I_{уд}$
	0,5	Класс точности
Секционный выключатель		
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 800 \text{ А}$	$I_P = 629 \text{ А}$	$I_H \geq I_{Pmax}$
$Z_{2H} = 0.4 \text{ Ом}$	$Z_{HP} = 0.216 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{HP}$
$W_{KH} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{KP} = 240,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{KH} \geq W_{KP}$
$I_{дин} = 32 \text{ кА}$	$I_{уд} = 26,3 \text{ кА}$	$I_{дин} \geq I_{уд}$
	0,5	Класс точности
Линии 10 кВ		
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 300 \text{ А}$ $I_H = 400 \text{ А}$	$I_P = 273 \text{ А}$ $I_P = 345 \text{ А}$	$I_H \geq I_{Pmax}$
$Z_{2H} = 0.4 \text{ Ом}$	$Z_{HP} = 0.216 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{HP}$
$W_{KH} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{KP} = 319 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{KH} \geq W_{KP}$
$I_{дин} = 32 \text{ кА}$	$I_{уд} = 26,3 \text{ кА}$	$I_{дин} \geq I_{уд}$
	0,5	Класс точности

7.7 Выбор трансформаторов напряжения 10 кВ

Применяем трансформаторы напряжения НАМИ-10, класс точности 0,5.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о вторичной нагрузке трансформаторов напряжения 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 39 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 39 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор	Марка	$P_{номр}$, ВА	$N_{кат}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$P_{втор ТН}$, Вт	$Q_{втор ТН}$, ВА
Вольтметр цифровой	РВ-1941	2	1	1	0	2	-
Ватметр цифровой	РМ-1941	1,5	2	1	0	3	-
Счетчик ЭЭ	Меркурий 230 ART	5 ВА	5	0.38	0.925	9,5	23
Счетчик ЭЭ	Меркурий 230 ART	5 ВА	5	0.38	0.925	9,5	23
Итого	-	-	-	-	-	24	46

Рационально для удобства получения и анализа информации об общей вторичной нагрузке приборов трансформаторов напряжения 10 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$S_{\text{втор ТН}} = \sqrt{P_{\text{втор ТН}}^2 + Q_{\text{втор ТН}}^2}, \quad (75)$$

$$S_{\text{втор ТН}} = \sqrt{24^2 + 46^2} = 52 \text{ ВА}.$$

$$S_{\text{втор ТН}} \leq S_{\text{ном втор}}, \quad (76)$$

$$52 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА},$$

где $S_{\text{ном втор}}$ – номинальная мощность вторичной обмотки, ВА;

$S_{\text{втор ТН}}$ - нагрузка подключенная ко вторичной обмотке, ВА.

Выбранные трансформаторы напряжения удовлетворяют условию проверки по вторичной нагрузке.

7.8 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов напряжения

Применяем предохранители ПКТ101-10-6-20У1.

Рационально для удобства получения и анализа информации о длительном токе предохранителя для защиты трансформаторов напряжения 10 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{\text{ТН макс}} = \frac{S_{\text{ном втор}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (77)$$

$$I_{\text{ТН макс}} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 10} = 4,3 \text{ А},$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение, 10 кВ.

Принимается предохранитель типа с током плавкой вставки 6А.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе и проверке предохранителей трансформаторов напряжения 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 40 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 40 – Выбор предохранителей трансформаторов напряжения 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 6 \text{ А}$ $I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 4,3 \text{ А}$ $I_{по} = 12,5 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $I_{откл} \geq I_{по}$

7.9 Выбор изоляторов 10 кВ

Выбираем опорные изоляторы марки ОНШП-10-20 УХЛ1.

Рационально для удобства получения и анализа информации о допустимой и расчётной нагрузке на головку изолятора 10 кВ выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (78)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{26300^2 \cdot 0.9}{0.8} \cdot 10^{-7} = 134 \text{ Н},$$

$$F_{дон} = 0.6 \cdot F_{разр},$$

$$F_{дон} = 0.6 \cdot 3000 = 1800 \text{ Н},$$

где a - ширина полосы шины, для выбранного КРУ 0,8 м;

l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, в выбранном типе КРУ К-63 расстояние 0,9 м.

$F_{разр}$ - разрушающая нагрузка на головку изолятора 10 кВ, 3000 Н.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о выборе и проверке опорных изоляторов 10 кВ привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 41 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 41 – Выбор и проверка опорных изоляторов 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_p = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ	$U_H \geq U_p$
$F_{расч} = 134$ Н	$F_{доп} = 2400$ Н	$F_{доп} \geq F_{расч}$

Выбранные изоляторы проверку проходят.

8 НАДЁЖНОСТЬ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ 10 КВ

Расчет надежности распределительных сетей 10 кВ системы электро-снабжения района города Благовещенск выполняется с использованием аналитического метода, [18].

Рационально для удобства получения и анализа информации о параметре потока отказов для последовательно соединенных элементов одного луча схемы выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$\omega = \sum \omega_i + \omega_{\text{пр. наиб}}, \quad (79)$$

$$\omega = \sum \omega_i + \omega_{\text{пр. наиб}} = 0,0055 + 0,0055 + 0,09 + 0,0055 + 0,0055 + \\ + 0,076 \cdot 2,7 = 0,527$$

где $\omega_{\text{пр. наиб}}$ – наибольшее значение из параметров потокаотказа для элементов луча схемы, 1/год.

Рационально для удобства получения и анализа информации о параметре потока отказов для параллельно соединенных элементов лучей схемы выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$\omega_{I,II} = \omega_I \cdot q_{II} + \omega_{II} \cdot q_I + \omega_I^* \cdot q_{II} + \omega_{II}^* \cdot q_I, \quad (80)$$

$$\omega_{I,II} = 0,527 \cdot 0,00073 + 0,527 \cdot 0,00073 + 0,497 \cdot 0,00034 + \\ + 0,497 \cdot 0,00034 = 0,00081$$

$$\omega^* = \omega_c - \omega_{\text{пр. нб}}. \quad (81)$$

$$\omega^* = 0,527 - 0,03 = 0,497,$$

где ω^* - параметр потокаотказа без учёта преднамеренных отключений.

Рационально для удобства получения и анализа информации о средней вероятности состояния отказа схемы выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$q_c = K_{ПС} = q_1 \cdot q_2 + K_{np1} \cdot \lambda_{np1} \cdot q_2 + K_{np2} \cdot \lambda_{np2} \cdot q_1, \quad (82)$$

$$q_c = K_{ПС} = 0,00073 \cdot 0,00073 + 0,33 \cdot 0,527 \cdot 0,00073 + \\ + 0,33 \cdot 0,527 \cdot 0,00073 = 0,00026,$$

$$K_{npi} = 1 - e^{\frac{-t_{npi}}{t_{Bэкс}}}, \quad (83)$$

$$K_{npi} = 1 - e^{\frac{-4}{10}} = 0,33.$$

где K_{npi} – коэффициент преднамеренного отключения:

Рационально для удобства получения и анализа информации о вероятности отказа схемы с учётом ввода резерва выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$q_{c.ABP} = q(S / A_1 A_2) \cdot p(A_1) \cdot p(A_2) + q(S / A_1' A_2) \cdot q(A_1') \cdot p(A_2) + \\ + q(S / A_1 A_2') \cdot p(A_1) \cdot q(A_2') + q(S / A_1' A_2') \cdot q(A_1') \cdot q(A_2') \quad , \quad (84)$$

$$q_{c.ABP} = 0,00026 \cdot 0,997 \cdot 0,91 + 0,5 \cdot 0,003 \cdot 0,91 + 0,5 \cdot 0,09 \cdot 0,997 + \\ + 0,5 \cdot 0,003 \cdot 0,09 = 0,000013$$

где $q(S/A_1A_2)$ - вероятность погашения схемы без возможности ввода резерва;

$q(S/A_1'A_2)$ - вероятность отключения элемента в работе с возможностью ввода резерва;

$q(S/A_1A_2')$ - вероятность отключения элемента в отказе с возможностью ввода резерва;

$q(S/A_1'A_2')$ - вероятность отключения элемента в отказе без возможности ввода резерва;

$p(A_1)$ - вероятность отключения элемента в работе;

$p(A_2)$ - вероятность отключения резервного элемента в работе;

$q(A_1')$ - вероятность отключения элемента в отказе;

$q(A_2')$ - вероятность отключения резервного элемента в отказе;

При помощи Mathcad-2017 с учётом вышеприведенного алгоритма проводятся расчеты надежности, подробные выкладки которого показаны в приложении А.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о исходной схеме и схеме замещения для расчёта надёжности привести соответствующие расчётные данные в виде рисунка 11-12 с графическим материалом.

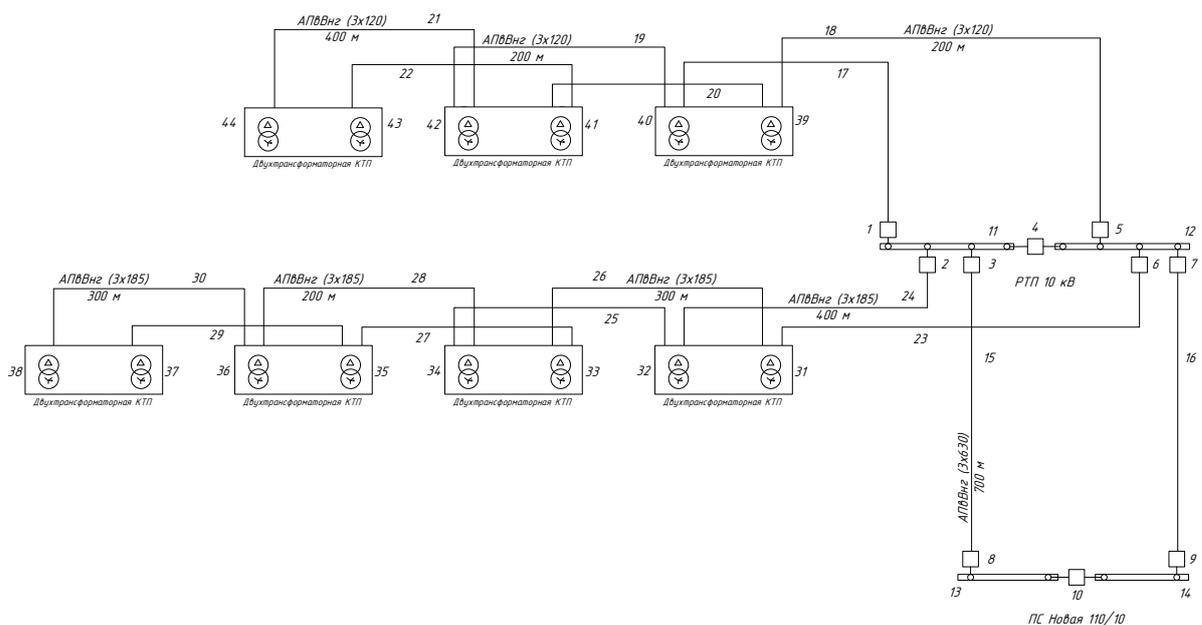


Рисунок 11 - Схема сети для расчёта надёжности

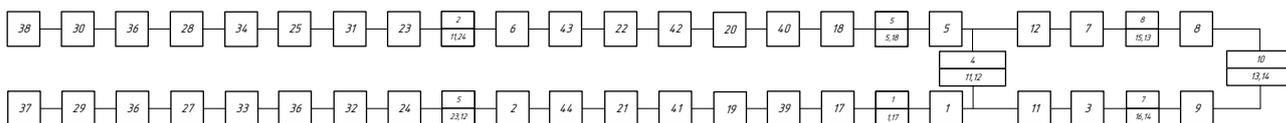


Рисунок 12 - Схема замещения для расчёта надёжности

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о результатах расчета надежности распределительных сетей 10 кВ системы электроснабжения района города Благовещенск привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 42 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 42 – Расчёт показателей надёжности сети

Показатель	Обозн.	Формула расчёта	Расчёт	Результат
Время восстановления, ч	t_{BC}	$t_{BC} = \frac{q_c}{\omega_c}$	$\frac{0,000013}{0,00081}$	0,016
Расчётное время безотказной работы, лет	T_p	$T_p = 0,105 \cdot \frac{1}{\omega_c}$	$0,105 \cdot \frac{1}{0,00081}$	130
Среднее время безотказной работы, лет	T_c	$T_c = \frac{1}{\omega_c}$	$\frac{1}{0,00081}$	1239
Недоотпуск ЭЭ, кВт*ч в год	$W_{нед}$	$W_{нед} = P_{деф} \cdot q_c \cdot 8760$	$10600 \cdot 0,000013 \cdot 8760$	1207
Ограничения мощности, кВт	$P_{нед}$	$P_{нед} = P_P \cdot q_c$	$10600 \cdot 0,000013$	0,14
Ущерб от недоотпуска за год, руб	$У$	$У = C \cdot W_{нед} \cdot 8760$	$1,84 \cdot 1207 \cdot 8760$	2221

9 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Для защиты от коротких замыканий помимо выбора оборудования, отключающего токи короткого замыкания, также проводится выбор устройств релейной защиты распределительных сетей 10 кВ системы электроснабжения района города Благовещенск на основе микропроцессорных терминалов «Сириус-Л».

Демонстрационный расчёт времени и уставок срабатывания защит линии ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2 проводится по следующим пунктам, [21].

9.1 Токовая отсечка

Рационально для удобства получения и анализа информации о первичном токе срабатывания токовой отсечки выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{ср\ TO} = I_{ПО\ макс}^{(3)} \cdot K_n, \quad (85)$$

$$I_{ср\ TO} = 12,5 \cdot 1,1 = 13,7 \text{ кА},$$

где K_n – коэффициент надежности, принимаемый для микропроцессорной защиты равным 1,1;

$I_{ПО\ макс}^{(3)}$ – максимальный ток в фазе линии при КЗ на шинах противоположной ТП.

Рационально для удобства получения и анализа информации о чувствительности защиты выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$K_{ч} = \frac{I_{ПО\ макс}^{(2)}}{I_{ср\ TO}}, \quad (86)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10,66}{13,7} = 0,78,$$

где $I_{\text{ПО макс}}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ в конце основной зоны защиты, кА.

Рационально для удобства получения и анализа информации о вторичном токе срабатывания токовой отсечки выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{\text{ср ТО реле}} = k_{\text{СХ}} \frac{I_{\text{ср ТО}}}{n_{\text{T}}}, \quad (87)$$

$$I_{\text{ср ТО реле}} = 1 \cdot \frac{13700}{60} = 229 \text{ А},$$

где $k_{\text{СХ}}$ - коэффициент схемы, принимается 1;

n_{T} - коэффициент трансформации при токе вторичной обмотки 5А.

Выдержка времени ТО: $t_{\text{ср ТО реле}} = 0 \text{ с}$.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о результатах расчета токовой отсечки распределительных сетей 10 кВ системы электропитания района города Благовещенск привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 43 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 43 – Расчёт токовой отсечки

Линия	$I_{\text{по}}^{(3)}$, кА	$I_{\text{по}}^{(2)}$, кА	$I_{\text{р макс}}$, А	$I_{\text{н ТТ}}$, А	$I_{\text{с.з.}}$, кА	пТ	$I_{\text{с.р.}}$, А	$K_{\text{ч}}$
ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2	12,50	10,66	273	300	13,747	60	229	0,78
ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3	12,49	10,67	345	400	13,734	80	172	0,78

9.2 Максимальная токовая защита

Рационально для удобства получения и анализа информации о первичном токе срабатывания максимальной токовой защиты выполнить демонстрацион-

ный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{cp\ MTЗ} = \frac{I_{p\ макс} \cdot K_n \cdot K_{c-з}}{K_в}, \quad (88)$$

$$I_{cp\ MTЗ} = \frac{298 \cdot 1,1 \cdot 1}{0,95} = 345\ A,$$

где K_n - коэффициент надежности, 1,1;

$K_{c-з}$ - коэффициент запуска двигателей, 1;

$K_в$ - коэффициент возврата, 0,95;

$I_{p\ макс}$ - максимальный рабочий ток защищаемой линии, для кабеля сечением 120 мм² - 298А, 185 мм² - 371А.

Рационально для удобства получения и анализа информации о токе срабатывания реле максимальной токовой защиты выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$I_{cp\ MTЗ\ реле} = k_{СХ} \frac{I_{cp\ MTЗ}}{n_T}, \quad (89)$$

$$I_{cp\ MTЗ\ реле} = 1 \cdot \frac{345}{60} = 6\ A .$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о чувствительности защиты выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$K_{ч} = \frac{I^{(2)}_{ПО\ макс}}{I_{cp\ MTЗ}}, \quad (90)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10660}{345} = 31 .$$

Чувствительность превышает 1,5, расчёт окончен.

Рационально для удобства получения и анализа информации о времени срабатывания максимальной токовой защиты выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$t_{\text{ср МТЗ реле}} = t_{\text{ср ТО реле}} + t_{\text{ср РЗ}} + \Delta t , \quad (91)$$

$$t_{\text{ср МТЗ реле}} = 0 + 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ с} ,$$

где $t_{\text{ср ТО реле}}$ - время срабатывания токовой отсечки, 0 с;

$t_{\text{ср РЗ}}$ - время срабатывания релейной защиты 0,1с.

Δt - ступень селективности, 0,5 с.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о результатах расчета МТЗ распределительных сетей 10 кВ системы электроснабжения района города Благовещенск привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 44 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 44 – Расчёт МТЗ

Линия	$I^{(3)}_{\text{по}}$, кА	$I^{(2)}_{\text{по}}$, кА	$I_{\text{р макс}}$, А	$I_{\text{н тт}}$, А	$I_{\text{с.з}}$, А	$I_{\text{с.р}}$, А	$K_{\text{ч}}$
ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2	12,50	10,66	273	300	345	6	31
ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3	12,49	10,67	345	400	430	5	25

9.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Рационально для удобства получения и анализа информации о первичном токе срабатывания защиты от однофазных замыканий на землю выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{ср 3НЗ} = \frac{I_{ТНП повр лин}}{K_{\text{ч}}}, \quad (92)$$

$$I_{ср 3НЗ} = \frac{5,81}{1,5} = 3,87 \text{ A},$$

где $I_{ТНП повр лин}$ – ток, протекающий через трансформатор тока нулевой последовательности;

$K_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, 1,5.

Рационально для удобства получения и анализа информации о токе через трансформатор тока нулевой последовательности выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящим для этого формулам с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{ТНП повр лин} = I_{емк сумм} - I_{повр лин}, \quad (93)$$

$$I_{ТНП повр лин} = 5,4 - 2,16 = 3,24 \text{ A},$$

$$I_{повр лин} = \frac{1,35 \cdot U_{ном} \cdot L_{лин}}{10},$$

$$I_{повр лин} = \frac{1,35 \cdot 10 \cdot 1,6}{10} = 2,16 \text{ A}.$$

где $I_{емк сумм}$ – суммарный емкостной ток сети, рассчитан ранее и составляет 5,4 А;

$I_{повр лин}$ – ток замыкания на землю линии ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2, А;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, 10 кВ.

Рационально для удобства восприятия и анализа информации о результатах расчета ЗНЗ распределительных сетей 10 кВ системы электроснабжения района города Благовещенск привести соответствующие расчётные данные в виде продольной таблицы 45 с текстовым и цифровым материалом.

Таблица 45 – Расчёт ЗНЗ

Линия	$I^{(3)}_{по}, \text{кА}$	$I^{(2)}_{по}, \text{кА}$	$I_{р \text{ макс}}, \text{А}$	$I_{н \text{ тт}}, \text{А}$	$I_{повр.л}, \text{А}$	$I_{тнп.повр.л}, \text{А}$	$I_{с.з}, \text{А}$
ПС - ТП 7 - ТП 1 - ТП 2	12,50	10,66	273	300	2,16	3,24	2,16
ПС - ТП 6 - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3	12,49	10,67	345	400	3,24	2,16	1,4

9.4 Автоматика включения резерва

Выбирается АВР с пуском по напряжению.

Рационально для удобства получения и анализа информации о напряжении срабатывания пусковых реле выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$U_{с.з.} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{ном}, \quad (94)$$

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

Рационально для удобства получения и анализа информации о времени срабатывания АВР выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле:

$$t_{ср \text{ АВР}} = t_{ср \text{ МТЗ реле}} + t_{ср \text{ РЗ}} + \Delta t, \quad (95)$$

$$t_{ср \text{ АВР}} = 0,6 + 0,1 + 0,5 = 1,2 \text{ с.}$$

9.5 Защита трансформаторов 10/0,4 кВ

Выбираются блоки защит БМРЗ-158-ТР-01 для обеспечения защиты трансформаторов 10/0,4 кВ 1000 кВА на ТП-8

Рационально для удобства получения и анализа информации о токе срабатывания токовой отсечки выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{c.o} \leq k_n \cdot I_{к.макс}^{(3)}, \quad (96)$$

$$I_{c.o} \leq 1,3 \cdot 12,49 = 16,2 \text{ кА},$$

где $I_{к.макс}^{(3)}$ - ток трехфазного КЗ за трансформатором, приведенное к стороне высшего напряжения;

k_n - коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2 – 1,3.

Рационально для удобства получения и анализа информации о токе срабатывания реле токовой отсечки выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{ср.р} = I_{с.з} \cdot \frac{k_{сх}}{n_m}, \quad (97)$$

$$I_{ср.р} = 16200 \cdot \frac{1}{30} = 541 \text{ А},$$

где $k_{сх}$ - коэффициент схемы, 1;

n_m - коэффициент трансформации трансформаторов тока, 30.

Рационально для удобства получения и анализа информации о чувствительности токовой отсечки выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$k_{\text{ч}} \geq k'_{\text{ч}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(2)}}{I_{\text{с.з}}}, \quad (98)$$

$$k_{\text{ч}} \geq 1 \cdot \frac{12490 \cdot 0,87}{541} = 20,$$

где $I_{\text{к.мин}}^{(2)}$ - ток двухфазного КЗ в минимальном режиме;

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

Чувствительность токовой отсечки достаточная, что позволяет комплексу защиты своевременно реагировать на короткие замыкания.

Время срабатывания токовой отсечки:

$$t_{\text{с.з.ТО}} = 0 \text{ с.}$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о токе срабатывания максимальной токовой защиты выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot K_{\text{сам}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (99)$$

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{1,25 \cdot 2}{0,8} \cdot 58 = 181 \text{ А,}$$

где $I_{\text{раб.макс}}$ - номинальный ток стороны ВН;

K_n - коэффициент надежности, допускается изменять от 1.2 до 1.3;

$K_{сам}$ - коэффициент самозапуска, допускается изменять от 1.5 до 2;

K_B - коэффициент возврата, допускается изменять от 0,8 до 0,85.

Рационально для удобства получения и анализа информации о чувствительности максимальной токовой защиты выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K3}^{(3)} \cdot 0,87}{I_{\text{с.з.}} \cdot K_T} \geq 1,5, \quad (100)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{12490 \cdot 0,87}{181 \cdot 25} = 2,4 \geq 1,5,$$

Чувствительность максимальной токовой защиты достаточная.

Рационально для удобства получения и анализа информации о времени срабатывания максимальной токовой защиты выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$t_{\text{с.з.}}_{\text{МТЗ}} = t_{\text{нр max}} + \Delta t, \quad (101)$$

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

Рационально для удобства получения и анализа информации о токе срабатывания реле максимальной токовой защиты выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$I_{c.p.} = K_{cx} \cdot \frac{I_{c.3.}}{n_{TA}}, \quad (102)$$

$$I_{c.p.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 181}{30} = 10 \text{ A}.$$

10 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

В данном проекте производится разработка системы электроснабжения северной части города Благовещенска включающей прокладку кабельных линий 0,4 кВ и установкой подстанций 10/0,4 кВ, поэтому необходимо рассмотреть вопросы:

- безопасности – в качестве основного мероприятия по обеспечению безопасности при работах в электроустановках является заземление, подробнее в п 4.1;

- экологичности – рассчитываем площади отводимых земель, маслоприёмные устройства;

- чрезвычайных ситуаций – рассматриваем причины пожаров в электроустановках и противопожарные мероприятия.

10.1 Безопасность

Сооружение системы электроснабжения 10-0,4 кВ для жилых и общественных зданий микрорайона «Питер» города Благовещенск предусматривает работу в электроустановках напряжением до и выше 1 кВ. При этом, необходимо соблюдать требования безопасности. От опасных потенциалов работников при сооружении системы электроснабжения 10-0,4 кВ для жилых и общественных зданий микрорайона «Питер» города Благовещенск защищают установкой заземления металлических частей установок, находящихся вблизи токоведущих частей, а также металлические части соединяют проводниками с землей. Заземляющим устройством считаются соединённые металлические части установок системы электроснабжения 10-0,4 кВ для жилых и общественных зданий микрорайона «Питер» города Благовещенск с землей. Процесс выполнения такой операции считается заземлением [30].

В случае отсутствия каких-либо повреждений электрооборудования системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, защитные корпуса не находятся под напряжением. Опасность поражения обслуживающего персонала системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона

«Питер» города Благовещенск электрическим током возникает при повреждении изоляции в оборудовании или на участке сети.

Следующие металлические части электроустановок системы электропитания 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск подлежат заземлению [30]:

- корпуса трансформаторов 10/0,4 кВ, выключателей 10 кВ,;
- приводы выключателей 10 кВ;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока и напряжения 10 кВ;
- каркасы КРУ-10 кВ, щитов управления;
- металлические корпуса кабельных муфт.

Следующие металлические части электроустановок системы электропитания 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск не подлежат заземлению [30]:

- оборудование, расположенное на ранее заземленных металлических конструкциях, при условии что на опорных поверхностях в наличии зачищенные и незакрашенные места для обеспечения электрического контакта;
- корпуса электроизмерительных приборов и реле, установленных в соответствующих щитах;
- съемные или открывающиеся камеры КРУ, смонтированных на металлических заземляющих остовах.

Металлические части электроустановок системы электропитания 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск подлежат заземлению через общее заземляющее устройство, сопротивление которого представляет собой сумму сопротивления заземлителя и сопротивления заземляющих проводников. В [16] регламентированы допустимые значения величины сопротивлений заземляющих устройств различных классов напряжения.

В электроустановках ТП 10/0,4 кВ системы электропитания 10 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, нейтрали трансформаторов которых на стороне НН заземлены наглухо через малое сопротивление устанавливается

защита от однофазных замыканий на землю, которая отключает токи замыканий на землю в поврежденной части электроустановки. Разовое кратковременное появление потенциала на заземляющих устройствах электроустановки не влияет на электробезопасность персонала, обслуживающего электроустановки в том случае, если сопротивление заземляющего устройства менее 0,5 Ом.

Продолжительность воздействия тока короткого замыкания в системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск является суммарной величиной из времени действия релейной защиты и времени отключения выключателя.

В электроустановках ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения 10 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, нейтрали трансформаторов которых на стороне ВН не заземлены, используется защита, которая сигнализирует о появлении тока замыканий на землю в поврежденной части электроустановки. Появление потенциала на заземляющих устройствах электроустановки в таком случае будет продолжительным по времени воздействия, что влияет на электробезопасность персонала, обслуживающего электроустановки. Величина потенциала на заземляющих устройствах электроустановок системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск не должно превышать 125 В, величина потенциала на заземляющих устройствах электроустановок системы электроснабжения 10 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск не должно превышать 250 В.

В электроустановках системы электроснабжения 0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск применяется глухое заземление нейтрали. Нулевые выводы силовых трансформаторов 10/0,4 кВ заземляются путём непосредственного соединения с заземлением ТП 10/0,4 кВ. Проводник, соединенный с заземленной нейтралью трансформатора ТП 10/0,4 кВ является нулевым проводом. В цепи нулевого провода отсутствуют предохранители или иные приспособления, разрывающие электрическую цепь.

В электроустановках системы электроснабжения 0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск применяются естественные и искусственные заземлители. Естественными заземлителями считаются металлические конструкции КТП и РП, соединенные с землей. В качестве искусственных заземлителей использованы вертикально забитые стальные трубы с толщиной стенок не менее 3,5 мм. Сопротивление заземления системы электроснабжения 0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск зависит от удельного сопротивления грунта, размера и формы заземлителя, глубиной заложения его в грунте.

Внутреннюю сеть заземления в помещениях ТП и РП системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск монтируют в виде магистралей заземления и параллельных ответвлений от них к отдельным корпусам аппаратов. Открытая прокладка магистральной заземляющей шины и ответвлений к заземляемым частям ТП и РП системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск выполняет охранную функцию для персонала по обслуживанию оборудования электроустановок. Окраска шины осуществляется при этом в чёрный цвет либо используется сочетание с другими цветами, но в таком случае наличие двух полос черного цвета на шине с расстоянием между полосами 150 мм обязательно.

При выборе сечения заземляющего проводника проводится расчёт термической стойкости заземляющего проводника, которая должна обеспечить протекание тока однофазных замыканий на землю с разогревом проводника до температуры не выше 400°C в сети с большими токами замыкания на землю. Если величина токов замыкания на землю незначительная, то сечение заземляющего проводника выбирается не менее 30% от сечения фазных проводников электроустановки.

Соединения заземляющих проводников между собой выполняется посредством сварки, соединение с заземлением осуществляется сваркой, соединение с корпусами оборудования также сваркой или через болтовое соединение, оболочки кабелей приводятся пайкой к заземляющим устройствам.

Стальные трубы или обоймы используются для прокладки заземляющих проводников через стены помещений КТП и РП системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск. Для передачи действующих схем заземления помещений КТП и РП системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск обслуживающей организации подготавливаются соответствующие документы, оформляются протоколы замеров сопротивлений заземления и удельного сопротивления грунта.

Паспорт на заземляющее устройство подготавливается в соответствии со схемой заземления и описанием устройства заземления. Среди обязательных атрибутов паспорта заземления обязательно должны быть в наличии подписи ответственных за актуальную информацию лиц, даты подписания паспорта, результаты замеров сопротивлений заземляющего устройства в процессе эксплуатации, перечень текущих ремонтов и работ, выполненных с момента ввода заземления эксплуатацию.

После первого года эксплуатации заземляющих устройств КТП и РП системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск проводятся выборочные проверки состояния элементов заземляющего устройства, устроенного в земле. Периодичность ревизий заземления после первого года эксплуатации составляет не менее 1 раза в 6 лет. Ревизия включает в себя осмотр всех соединений заземляющих шин, спусков заземления, соединительных швов, варок, спаек, болтовых креплений. В случаях нарушений целостности мест креплений заземления КТП и РП системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, обнаружения повышенной коррозионной активности металла, нарушений окраски элементов заземления проводятся соответствующие восстановительные работы с внесением отметок в паспорт заземления.

10.2 Экологичность

В данной выпускной квалификационной работе уделяется внимание вопросам экологичности на этапе разработки системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск.

В данном пункте рассматриваются вопросы определения площади отводимых земель и параметров маслоприёмников под силовые трансформаторы КТП.

10.2.1 Площадь отводимых земель

Основываясь на требованиях [33] выполняется расчёт площади отвода земель под электрические сети микрорайона «Питер» города Благовещенск в постоянное и временное пользование.

Рационально для удобства получения и анализа информации о площади земли, отводимой в постоянное пользование выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$S_{III} = S_{ТПП}, \quad (103)$$

$$S_{III} = 640 \text{ м}^2,$$

где $S_{ТПП}$ - площадь земли, отводимая под трансформаторные подстанции, м^2 .

$$S_{ТПП} = S_{ТП2} \cdot n_{ТП2}, \quad (104)$$

$$S_{ТПП} = 80 \cdot 8 = 640 \text{ м}^2,$$

где $S_{ТП2}$ - площадь земли, отводимая под ТП с двумя силовыми трансформаторами 10/0,4 кВ, согласно [32], м^2 ;

$n_{ТП2}$ - количество ТП с двумя силовыми трансформаторами 10/0,4 кВ, шт.

Период, в течении которого будет проводиться строительство ТП и КЛ, необходимо учитывать в параметрах экологичности системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, так как использование

земель под временное размещение объектов также следует оформить соответствующим образом, [31]. При этом, ширина полос земель, которая подлежит отводу во временное пользование для кабельных линий 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск на период строительства, должна приниматься не более 6 м.

Рационально для удобства получения и анализа информации о площади земли, отводимой во временное пользование выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений:

$$S_{ВП} = S_{КЛ}, \quad (105)$$

$$S_{ВП} = 42300 \text{ м}^2,$$

где $S_{КЛ}$ - площадь земельных участков, предоставляемых на период строительства КЛ, м^2 .

$$S_{КЛ} = (L_{КЛ10кВ} + L_{КЛ0,4кВ}) \cdot L_{полосы}, \quad (106)$$

$$S_{КЛ} = (4000 + 3050) \cdot 6 = 42300 \text{ м}^2,$$

где $L_{КЛ10кВ}$ - длина спроектированных КЛ 10 кВ, м ;

$L_{КЛ0,4кВ}$ - длина спроектированных КЛ 0,4 кВ, м ;

$L_{полосы}$ - ширина полосы земли отчуждения, согласно [31], м .

10.2.2 Параметры маслоприёмника

Системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск выполняем с учётом предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждениях трансформаторов ТП 10/0,4 кВ. Трансформаторы ТП 10/0,4 кВ оборудованы незаглубленными маслоприёмниками.

Незаглубленный маслоприемник ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск выполняется в виде бортовых ограждений силового трансформатора 10/0,4 кВ. Высота бортовых ограждений должна быть не менее 0,25 и не более 0,5 м над уровнем окружающей планировки [34].

В системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск применяются комплектные ТП. Трансформаторы размещаются в силовом отсеке ТП, для удобства их установки предусмотрены полозья. Маслоприемник располагается под силовым отсеком ТП.

В системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск применяются силовые трансформаторы номинальной мощностью 1000 и 1600 кВА. Масса масла по паспортным данным составляет 750 и 1180 кг соответственно.

По требованиям [34], принимаются условия выполнения маслоприёмника по которым, при массе масла в одном баке более 600 кг должен быть устроен маслоприемник, рассчитанный на полный объем масла.

Площадь маслоприемника должна быть более площади основания трансформатора [33]. Принимаем, что габариты маслоприемника на 0,2 м выступают за габариты трансформатора.

Рационально для удобства получения и анализа информации о площади маслоприёмника для трансформатора КТП мощностью 1000 и 1600 кВА выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений, м²:

$$S_{МП} = (A + 2 \cdot \delta) \cdot (B + 2 \cdot \delta) , \quad (107)$$

$$S_{МП1000} = (2 + 2 \cdot 0,2) \cdot (1,25 + 2 \cdot 0,2) = 3,96 ,$$

$$S_{МП1600} = (2,25 + 2 \cdot 0,2) \cdot (1,3 + 2 \cdot 0,2) = 4,51 ,$$

где A - длина трансформатора, паспортные данные [14], м;

B - ширина трансформатора, паспортные данные [14], м

δ - ширина выступа, принимается 0,2 м.

Рационально для удобства получения и анализа информации об объёме трансформаторного масла для трансформатора КТП мощностью 1000 и 1600 кВА выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений, м³:

$$V_{TM} = \frac{M}{\rho_{TM}}, \quad (108)$$

$$V_{TM1000} = \frac{750}{880} = 0,85,$$

$$V_{TM1600} = \frac{1180}{880} = 1,34,$$

где M - масса масла, паспортные данные [14], кг;

ρ_{TM} - плотность масла, выбираемая из диапазона ($\rho_{TM} = 880$ кг/м³).

Рационально для удобства получения и анализа информации о высоте маслоприёмника для приёма 100 % масла КТП мощностью 1000 и 1600 кВА выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле, м:

$$h_{TM} = \frac{V_{TM}}{S_{МП}}, \quad (109)$$

$$h_{TM1000} = \frac{0,85}{3,96} = 0,22 \text{ м},$$

$$h_{TM1600} = \frac{1,34}{4,51} = 0,3 \text{ м.}$$

Рационально для удобства получения и анализа информации о высоте маслоприёмника с учётом насыпи гравия и зазора от сетки до поверхности масла КТП мощностью 1000 и 1600 кВА выполнить демонстрационный расчёт по наиболее подходящей для этого формуле с расшифровкой использованных обозначений, м:

$$h_{МП} = h_{TM} + h_z + h_{en} + h_p \quad (110)$$

$$h_{МП1000} = 0,22 + 0,25 + 0,05 + 0,075 = 0,59 .$$

$$h_{МП1600} = 0,3 + 0,25 + 0,05 + 0,075 = 0,67 .$$

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

h_p - расстояние до решетки ($h_p=0,05 \text{ м}$);

h_{en} - толщина воздушной прослойки на гравием ($h_{en}=0,075 \text{ м}$).

При определении высоты маслоприёмника без отвода масла для КТП мощностью 1000 и 1600 кВА учтены требования к конструкции заглубленного маслоприёмника [33]. Маслоприёмники КТП микрорайона «Питер» города Благовещенск закрываются металлической решеткой, поверх которой насыпается слой чистого гравия или промытого гранитного щебня толщиной 0,25 м, либо не пористого щебня другой породы с частицами от 30 до 70 мм.

Уровень полного объёма масла в маслоприёмнике КТП должен быть ниже решетки более чем на 0,05 м.

Верхний уровень гравия в маслоприемнике КТП под трансформатором должен быть на 7,5 см ниже отверстия воздухоподводящего вентиляционного канала.

Эскиз маслоприёмника КТП представлен на рисунке 13.

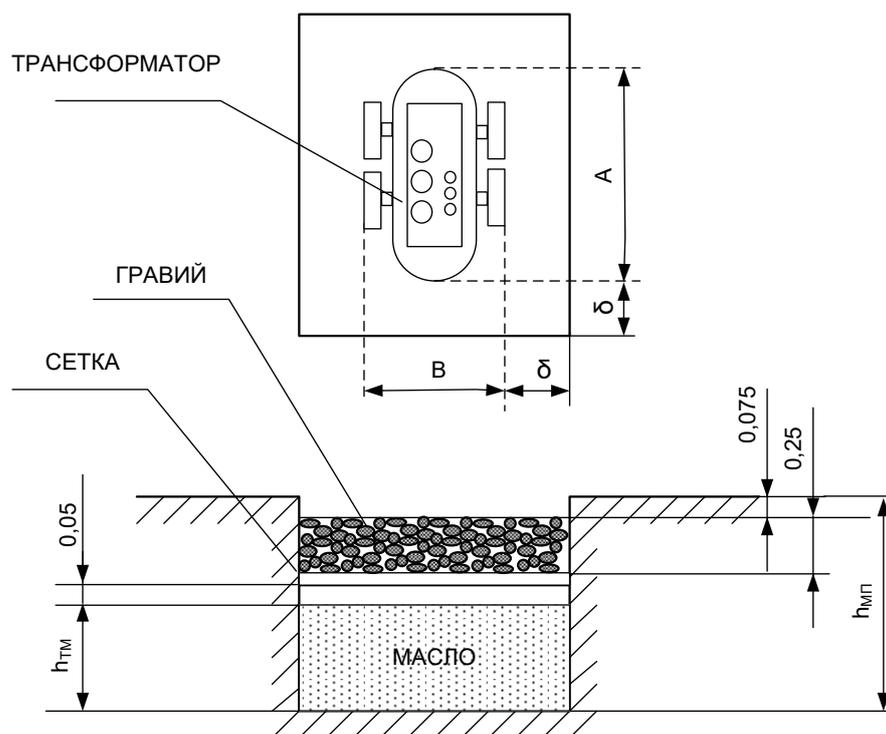


Рисунок 13 - Эскиз маслоприёмника КТП

Полученные значения глубины маслоприёмника для КТП мощностью 1000 и 1600 кВА микрорайона «Питер» города Благовещенск принимаются минимальными. Фактическая глубина маслоприёмника должна быть больше для обеспечения отвода масла и пожаробезопасности.

Удаление масла из маслоприёмника КТП мощностью 1000 и 1600 кВА микрорайона «Питер» города Благовещенск организуется передвижными средствами с учётом обустройства простейшего указателя уровня масла и воды в маслоприёмнике. Маслостойкое покрытие должно обеспечивать защиту внутренних поверхностей маслоприёмника.

10.3 Чрезвычайные ситуации

В системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск используются как маслonaполненные силовые трансформаторы 10/0,4 кВ, так и кабельные сети с изоляцией, подвергаемой перегреву в тяжелых и аварийных режимах работы. Поэтому в данной части раздела будут охарактеризованы пожары и противопожарные мероприятия в системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск.

Нарушений условий выбора и проверки защитных аппаратов влечёт за собой опасность длительного протекания тока короткого замыкания через защитный аппарат. В таком случае, как минимум, возможно разрушение его контактной группы от перегрева, в наиболее тяжелых случаях при отсутствии резервирования поврежденного защитного аппарата возможно также повреждение и участка кабельной линии, которую как правило защищает защитный аппарат. Так как наиболее часто встречающиеся величины токов короткого замыкания не превышают кратного 4-5 номинального тока защитного аппарата, то именно длительность воздействия тока короткого замыкания играет решающее воздействие на пожарную безопасность оборудования. Предотвратить подобные последствия считается возможным при более тщательном подборе характеристик защитных аппаратов по отключаемому току, длительности протекания тока короткого замыкания. Для снижения длительности протекания тока короткого замыкания используется уставка по времени срабатывания защитного аппарата.

Кроме того, эффект электрической дуги при воздействии на изоляцию кабельных линий имеет прожигающий характер. Микротрещины, образующиеся в изоляционных слоях кабелей невозможно обнаружить визуальным контролем. Однако косвенные признаки чрезмерного старения изоляции являются места изоляции с измененным цветом, наличием вздутий и смещений изоляции.

Токи утечки по изоляции приводят к повышению температуры изоляции, из-за отрицательного коэффициента температурного воздействия твердых диэлектриков это действие протекает с уменьшением сопротивления изоляции, поэтому далее характерен рост тока утечки. Нагрев изоляции является причиной ее разложения с выделением легко воспламеняющих продуктов, а также дальнейшего её воспламенения. При этом воспламенение изоляции может возникнуть при весьма малых значениях токов утечки.

Противопожарные инструктажи и занятия по пожаротехническому минимуму для работников организации, обслуживающих систему электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, организуются руко-

водителями обслуживающих организаций, [35]. Для проведения таких мероприятий возможно осуществлять заключение договоров на оказание консультационных услуг с соответствующими организациями, наделёнными таким правом с обязательной аккредитацией. Противопожарные инструктажи проводятся первично для приступивших впервые к исполнению работ сотрудников организации, обслуживающих систему электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, вторично - на рабочем месте.

Маслонаполненные силовые трансформаторы 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск являются потенциальным источником пожара, так как трансформаторное масло подвержено воспламенению при повышенных температурах при коротких замыканиях внутри бака трансформаторов.

В помещениях ТП 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск запрещено хранить горючие материалы. Целостность баков силовых трансформаторов 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск должна обеспечиваться регулярными осмотрами для предотвращения опасности возникновения пожаров, [36].

Проведение работ с открытым огнем при обслуживании системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск осуществляется только на открытом воздухе вдали от возгораемых конструкций. Проведение работ с открытым огнем допекается только при наличии средств для тушения пожара: огнетушители, ящик с песком, негорючий щит.

К проведению работ с открытым огнем при обслуживании системы электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск должны допускаться сотрудники, имеющие знания противопожарного минимума и «Правила пожарной безопасности при проведении огневых работ», что подтверждается наличием удостоверений или отметок в листах ознакомления с проведенными занятиями по противопожарному минимуму и «Правилами пожарной безопасности при проведении огневых работ».

Возгорания в системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск обслуживающий персонал немедленно тушит своими си-

лами с использованием средств пожаротушения. В случае невозможности потушить возгорание или наличии прямой опасности жизни и здоровью работников немедленно передаётся сообщение в службу пожаротушения, [37].

Тушение пожара электрооборудования в системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск проводится только при снятом напряжении, блокируя пути перехода огня на рядом расположенное оборудование. При пожаре на силовых трансформаторах 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск применяются средства пожаротушения с воздушно-механической пеной и распыленной водой, а также огнетушители.

Тушить компактными струями воды горящее масло в системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск не допускается, так как это приводит к увеличению площади пожара и усложнению обстановки.

При тушении горящих кабелей, проводов, аппаратуры в системе электроснабжения 10-0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск применяют углекислотные или углекислотно-бромэтиловые огнетушители, а также распыленную воду. В тех случаях, когда напряжение снять не представляется возможным, выполняется тушение пожара компактными и распыленными водяными струями.

Для соблюдения электробезопасности при тушении аппаратуры в системе электроснабжения 0,4 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, находящейся под напряжением, ствол пожарного рукава заземляется и лицо, выполняющее орошение горящего оборудования должно быть в диэлектрических ботах и перчатках на расстоянии от насадки ствола до горящих электроустановок и кабелей не менее 3,5 м при диаметре spryska 13 мм, не менее 4 м при диаметре spryska 19 мм.

Для соблюдения электробезопасности при тушении аппаратуры в системе электроснабжения 10 кВ микрорайона «Питер» города Благовещенск, находящейся под напряжением, ствол пожарного рукава заземляется и лицо, выполняющее орошение горящего оборудования должно быть в диэлектрических бо-

тах и перчатках на расстоянии от насадки ствола до горящих электроустановок и кабелей не менее 4,5 м при диаметре spryska 13 мм, не менее 8 м при диаметре spryska 19 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения проекта решены задачи

1. Рассчитаны нагрузки с учётом рекомендаций [2];
2. Технико-экономически обоснована и выбрана сеть 10 кВ района города;
3. Выбраны и проверены кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена;
4. Применены КТП серии «ЭКТА» компании «Таврида электрик»;
5. Повышена надёжность схемы 10 кВ;
6. Рассчитана релейная защита;
7. Рассмотрены мероприятия по электробезопасности;
8. Все ТП располагаются на достаточном расстоянии от территории жилой застройки для соблюдения норм шумового загрязнения;
9. Для всех ТП рассчитан маслоприёмник.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 URL: <http://leg.co.ua/arhiv/podstancii/elektrosnabzhenie-gorodov.html> (доступ от 20.03.2022)
- 2 Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.385-94.
- 3 URL: <http://admblog.ru/main/> (доступ от 20.03.2022)
- 4 URL: <http://www.mnz1.ru/prod/261/index.html> (доступ от 20.03.2022)
- 5 URL: http://ef-tehno.ru/nasosy_dlya_vodosnabzheniya (доступ от 20.03.2022)
- 6 Киреева Э.А., Цырук С.А. Электроснабжение жилых и общественных зданий. – М.:НТФ «Энергопресс», 2005. – 96 с.; ил.
- 7 Киреева Э. А., Орлов В. В., Старкова Л. Е Электроснабжение цехов промышленных предприятий. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2003. — 120 с; ил. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 12(60).
- 8 Касаткин, А. С. Курс электротехники [Текст] : учебник: Рек. Мин. обр. РФ / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. - 8-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2005. - 544 с.
- 9 Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / Э.Я. Гричевский, П.А. Катков, А.М. Карпенко и др.; Под ред. П.А. Каткова, В.И. Франгуляна. – М.: Энергия, 2004, - 352 с., ил.
- 10 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0-20.527-98, М.: Издательство НЦ ЭНАС., 2012.
- 11 URL: <http://www.electroshield.ru/catalog/properties/3/689/> (доступ от 10.04.2022)
- 12 Приказ №238-пр/э от 20.12.2021г. Управления государственного регулирования цен и тарифов Амурской области (Единые (котловые) тари-

фы на услуги по передаче электрической энергии по сетям территориальных сетевых организаций Амурской области (без учета НДС)).

13 ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems

14 Киреева Э. А., Орлов В. В., Старкова Л. Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2013. — 120 с; ил. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 12(60).

15 URL: http://www.rill.ru/Products/Distributive_equipment/high_voltage/ok/rubilnik (доступ от 10.04.2022)

16 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.

17 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др., - 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 964 с.

18 Савина Н.В. Теория надежности в электроэнергетике: Учебное пособие. - Амурский гос. ун-т. 2007.

19 Трубицын В.И. Надежность электростанций: Учебник для вузов. Энергоатомиздат, 1997. — 240 с: ил.

20 Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография. М.А. Шабад. - СПб.: ПЭИПК, 2013. - 4-е изд., перераб. и доп. - 350 стр.. ил.

- 21 Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2004.– 132 с.
- 22 Ротачёв Ю.А. Релейная защита и автоматика: Учебно-методическое пособие для студентов заочного обучения/ Амурский гос. ун-т – Благовещенск, 2000.
- 23 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК,1999.
- 24 СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
- 25 URL: [http:// www.tavrida.ru](http://www.tavrida.ru) (дата обращения 15.03.2022)
- 26 Судаков Г.В., Галушко Т.А. Оценка экономической эффективности проектов по строительству, реконструкции и модернизации систем электро-снабжения объектов. Учебное пособие. - Амурский гос. ун-т. 2006.
- 27 URL: <http://www.kabtrade.ru> (доступ от 25.04.2022)
- 28 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестицион-ных проектов (вторая ред.) / Мин. экономики РФ, Мин. финансов РФ, Г К по р-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. коллект. Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахна-заров А.Г. ~М.: ОАО «НПО»; Экономика, 2010.-421 с.
- 29 Мазур И.И. Управление проектами: учеб. пособие / И.И. Мазур, Д. Шапиров, Н.Г'. Ольдегорте; под общ. ред. И.И, Мазура. - 3-е изд. - М.: 1мега-Л, 2005.-644 с.
- 30 Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуа-тации электроустановок" (Зарегистри-ровано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957)
- 31 Норма отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 – 750 кВ № 14278 ТМ – Т1.
- 32 Правила определения размеров земельных участков для размещения ВЛЭП и опор линий связи, обслуживающих электрические сети. Постановле-ние правительства РФ от 11 августа 2003 года №486.

33 Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Б. Булгаков ; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2020.- 90 с.

34 Правила устройства электроустановок/Министерство энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2012. – 648 с.

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

36 Правила техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах . - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 2005. - 192 с.

37 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий РД 153-34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95*)