

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

Факультет Энергетический  
Кафедра Энергетики  
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Н.В. Савина  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Развитие системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ квартала  
346 города Благовещенск

Исполнитель  
студент группы 942-узб

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Э.О. Тимейко

Руководитель  
профессор, канд.техн.наук

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

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

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль  
ст. преподаватель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

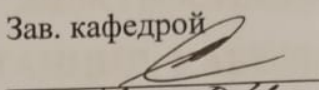
Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

Факультет энергетический  
Кафедра энергетика

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

  
Н.В. Савина  
« 14 » 04 2023 г.

### ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Э.О. Тимейко

1. Тема выпускной квалификационной работы: Развитие системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск

(утверждена приказом от 03.04.2023г. № 704-У8)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) \_\_\_\_\_

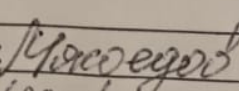
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: план застройки восточной части города Благовещенск, оперативная схема ПС Металлист, контрольный замер Амурских электрических сетей 21.12.2022, проектные декларации организаций-застройщиков. Карты климатического районирования Амурской области.

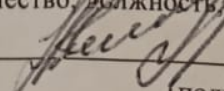
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план квартала 346 города Благовещенск с проектируемыми сетями 0,4 кВ, варианты подключения проектируемых сетей 10 кВ к подстанции 35/10 кВ «Металлист», однолинейная схема проектируемых сетей 10 кВ, план и однолинейная схема КТП-1, однолинейная схема сетей 0,4 кВ от КТП-1 и расчёты токов короткого замыкания, микропроцессорная защита кабельных линий 10 кВ

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

7. Дата выдачи задания 19.04.2023г.

Руководитель выпускной квалификационной работы:   
Викторов  
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 19.04.2023г.  
  
(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 104 с, 8 рисунков, 31 таблица, 35 использованных источников.

ПЕТЛЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ДВУХЛУЧЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КОМПЛЕКТНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА, ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ, МАСЛОПРИЕМНИК, ОТВОД ЗЕМЛИ, РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА.

Для застраиваемой восточной части города Благовещенск в районе набережной реки Зея необходимо разработать систему электроснабжения 0,4-10 кВ с подключением к существующим центрам питания. В соответствии с планом застройки выполнены расчёты нагрузок, выбраны и проверены выключатели, разъединители, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, ограничители перенапряжения, предохранители, автоматические выключатели, кабели 0,4 и 10 кВ, выбраны уставки и время срабатывания релейной защиты и автоматики, рассчитаны сопротивления заземления, приведены меры безопасности при строительстве системы электроснабжения города Благовещенск в районе набережной реки Зея, определены показатели экологичности проекта.

Практическая значимость результатов проектирования системы электроснабжения строящегося района города Благовещенск сосредоточена в своевременности предлагаемых расчётных показателей спроектированной системы электроснабжения строящегося района города Благовещенск.

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Краткая характеристика района	9
2 Расчёт электрических нагрузок в сети низкого напряжения	13
2.1 Расчёт электрических нагрузок бытовых потребителей	13
2.1.1 Расчёт электрических нагрузок жилых зданий	13
2.1.2 Расчёт электрических нагрузок зданий со встроенными объектами коммунально-бытового назначения	16
2.2 Расчёт электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей	17
2.3 Расчёт осветительной нагрузки	21
2.4 Выбор сечений линий распределительной сети 0,4 кВ	21
2.5 Определение потерь мощности и напряжения в сетях 0,4 кВ.	26
2.6 Расчет электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ силовых трансформаторов подстанций 10/0,4 кВ	28
2.7 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов подстанций 10/0,4 кВ	30
2.8 Расчёт токов короткого замыкания	30
2.9 Выбор автоматических выключателей	34
3 Расчет электрических нагрузок в сети высокого напряжения	40
3.1 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ силовых трансформаторов подстанций 10/0,4 кВ	40
3.2 Выбор сечения распределительных линий	41
3.3 Определение потерь высокого напряжения в сети	44
3.4 Определение потерь мощности и энергии в сетях 10 кВ	45
3.5 Определение оптимального варианта сети 10 кВ	46
3.6 Расчёт токов короткого замыкания	48
3.7 Проверка сечений линий на воздействие токов КЗ	51
4 Компенсация реактивной мощности	53

5	Компенсация емкостных токов	54
6	Выбор оборудования РУ 10 кВ	55
6.1	Выбор выключателей	55
6.2	Выбор комплектных распределительных устройств	58
6.3	Выбор разъединителей	61
6.4	Выбор трансформатора тока	63
6.5	Выбор трансформатора напряжения	67
6.6	Выбор предохранителей	68
6.7	Выбор ограничителей перенапряжения	70
6.8	Выбор выключателей нагрузки	72
7	Релейная защита и автоматика	75
7.1	Токовая отсечка	75
7.2	Максимальная токовая защита	77
7.3	Защита от однофазных замыканий на землю	79
7.4	Устройства автоматического включения резерва	80
8	Заземляющее устройство трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ	82
9	Безопасность и экологичность проекта	86
9.1	Безопасность	86
9.2	Экологичность	90
9.2.1	Устройство маслоприёмника	90
9.2.2	Отвод земель под электрические сети	93
9.3	Чрезвычайные ситуации	95
	Заключение	99
	Библиографический список	100

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

БК – батарея конденсаторов;

ВН – высокое напряжение;

ДФО – дальневосточный федеральный округ;

КЗ – короткое замыкание;

КЛ – кабельная линия;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ПО -

ПС - подстанция;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

ПЭВМ – персональная электронная вычислительная машина;

ТП - трансформаторная подстанция;

## ВВЕДЕНИЕ

Во всех регионах Дальнего Востока реализуется программа социального развития, утвержденная Министерством Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики, согласно которой предполагается возведение 1500 объектов социальной инфраструктуры и кратное увеличение темпов строительства жилого фонда с одновременным обеспечением жилой площадью населения, подлежащему переселению из ветхого и аварийного жилья, зон подтопления, промышленных зон. В центрах экономического роста регионов планируется к введению комплексная программа обеспечения условий для жизни людей, трудоустроенных на вновь созданных предприятиях [2].

С 2020 года на территории Амурской области действует Национальная программа социально-экономического развития Дальнего Востока, по которой предусмотрена реализация первоочередных мероприятий, направленных на реконструкцию коммунальной и социальной инфраструктуры Амурской области до 2024 года. Полномасштабное соблюдение планов выполнения программы позволит решить демографическую проблему и обеспечить отрицательную динамику оттока населения с ДФО.

Исполнение поручений президента Российской Федерации главами регионов для развития экономики и повышения качества жизни на Дальнем Востоке является основным направлением деятельности по развитию городов ДФО на перспективу до 2035 года.

Актуальность выпускной квалификационной работы состоит в том, что реализация больших масштабов программы социально-экономического развития Дальнего Востока возможна только совместно с модернизацией электро-снабжения, теплоснабжения и инженерной инфраструктуры.

В данной выпускной квалификационной работе проектируется система электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск для обеспечения развития инфраструктуры и наращивания темпов развития экономики [1].

В выпускной квалификационной работе применяются актуальные справочные данные по расчётам нагрузок коммунально-бытовых, промышленных потребителей, осветительных нагрузок, подобрано необходимое количество и мощность комплектных трансформаторных подстанций, выбирается и проверяется коммутационно-защитная аппаратура, сечения и марки кабелей 0,4 кВ.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения строящегося района города Благовещенск, предусматривающего наличие домов большой этажности (свыше 5 этажей).

Задачи проектирования системы электроснабжения:

1. Определение расчётных нагрузок системы электроснабжения 10-0,4 кВ;
2. Расчёт токов КЗ и проверка выбранных аппаратов системы электроснабжения 10-0,4 кВ;
3. Выбор уставок срабатывания релейной защиты системы электроснабжения 10 кВ;
4. Обеспечение безопасности и экологичности при выполнении системы электроснабжения 10-0,4 кВ.

Пути решения задач включают использование специальных источников, ПЭВМ для расчёта, современного оборудования для использования в проектируемых сетях 10-0,4 кВ строящегося района города Благовещенск.

Ожидаемая эффективность результатов проектирования системы электроснабжения строящегося района города Благовещенск выражается в соответствии нормативно-справочной литературе всех представленных расчётов и адекватности условиям проектирования принимаемых инженерных решений.

Практическая значимость результатов проектирования системы электроснабжения строящегося района города Благовещенск сосредоточена в своевременности предлагаемых расчётных показателей спроектированной системы электроснабжения строящегося района города Благовещенск.

В процессе разработки выпускной квалификационной работы использовалась ПЭВМ с лицензионным ПО серии Microsoft Office, приложение Math-type, ПО серии Mathcad.



## 1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Для города Благовещенск характерно наличие большой части социально-экономических, бытовых и инфраструктурных точек роста и развития. Близость к транспортным магистралям внутри региона выражается в удалении 109 км от Транссибирской железнодорожной магистрали и 120 км от федеральной автодороги «Амур» Р-298. С 2023 года в связи с ослаблением запретных мер на пересечение государственной границы и эксплуатацией моста через реку Амур ожидается существенное увеличение притока инвесторов [1].

Проектируемый район является частью города Благовещенска. Основу нагрузок выбранного района составляет как бытовые потребители, так и общественно-коммунальные. Присутствует как 10-ти этажная застройка – жилые дома, так и административные здания 1-2 этажей. По категории надёжности электроснабжения преобладают потребители II и III категории.

В таблице 1 отражен состав планируемых к подключению потребителей квартала 346 города Благовещенск.

Таблица 1 – Возводимые объекты

Объект	№ на листе	Кол-во объектов	кол-во квартир
Кирпичный жилой дом	1-2	2	72
Кирпичный жилой дом	3	1	72
Кирпичный жилой дом	4	1	72
Кирпичный жилой дом	5-6	2	134
Кирпичный жилой дом	7	1	134
Кирпичный жилой дом	8	1	134
Кирпичный жилой дом	9	1	134
Кирпичный жилой дом	10	1	134
Кирпичный жилой дом	11	1	134
Кирпичный жилой дом	12-13	2	134

На рисунке 1 показана первая очередь застройки квартала 346 города Благовещенск на период до 2025 года.



Рисунок 1 – Планируемая застройка квартала 346 города Благовещенск на период до 2025 года

На рисунке 2 показана вторая очередь застройки квартала 346 города Благовещенск на период до 2030 года.

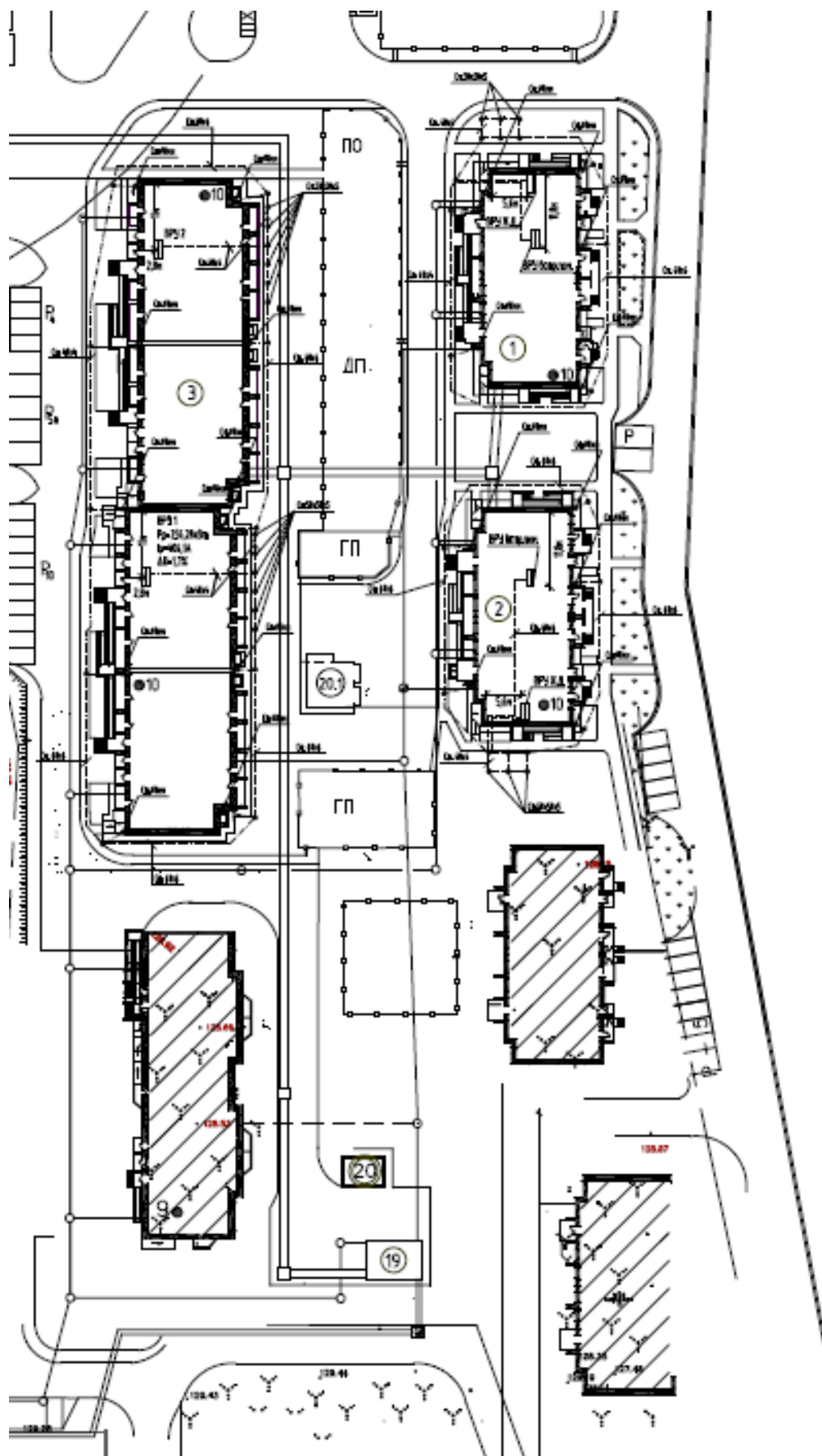


Рисунок 2 – Планируемая застройка квартала 346 города Благовещенск на период до 2030 года

На рисунке 3 показаны перспективные центры питания сооружаемых сетей 10 кВ для подключения потребителей района застройки квартала 346 города Благовещенск на период до 2030 года.

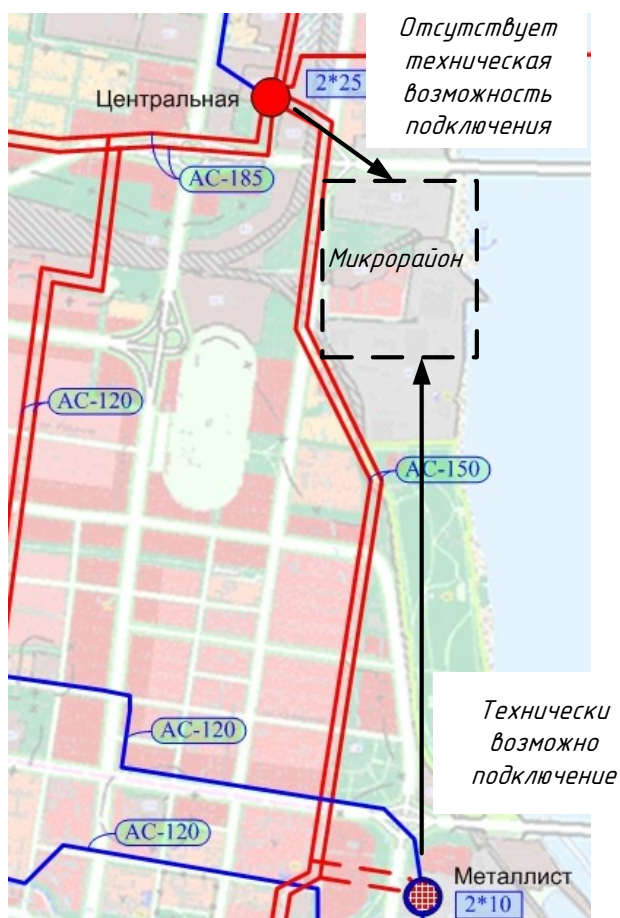


Рисунок 3 – Подключение сетей 10 кВ квартала 346 города Благовещенск

Климатическая характеристика района проектирования дана по основным показателям, влияющим на выбор типа и исполнения КТП 10/0,4 кВ, оборудования ЗРУ-10 кВ центра питания.

В Благовещенске резко-континентальный климат, при котором колебания температуры за годовой период наблюдения достигают амплитуды 45-50°C, за суточный период наблюдения 18-20°C, среднегодовая температура составляет +1,2 °C, среднегодовая влажность воздуха составляет 67 %, среднегодовая скорость ветра составляет 2,0 м/с. Прибрежная территория реки Зея в районе проектирования имеет берегоукрепление, при этом паводковые воды могут воздействовать на район застройки [1].

## 2 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Исходной величиной нагрузки для нахождения параметров оборудования системы электроснабжения 10-0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск является удельная нагрузка, по которой в дальнейшем проводится выбор электрооборудования, нагрузка центра питания, сечения кабелей 10-0,4 кВ, мощности трансформаторов. Методология выполняемого расчёта базируется на применении удельных электрических нагрузок.

### 2.1 Расчёт электрических нагрузок бытовых потребителей

#### 2.1.1 Расчёт электрических нагрузок жилых зданий

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №1 активная мощность квартир считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

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

$$P_{кв} = 2,5 \cdot 72 = 180 \text{ кВт},$$

где  $P_{уд.кв.}$  – удельная расчётная электрическая нагрузка, кВт/кв [3];

$n$  – количество квартир, 72 шт.

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №1 активная мощность лифтовых двигателей 0,4 кВ считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{р.лифт} = k_c \cdot \sum_{i=1}^n P_{лифти}, \quad (2)$$

$$P_{р.лифт} = 2 \cdot 13 \cdot 0,8 = 20,8 \text{ кВт},$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса 0,8 [3];

$n$  – количество лифтовых установок, 2;

$P_{лифти}$  – установленная мощность двигателей лифта, 13 кВт.

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №1 активная мощность двигателей 0,4 кВ насосов подъёма воды считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{p.ст.у} = k_c \sum_{i=1}^n P_{ст.уi}, \quad (3)$$

$$P_{p.ст.у} = 2 \cdot 20 \cdot 1 = 40 \text{ кВт},$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса, 1 [3];

$n$  – количество насосов, 2;

$P_{ст.уi}$  – установленная мощность двигателей насосов, 20 кВт.

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №1 активная мощность силовой нагрузки 0,4 кВ считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_c = P_{p.лифт} + P_{p.ст.у}, \quad (4)$$

$$P_{p.ст.у} = 20,8 + 40 = 60,8 \text{ кВт},$$

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №1 расчетная активная мощность считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{p.жил.дом} = P_{p.кв.} + k_y \cdot P_c, \quad (5)$$

$$P_{p.жил.дом} = 180 + 0,9 \cdot 60,8 = 234,72 \text{ кВт},$$

где:  $k_y$  – коэффициент участия для суммирования силовой и жилой нагрузки дома, 0,9 [3];

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №1 расчетная реактивная мощность считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$Q_{кв} = P_{кв} \cdot \operatorname{tg} \varphi ; \quad (6)$$

$$Q_{кв} = 234,72 \cdot 0,4 = 47,2 \text{ кВар}.$$

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №1 расчетная полная мощность считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$S_{p.жил.дом} = \sqrt{P_{p.жил.дом}^2 + Q_{кв}^2}; \quad (7)$$

$$S_{p.жил.дом} = \sqrt{234,72^2 + 47,2^2} = 239 \text{ кВА}.$$

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №1 расчетная токовая нагрузка системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_{кв} = \frac{S_{кв}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}; \quad (8)$$

$$I_{кв} = \frac{239}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 345,4 \text{ А}.$$

По выше приведенному расчёту нагрузок жилых домов квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице ниже будут отражены итоги расчётов.

### 2.1.2 Расчёт электрических нагрузок зданий со встроенными объектами коммунально-бытового назначения

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №4 расчетная активная мощность встроенной аптеки считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{\text{апт}} = P_{\text{уд.}} \cdot S \cdot k_{\text{уч}}, \quad (9)$$

$$P_{\text{апт}} = 0,16 \cdot 100 \cdot 0,6 = 9,6 \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{уд}}$  – удельная нагрузка торговых предприятий, 0,16 кВт/м<sup>2</sup>;

$S$  - площадь встроенной аптеки, 100 м<sup>2</sup>;

$k_{\text{уч}}$  – коэффициент участия, 0,6 для аптеки.

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №4 расчетная активная мощность считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{\text{жил.дом.}} = P_{\text{р.жил.дом}} + P_{\text{апт}}, \quad (10)$$

$$P_{\text{жил.дом.}} = 234,72 + 9,6 = 244,32 \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{р.жил.дом}}$  – расчетная нагрузка квартир и силовых потребителей дома №4 на плане, кВт.

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №4 расчетная реактивная мощность считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:



$$Q_{\text{жил.дом}} = P_{\text{жил.дом}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{жд}}, \quad (11)$$

$$Q_{\text{жил.дом.}} = 244,32 \cdot 0,32 = 78,3 \text{ кВар}$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{жд}}$  – расчетный коэффициент реактивной мощности, [3].

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №4 расчетная полная мощность считается по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$S_{\text{жил.дом}} = \sqrt{P_{\text{жил.дом}}^2 + Q_{\text{жил.дом}}^2}, \quad (12)$$

$$S_{\text{жил.дом}} = \sqrt{244,32^2 + 78,3^2} = 257 \text{ кВА}.$$

На вводе 0,4 кВ жилого пятиэтажного дома №4 расчетная токовая нагрузка считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_{\text{жил.домв}} = \frac{S_{\text{жил.дом}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}}}, \quad (13)$$

$$I_{\text{жил.домв}} = \frac{257}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 186 \text{ А}.$$

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей

На вводе 0,4 кВ объекта №14 расчетная активная мощность встроенной аптеки считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{\text{дисп.}} = P_{\text{дисп.уд}} \cdot n, \quad (14)$$

$$P_{\text{дисп}} = 0,36 \cdot 587 = 211,3 \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{дисп.уд}}$  – удельная расчетная активная нагрузка диспансера, 0,36 кВт/мест.

На вводе 0,4 кВ объекта №14 расчетная реактивная мощность считается системы электроснабжения квартала 346 по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$Q_{\text{дисп}} = P_{\text{дисп}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (15)$$

$$Q_{\text{дисп}} = 211,3 \cdot 0,41 = 86,3 \text{ кВар}.$$

На вводе 0,4 кВ объекта №14 расчетная полная мощность системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$S_{\text{дисп}} = \sqrt{P_{\text{дисп}}^2 + Q_{\text{дисп}}^2}, \quad (16)$$

$$S_{\text{дисп}} = \sqrt{211,3^2 + 86,3^2} = 228 \text{ кВА}.$$

На вводе 0,4 кВ объекта №14 расчетная токовая нагрузка считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_{p \text{ дисп}} = \frac{S_{\text{дисп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}}}, \quad (17)$$

$$I_{p \text{ дисп}} = \frac{228}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 2} = 165 \text{ А.}$$

По выше приведенному расчёту нагрузок квартир жилых домов квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 2 отражены итоги расчётов.

Таблица 2 – Основная и силовая нагрузка потребителей 0,4 кВ

Объект	№ на листе	N	Основная нагрузка			Силовая нагрузка лифтов и насосов							
			у.е.	кол-во уд ед. осн ЭП	P на у. е.	N <sub>лифт</sub>	P <sub>лифт</sub>	K <sub>с</sub> лифт	N <sub>насос</sub>	P <sub>насос</sub>	K <sub>с</sub> насос	P <sub>силЭП</sub>	K <sub>у</sub>
Кирпичный жилой дом	1-2	2	кв	72	2,5	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	3	1	кв	72	2,5	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	4	1	кв	72	2,5	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	5-6	2	кв	134	1,92	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	7	1	кв	134	1,92	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	8	1	кв	134	1,92	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	9	1	кв	134	1,92	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	10	1	кв	134	1,92	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	11	1	кв	134	1,92	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Кирпичный жилой дом	12-13	2	кв	134	1,92	2	13	0,8	2	20	1	60,8	0,9
Туберкулёзный диспансер	14	1	мест	587	0,36								
база	15	1	м <sup>2</sup>	1400	0,14								
Офис	16-18	3	м <sup>2</sup>	1000	0,054								
Продовольственный магазин	19	1	м <sup>2</sup>	1000	0,2								
автопарковка	20	1	мест	500	0,5								
база-склад	21-25	5	м <sup>2</sup>	3000	0,043								

По выше приведенному расчёту нагрузок на вводах объектов застройки квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 3 отражены итоги расчётов.

Таблица 3 –Расчётная нагрузка потребителей 0,4 кВ

Объект	№ на листе	Встроен. ЭП					Расчётная нагрузка на вводе		
		Встроен. ЭП	Удельн. Ед. встроен. ЭП	кол-во уд ед. встроен. ЭП	Мощность на у. е.	Ку встроен. ЭП	Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА
Кирпичный жилой дом	1-2						234,72	47,2	239
Кирпичный жилой дом	3	офисные помещения	м <sup>2</sup>	1500	0,054	0,6	283,32	90,8	298
Кирпичный жилой дом	4	магазин быт.хим.	м <sup>2</sup>	100	0,16	0,6	244,32	78,3	257
Кирпичный жилой дом	5-6						312	62,7	318
Кирпичный жилой дом	7	офисные помещения	м <sup>2</sup>	100	0,054	0,6	315,24	101,0	331
Кирпичный жилой дом	8	магазин продуктов	м <sup>2</sup>	100	0,25	0,6	327	104,8	343
Кирпичный жилой дом	9	магазин продуктов	м <sup>2</sup>	50	0,25	0,6	319,5	102,4	335
Кирпичный жилой дом	10	офисные помещения	м <sup>2</sup>	50	0,054	0,6	313,62	100,5	329
Кирпичный жилой дом	11	магазин продуктов	м <sup>2</sup>	50	0,25	0,6	319,5	102,4	335
Кирпичный жилой дом	12-13						312	62,7	318
Туберкулёзный диспансер	14						211,32	86,3	228
база	15						196	80,1	212
Офис	16-18						54	28,5	61
Продовольственный магазин	19						200	134,2	241
автопарковка	20						250	80,1	263
база-склад	21-25						129	59,3	142

### 2.3 Расчёт осветительной нагрузки

Учитывая месторасположение района застройки на набережной реки Зeya в нагрузке освещения на шинах 0,4 кВ каждой ТП учитывается повышенная удельная нагрузка для освещения территории набережной и жилых домов.

Расчётная активная нагрузка освещения ТП-1 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{\text{освещ}} = P_{\text{уд}} \cdot l, \quad (18)$$

$$P_{\text{освещ.}} = 12 \cdot 0,55 = 6,6,$$

где:  $P_{\text{уд}}$  – значение удельной осветительной нагрузки, взята из расчёта 10 кВт/км и дополнительно 2 кВт/км для освещения территории набережной, итого 12 кВт/км [10];

$l$  – длина проезжей части, км.

По выше приведенному расчёту осветительных нагрузок на стороне 0,4 кВ ТП квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 4 отражены итоги расчётов.

Таблица 4 – Нагрузки освещения

ТП	$L_{\text{тер}}$ , км	$P_{\text{осв уд}}$ , кВт/км	$P_{\text{осв}}$ , кВт
ТП-1	0,55	12	6,6
ТП-2	0,6	12	7,2
ТП-3	0,5	12	6
ТП-4	0,25	12	3
ТП-5	0,35	12	4,2
ТП-6	0,50	12	6
ТП-7	0,60	13	7,8

### 2.4 Выбор сечений линий распределительной сети 0.4 кВ

Для имеющихся потребителей квартала 346 города Благовещенск категории по надежности электроснабжения распределяются следующим образом: потребители квартир, магазины, склада, автопарковки, базы, офисы – III кате-

горя, диспансер, приводные двигатели лифтовых кабин высотных домов, насосы подкачки воды - II категория, система пожаротушения, видеонаблюдения и охраны- I категория [15].

Для обеспечения категорийности потребителей жилых домов для электроснабжения потребителей квартала 346 города Благовещенск используются двухлучевые магистральные и радиальные схемы.

Расчётный ток кабельной линии ТП1- 14 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_p = \frac{S_p}{(\sqrt{3} \cdot U_H \cdot n)}, \quad (19)$$

$$I_p = \frac{244,3}{(\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2)} = 177 \text{ A},$$

где  $S_p$  - расчетная полная нагрузка потребителя 14, 244,3 кВА;

$U_{\text{ном}}$  - номинальное напряжение.

Допустимый ток кабельной линии ТП1- 14 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп справ}} \cdot K_m \cdot K_{mp}; \quad (20)$$

$$I_{\text{доп}} = 310 \cdot 1,03 \cdot 0,92 = 293 \text{ A};$$

где  $I_{\text{доп справ}}$  - допустимый ток из условия нагрева жил кабеля АВВГ 4х95, 310 А [14];

$K_{mp}$  – коэффициент прокладки двух кабелей в траншее, 0,92;

$K_m$  - коэффициент температуры при прокладке в траншее двух кабелей, 1,03.

Выбор сечения жил кабельной линии ТП1- 14 выполняется по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{доп} \geq I_p; \quad (21)$$

$$293 \text{ А} \geq 177 \text{ А}.$$

Исходя из верности условия выбора делается вывод о применимости кабеля с сечением жил 95 мм<sup>2</sup> кабельной линии ТП1- 14.

Основываясь из применимости кабелей с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой и отсутствием пожароопасной среды используются кабели с алюминиевыми жилами марки АВВГ [14].

По выше приведенному расчёту выбора питающих кабелей 0,4 кВ ТП квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 5 отражены итоги расчётов.

Таблица 5 –Параметры линий 0,4 кВ

ТП	линия	Р <sub>зд макс</sub> , кВт	Q <sub>зд макс</sub> , кВар	Р <sub>зд i</sub> , кВт	Q <sub>зд i</sub> , кВар	К <sub>у</sub>	Р <sub>прив л</sub> , кВт	Q <sub>прив л</sub> , кВАр	S <sub>прив л</sub> , кВА	I <sub>расч</sub> , А	I <sub>доп</sub> , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП-1											
14	ф-1	211,32	86,35				227,4	89,3	244,3	177	293
15	ф-2	196,00	80,09				214,4	83,5	230,1	166	293
1	ф-3	234,72	47,18				250,7	49,4	255,5	185	242
2	ф-3	234,72	47,18				250,7	49,4	255,5	185	242
ТП-2											
3,16	ф-1	283,32	90,76	54,00	28,54	0,60	343,0	114,2	361,5	261	339
5	ф-2	312,00	62,72				338,3	70,3	345,6	250	385
6	ф-3	312,00	62,72				325,4	67,4	332,3	240	443
ТП-3											
17-18	ф-1	54,00	28,54	54,00	28,54	0,80	106,6	51,9	118,6	86	132
19	ф-2	200,00	134,16				222,7	136,4	261,1	189	201
4	ф-3	244,32	78,27				271,9	82,0	284,0	205	242
13	ф-4	312,00	62,72				336,8	68,4	343,7	248	339
ТП-4											
7	ф-1	315,24	100,99				349,0	107,2	365,1	264	293
8	ф-2	327,00	104,76				351,2	109,2	367,8	266	293
ТП-5											
9	ф-1	319,50	102,36				347,0	108,7	363,7	263	339

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	ф-2	313,62	100,47				335,9	104,6	351,8	254	293
11	ф-3	319,50	102,36				342,6	106,6	358,8	259	293
ТП-6											
12	ф-1	312,00	62,72				338,3	70,3	345,6	250	385
20	ф-2	250,00	80,09				269,3	82,7	281,7	204	242
21	ф-3	129,00	59,27				140,3	60,8	152,9	110	242
ТП-7											
22,23	ф-1	129,00	59,27	129,00	59,27	0,80	242,5	110,3	266,5	193	443
24,25	ф-2	129,00	59,27	129,00	59,27	0,80	242,5	110,3	266,5	193	443

### 2.5 Определение потерь мощности и напряжения в сетях 0,4 кВ.

Потери мощности кабельной линии ТП1- 14 считаются для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [16], используемой для подобных расчётов:

$$\Delta P_{л=3} = 3 \cdot \frac{(P_{рл})^2 + (Q_{рл})^2}{(U_{ном})^2} \cdot R_0 \cdot L \cdot 10^{-3}; \quad (22)$$

$$\Delta Q_{л=3} = 3 \cdot \frac{(P_{рл})^2 + (Q_{рл})^2}{(U_{ном})^2} \cdot X_0 \cdot L \cdot 10^{-3};$$

$$\Delta P_{л=3} = 3 \cdot \frac{(211,32)^2 + (86,35)^2}{(0,4)^2} \cdot 0,329 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 16 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{л=3} = 3 \cdot \frac{(211,32)^2 + (86,35)^2}{(0,4)^2} \cdot 0,06 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,9 \text{ кВар};$$

где  $P_{рл}$  – расчетная активная нагрузка кабельной линии ТП1- 14, кВт;  
 $P_{рл} Q_{рл}$  – расчетная реактивная нагрузка кабельной линии ТП1- 14, кВар;  
 $R_0, X_0$  – удельное активное и реактивное сопротивление участка Ом/км;  
 $L$  – длина кабельной линии ТП1- 14, км;  
 $U_{ном}$  – номинальное напряжение сети, 0,4 кВ.



Потеря напряжения по кабельной линии ТП1- 14 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$\Delta U = \frac{I \cdot L \cdot \sqrt{3}}{U_{ном}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% ; \quad (23)$$

$$\Delta U = \frac{177 \cdot 150 \cdot \sqrt{3}}{0.4} \cdot (0.33 \cdot 0.92 + 0.06 \cdot 0.39) \cdot 100\% = 3,9\% ;$$

где  $I$  - рабочий максимальный ток кабельной линии ТП1- 14, А.

Проверка кабельной линии ТП1- 14 системы электроснабжения квартала 346 по потере напряжения сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$\Delta U_{дон} \geq \Delta U ; \quad (24)$$

$$10\% \geq 3,9\% ,$$

где  $\Delta U_{дон}$  - максимальная величина медленного изменения напряжения, 10% [5].

По выше приведенному расчёту потерь мощности и напряжения питающих кабелей 0,4 кВ ТП квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 6 отражены итоги расчётов.

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

ТП	ли- ния	$\Delta P_{л}$ , кВт	$\Delta Q_{л,с}$ , кВАр	$P_{прив}$ л, кВт	$Q_{прив}$ л, кВАр	$S_{прив}$ л, кВА	$I_{рас}$ ч, А	L, км	cos φ	R, Ом/к м	X, Ом/к м	$\Delta U$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ТП-1												
14	ф-1	16	2,9	227,4	89,3	244,3	177	0,15	0,92	0,329	0,060	3,9

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	ф-2	18	3,4	214,4	83,5	230,1	166	0,20	0,92	0,329	0,060	4,9
1	ф-3	16	2,2	250,7	49,4	255,5	185	0,10	0,98	0,447	0,061	3,8
2	ф-3	16	2,2	250,7	49,4	255,5	185	0,10	0,98	0,447	0,061	3,8
ТП-2												
3,16	ф-1	27	6,3	343,0	114,2	361,5	261	0,15	0,95	0,261	0,060	4,8
5	ф-2	26	7,5	338,3	70,3	345,6	250	0,2	0,98	0,208	0,060	4,9
6	ф-3	13	4,7	325,4	67,4	332,3	240	0,25	0,98	0,169	0,060	4,8
ТП-3												
17-18	ф-1	9	0,5	106,6	51,9	118,6	86	0,1	0,87	1,250	0,066	2,2
19	ф-2	23	2,3	222,7	136,4	261,1	189	0,1	0,87	0,625	0,063	2,5
4	ф-3	28	3,8	271,9	82,0	284,0	205	0,15	0,95	0,447	0,061	3,1
13	ф-4	25	5,7	336,8	68,4	343,7	248	0,15	0,98	0,261	0,060	4,5
ТП-4												
7	ф-1	34	6,2	349,0	107,2	365,1	264	0,15	0,95	0,329	0,060	3,0
8	ф-2	24	4,4	351,2	109,2	367,8	266	0,1	0,95	0,329	0,060	4,0
ТП-5												
9	ф-1	28	6,3	347,0	108,7	363,7	263	0,15	0,95	0,261	0,060	4,8
10	ф-2	22	4,1	335,9	104,6	351,8	254	0,1	0,95	0,329	0,060	3,8
11	ф-3	23	4,2	342,6	106,6	358,8	259	0,1	0,95	0,329	0,060	3,9
ТП-6												
12	ф-1	26	7,5	338,3	70,3	345,6	250	0,2	0,98	0,208	0,060	4,9
20	ф-2	19	2,6	269,3	82,7	281,7	204	0,1	0,95	0,447	0,061	4,1
21	ф-3	11	1,5	140,3	60,8	152,9	110	0,2	0,90	0,447	0,061	4,3
ТП-7												
22,23	ф-1	10	3,6	242,5	110,3	266,5	193	0,3	0,90	0,169	0,060	4,7
24,25	ф-2	10	3,6	242,5	110,3	266,5	193	0,3	0,90	0,169	0,060	4,7

Потеря напряжения на любом из участков входит в пределы, регламентированные ГОСТ 32144-2013.

## 2.6 Расчет электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ силовых трансформаторов подстанций 10/0,4 кВ

Расчётная активная нагрузка потребителей на шинах 0,4 кВ ТП-1 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{макс.}} + k_{y.m1} \cdot P_1 + k_{y.m2} \cdot P_2 + \dots + k_{y.mi} \cdot P_i, \quad (25)$$

$$P_{m1} = 234,72 + 211,32 \cdot 0,9 + 196 \cdot 0,9 + 234,73 \cdot 0,9 = 812,6 \text{ кВт},$$

где  $P_{max}$  – активная нагрузка основного потребителя исходя из величины нагрузки, наибольшая из всех потребителей. кВт;

$k_{y.m.i}$  – коэффициент участия, 0,9;

$P_i$  – активная нагрузка не основного потребителя исходя из величины нагрузки, помимо наибольшей из всех потребителей кВт.

Расчётная реактивная нагрузка потребителей на шинах 0,4 кВ ТП-1 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$Q_{\Sigma} = Q_{max.} + k_{y.m1} \cdot Q_1 + k_{y.m2} \cdot Q_2 + \dots + k_{y.m.i} \cdot Q_i , \quad (26)$$

$$Q_{mn1} = 86,35 + 80,09 \cdot 0,9 + 47,19 \cdot 0,9 + 47,19 \cdot 0,9 = 234,4 \text{ кВар} ,$$

где  $Q_{max}$  – реактивная нагрузка основного потребителя исходя из величины нагрузки, наибольшая из всех потребителей. квар;

$Q_i$  – реактивная нагрузка не основного потребителя исходя из величины нагрузки, помимо наибольшей из всех потребителей квар.

Расчётная активная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$P_{mn1} = P_{\Sigma} + P_{освещ} + \Delta P_l ; \quad (27)$$

$$P_{mn1} = 812,6 + 6,6 + 67 = 885,7 \text{ кВт} ;$$

$$Q_{mn1} = Q_{\Sigma} + \Delta Q_l ; \quad (28)$$

$$Q_{mn1} = 234,6 + 11 = 245,6 \text{ кВар} ;$$

Расчётная полная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [15], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$S_{ТП} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} ; \quad (29)$$

$$S_{m1} = \sqrt{885,7^2 + 245,6^2} = 921,4 \text{ кВА}.$$

По выше приведенному расчёту полной нагрузки на стороне 0,4 кВ ТП квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 7 отражены итоги расчётов.

Таблица 7 – Расчёт нагрузки ТП

ТП	осн здание		прочие здания			Нагрузка освещения			потери в сети 0,4 кВ		Расчётная нагрузка ТП,		
	$P_{зд макс}$ , кВт	$Q_{зд макс}$ , кВар	$P_{зд i}$ , кВт	$Q_{зд i}$ , кВар	$K_y$	$L_{тер}$ , км	$P_{осв уд}$ , кВт/км	$P_{осв}$ , кВт	$\Delta P_{л}$ , кВт	$\Delta Q_{л}$ , кВар	$P_{р 0,4 кВ}$ , кВт	$Q_{р 0,4 кВ}$ , кВар	$S_{р 0,4 кВ}$ , кВА
ТП-1	234,72	86,35	642,04	174,45	0,9	0,55	12	6,6	67	11	885,7	254,1	921,4
ТП-2	312,00	90,76	649,32	153,98	0,9	0,6	12	7,2	67	19	970,5	247,9	1001,7
ТП-3	312,00	134,16	552,32	198,08	0,9	0,5	12	6	84	12	899,6	324,7	956,3
ТП-4	327,00	104,76	315,24	100,99	0,9	0,25	12	3	58	11	671,8	206,3	702,7
ТП-5	319,50	102,36	633,12	202,83	0,9	0,35	12	4,2	73	15	966,5	299,5	1011,8
ТП-6	312,00	80,09	379,00	121,99	0,6	0,50	12	6	57	12	602,2	165,0	624,4
ТП-7	129,00	59,27	387,00	177,81	0,8	0,60	13	7,8	21	7	467,1	208,8	511,6

## 2.7 Выбор числа и мощности ТП

Для обеспечения категорийности потребителей жилых домов для электроснабжения потребителей квартала 346 города Благовещенск используются 2 силовых трансформатора на ТП 10/0,4 кВ.

Мощность силовых трансформаторов ТП-1 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [17], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$S_T = \frac{S_p}{n \cdot k_3}, \quad (30)$$

$$S_T = \frac{921,4}{2 \cdot 0,7} = 658 \text{ кВА},$$

где  $n$  - число трансформаторов, 2 для всех ТП;

$k_3$  - оптимальный коэффициент загрузки трансформатора, 0,7 [17].

Выбираем трансформатор ТМ-630/10:  $S_{Тном} = 0.63$  МВА

Загрузка в нормальном режиме силовых трансформаторов ТП-1 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$K_3^{норм} = \frac{S_p}{2 \cdot S_{mp}}; \quad (31)$$

$$K_3^{норм} = \frac{658}{2 \cdot 630} = 0,73.$$

Диапазон величины коэффициента загрузки в нормальном режиме 0,5-0,75.

Загрузка в режиме (n-1) силовых трансформаторов ТП-1 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$K_3^{n/ae} = \frac{S_p}{(2-1) \cdot S_{mp}}; \quad (32)$$

$$K_3^{n/ae} = \frac{658}{630} = 1,46.$$

Диапазон величины коэффициента загрузки в режиме (n-1) менее 1,4. На ТП-1 режиме (n-1) проводится разгрузка засчёт отключения потребителей III категории по надёжности электроснабжения порядка 6% от общей нагрузки ТП.

По выше приведенному расчёту мощности трансформаторов ТП квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 8 отражены итоги расчётов.

Таблица 8 – Выбор трансформаторов ТП

Номер ТП	$P_{p, 0,4 \text{ кВ}},$ кВт	$Q_{p, 0,4 \text{ кВ}},$ кВар	$S_{p, 0,4 \text{ кВ}},$ кВА	$N_{\text{тр}}$	$K_{\text{доп}}$	$S_{\text{тр расч}},$ кВА	$S_{\text{тр ном}},$ кВА	$K_{\text{з факт}}$	$K_{\text{з авар}}$
ТП-1	885,7	254,1	921,4	2	0,7	658	630	0,73	1,46*
ТП-2	970,5	247,9	1001,7	2	0,7	715	1000	0,50	1,00
ТП-3	899,6	324,7	956,3	2	0,7	683	1000	0,48	0,96
ТП-4	671,8	206,3	702,7	2	0,7	502	630	0,56	1,12
ТП-5	966,5	299,5	1011,8	2	0,7	723	1000	0,51	1,0
ТП-6	602,2	165,0	624,4	2	0,7	446	630	0,5	1,0
ТП-7	467,1	208,8	511,6	2	0,7	365	400	0,64	1,28

\*-разгрузка в послеаварийном режиме

## 2.8 Расчёт токов короткого замыкания

В сети 0,4 кВ выбираются характерные точки короткого замыкания на шинах 0,4 кВ ТП – точка К-1, ВРУ 0,4 кВ электрически удаленного потребителя – точка К-2, рисунок 4.

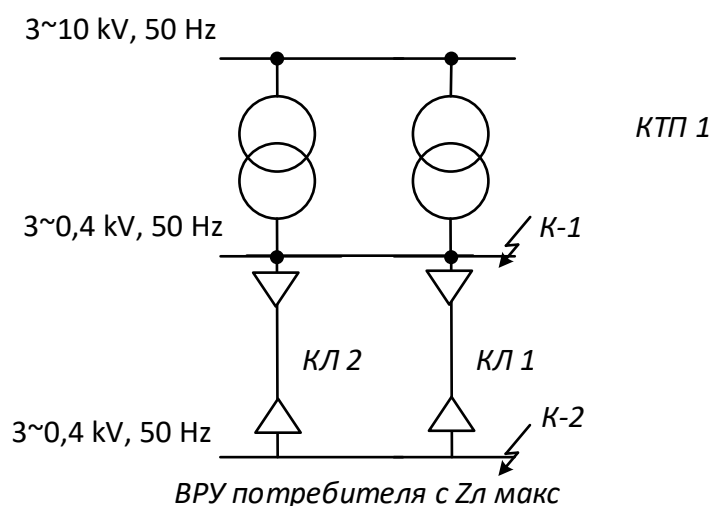


Рисунок 4 – Схема расчёта токов КЗ в сети 0,4 кВ

Схема замещения сети 0,4 кВ для характерных точек короткого замыкания показан на рисунке 5.

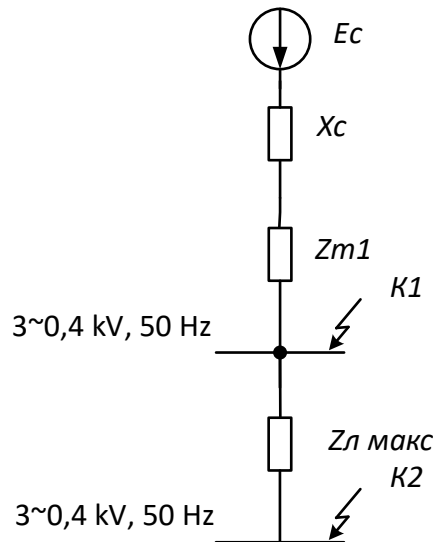


Рисунок 5 – Схема замещения для расчёта токов КЗ в сети 0,4 кВ

Реактивное сопротивление системы относительно шин 0,4 кВ ТП-1 считается по формуле [18], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$X_{сист} = \frac{U_{осн}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}} \quad (33)$$

$$X_{сист} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 4,07} = 0,057 \text{ Ом};$$

где  $I_{кз}$  – ток трехфазного короткого замыкания на шинах ВН ТП, кА;

$U_{осн}$  - основное напряжение, 0,4 кВ.

Реактивное сопротивление до точки К-2 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$\Sigma X = \Sigma X_{КЛ} + X_{сист} , \quad (34)$$

$$\Sigma X = 0,0135 + 0,012 + 0,057 = 0,082 \text{ Ом},$$

где  $\Sigma X_{KL}$  - реактивное сопротивление кабеля до точки К-2, Ом;

Активное сопротивление до точки К-2 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$\Sigma R = \Sigma R_{KL} , \quad (35)$$

$$\Sigma R = 0,0034 + 0,066 = 0,069 \text{ Ом},$$

где  $\Sigma R_{KL}$  - активное сопротивление кабеля до точки К-2, Ом.

Полное сопротивление до точки К-2 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$Z = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma R)^2} , \quad (36)$$

$$Z = \sqrt{(0,082)^2 + (0,069)^2} = 0,107 \text{ Ом}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ для точки К-2 ТП-1 считается по формуле [18], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_{\text{Покз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{осн}}}{\sqrt{3} \cdot Z} , \quad (37)$$

$$I_{\text{Покз}}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,107} = 2,2 \text{ кА}.$$

Величина постоянной времени затухания для точки К-2 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:



$$T_a = \frac{\Sigma X}{\omega \cdot \Sigma R}, \quad (38)$$

$$T_a = \frac{0,082}{314 \cdot 0,069} = 0,001 \text{ с},$$

где  $\omega$  - угловая частота напряжения сети ( $\omega = 314$ ).

Величина ударного коэффициента для точки К-2 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$K_{\text{удар}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}, \quad (39)$$

$$K_{\text{удар}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,001}} = 1.$$

Величина ударного тока КЗ для точки К-2 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$i_{\text{удар}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{удар}} \cdot I_{\text{П0КЗ}}^{(3)}, \quad (40)$$

$$i_{\text{удар}} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 2,2 = 3 \text{ кА}.$$

Величина полного сопротивления трансформатора ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$Z_{mp} = \sqrt{(X_{mp})^2 + (R_{mp})^2}, \quad (41)$$

$$Z_{mp} = \sqrt{(0,0034)^2 + (0,0135)^2} = 0,014 \text{ Ом}.$$

Ток однофазного короткого замыкания для точки К-2 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I^{(1)}_{\text{ПОКЗ}} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{фазн}}}{Z_{\Pi} + \frac{Z_{\text{тр}}}{3}}, \quad (42)$$

$$I^{(1)}_{\text{ПОКЗ}} = \frac{1,05 \cdot 0,22}{0,107 + \frac{0,0135}{3}} = 1,3,$$

где  $U_{\text{фазн}}$  - фазное напряжение;

$Z_{\Pi}$  - полное сопротивление петли фазного и нулевого провода.

По выше приведенному расчёту токов КЗ в сети 0,4 кВ в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 9 отражены итоги расчётов.

Таблица 9 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 0,4 кВ

	S <sub>T</sub> ,кВА	R <sub>T</sub> ,Ом	X <sub>T</sub> ,Ом	I <sup>(3)</sup> <sub>поТП</sub> , кА	I <sup>(1)</sup> <sub>поТП</sub> , кА	I <sub>уд ТП</sub> , кА	R <sub>кЛ04</sub> , Ом	X <sub>кЛ04</sub> , Ом	I <sup>(3)</sup> <sub>поВРУ</sub> , кА	I <sup>(1)</sup> <sub>поВРУ</sub> , кА	I <sub>уд ВРУ</sub> , кА
ТП-1	630	0,0034	0,0135	12,2	9,9	17,3	0,066	0,012	3,1	1,0	4,3
ТП-2	1000	0,0019	0,0086	14,6	15,7	20,6	0,042	0,012	4,5	1,6	6,3
ТП-3	1000	0,0019	0,0086	15,8	15,7	22,4	0,125	0,007	1,8	0,6	2,5
ТП-4	630	0,0034	0,0135	11,5	9,9	16,2	0,049	0,009	3,8	1,4	5,4
ТП-5	1000	0,0019	0,0086	14,0	15,7	19,8	0,039	0,009	4,8	1,7	6,8
ТП-6	630	0,0034	0,0135	11,4	9,9	16,2	0,089	0,012	2,4	0,8	3,3
ТП-7	400	0,0059	0,017	10,1	7,7	14,2	0,051	0,018	3,3	1,3	4,7

## 2.9 Выбор автоматических выключателей

На стороне НН КТП защита вводов 0,4 кВ осуществляется автоматическими выключателями серии ВА 51, используемая номенклатура марки ВА 51-35, ВА 51-37, ВА 51-39, защита кабелей 0,4 кВ осуществляется автоматическими выключателями серии АЕ 2060, используемая марка АЕ 2063 [26].

Выбор автоматических выключателей на вводах 0,4 кВ по рабочему напряжению для ТП-1 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{\text{номАВ}} \geq U_{\text{сети}} ; \quad (43)$$

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

Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ по рабочему току расцепителя на вводах 0,4 кВ ТП-1 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{ном.расц}} \geq I_{\text{расч}} , \quad (44)$$

$$1000 \text{ А} \geq 666 \text{ А} ,$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\Sigma\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} , \quad (45)$$

$$I_{\text{расч.ТП-1}} = \frac{921,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 666 \text{ А}.$$

где  $I_{\text{ном.расц}}$  - номинальный ток расцепителя автоматического выключателя ВА 51-39, 1000 А,

$S_{\Sigma\text{ТП}}$  - максимальная нагрузка на шинах 0,4 ТП-1, кВА.

Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ на отключающую способность КЗ на вводах 0,4 кВ ТП-1 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{отК.} \geq I_{кз}^{(3)}, \quad (46)$$

$$40 \text{ кА} \geq 3,3 \text{ кА},$$

где  $I_{отК}$  - ток отключения автоматического выключателя ВА 51-39, 40 кА.

Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ на чувствительность к токам КЗ на вводах 0,4 кВ ТП-1 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{кз}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{ср.расц}, \quad (47)$$

$$2,5 \text{ кА} \geq 1,25 \cdot 2 = 2,5,$$

где  $I_{ср.расц}$  - ток срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя ВА 51-39, 2000 А при кратности тока расцепителя  $K_p=2$ .

По выше приведенному выбору вводных автоматических выключателей 0,4 кВ ТП-1 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 10 отражены итоги расчётов.

Таблица 10 – Выбор вводных автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	$S_{р 0,4 \text{ кВ}}, \text{ кВА}$	$I_{р АВТ}, \text{ А}$	$I_{ном. расц}, \text{ А}$	Марка выключателя
ТП-1	921,4	666	1000	ВА 51-39
ТП-2	1001,7	724	1000	ВА 51-39
ТП-3	956,3	691	1000	ВА 51-39
ТП-4	702,7	508	630	ВА 51-37
ТП-5	1011,8	731	1000	ВА 51-39
ТП-6	624,4	451	630	ВА 51-37
ТП-7	511,6	370	400	ВА 51-35

По выше приведенной проверке вводных автоматических выключателей 0,4 кВ ТП-1 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 11 отражены итоги расчётов.

Таблица 11 – Проверка вводных автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	$I^{(3)}_{по}$ , кА	$I_{отк}$ , кА	$I^{(3)}_{по} < I_{отк}$	$I_{расц}$ , кА	$I^{(1)}_{по}$ , кА	$K_p$	$I_{ср\ расц}$ , кА	$1,25 \cdot I_{ср\ асц} < I^{(1)}_{по}$
ТП-1	3,3	40	$3,3 < 40$	1,0	2,5	2	2000	$2,5 < 2,5$
ТП-2	3,1	40	$3,1 < 40$	1,0	4,0	2	2000	$2,5 < 4$
ТП-3	3,4	40	$3,4 < 40$	1,0	4,0	2	2000	$2,5 < 4$
ТП-4	3,4	40	$3,4 < 40$	0,6	2,5	2	1200	$1,5 < 2,5$
ТП-5	4,1	40	$4,1 < 40$	1,0	4,0	2	2000	$2,5 < 4$
ТП-6	3,9	40	$3,9 < 40$	0,6	2,5	2	1200	$1,5 < 2,5$
ТП-7	4,1	41	$4,1 < 41$	0,4	2,0	2	800	$1 < 2$

Выбор автоматических выключателей на линиях 0,4 кВ по рабочему напряжению для линии 2 ТП-1 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{номАВ} \geq U_{сети} ;$$

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

Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ по рабочему току расцепителя на линии 2 ТП-1 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{ном.расц} \geq I_{расч} ,$$

$$250 \text{ А} \geq 166 \text{ А} ,$$

где  $I_{ном.расц}$  - номинальный ток расцепителя автоматического выключателя АЕ 2063, 250 А,

Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ на отключающую способность КЗ на линии 2 ТП-1 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{отК.} \geq I_{кз}^{(3)},$$

$$15 \text{ кА} \geq 2,2 \text{ кА},$$

где  $I_{отК}$  - ток отключения автоматического выключателя АЕ 2063, 15 кА.

Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ на чувствительность к токам КЗ на линии 2 ТП-1 сделана по формуле [26], используемой для подобных расчётов:

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

$$1,3 \text{ кА} \geq 1,25 \cdot 1 = 1,25,$$

где  $I_{ср.расц}$  - ток срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя АЕ 2063, 1000 А при кратности тока расцепителя  $K_p=4$ .

По выше приведенному выбору линейных автоматических выключателей 0,4 кВ ТП-1 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 12 отражены итоги расчётов.

Таблица 12 – Выбор линейных автоматических выключателей 0,4 кВ

Наименование потребителей	линия	$I_P$ АВТ, А	$I_{ном. расц}$ , А	Марка выключателя
1	2	3	4	5
ТП-1				
14	ф-1	177	250	АЕ 2063
15	ф-2	166	250	АЕ 2063
1	ф-3	185	250	АЕ 2063
2	ф-3	185	250	АЕ 2063
ТП-2				
3,16	ф-1	261	400	АЕ 2063
5	ф-2	250	250	АЕ 2063
6	ф-3	240	250	АЕ 2063
ТП-3				
17-18	ф-1	86	250	АЕ 2063

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5
19	ф-2	189	250	АЕ 2063
4	ф-3	205	250	АЕ 2063
13	ф-4	248	250	АЕ 2063
ТП-4				
7	ф-1	264	400	АЕ 2063
8	ф-2	266	400	АЕ 2063
ТП-5				
9	ф-1	263	400	АЕ 2063
10	ф-2	254	400	АЕ 2063
11	ф-3	259	400	АЕ 2063
ТП-6				
12	ф-1	250	250	АЕ 2063
20	ф-2	204	250	АЕ 2063
21	ф-3	110	250	АЕ 2063
ТП-7				
22,23	ф-1	193	250	АЕ 2063
24,25	ф-2	193	250	АЕ 2063

По выше проведенной проверке линейных автоматических выключателей 0,4 кВ ТП-1 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 13 отражены итоги расчётов.

Таблица 13 – Проверка линейных автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	$I_{\text{по}}^{(3)}$ , кА	$I_{\text{отк}}$ , кА	$I_{\text{по}}^{(3)} < I_{\text{отк}}$	$I_{\text{расц}}$ , кА	$I_{\text{по}}^{(1)}$ , кА	$K_p$	$I_{\text{ср расц}}$ , кА	$1,25 \cdot I_{\text{ср асц}} < I_{\text{по}}^{(1)}$
ТП-1	2,2	15	2,2 < 15	0,25	1,3	4	1000	1,25 < 1,3
ТП-2	2,4	15	2,4 < 15	0,25	2,0	4	1000	1,25 < 2
ТП-3	1,6	15	1,6 < 15	0,25	0,7	2	500	0,625 < 0,7
ТП-4	2,5	15	2,5 < 15	0,25	1,7	4	1000	1,25 < 1,7
ТП-5	3,0	15	3 < 15	0,25	2,1	4	1000	1,25 < 2,1
ТП-6	2,0	15	2 < 15	0,25	0,9	2	500	0,625 < 0,9
ТП-7	2,5	15	2,5 < 15	0,25	1,6	4	1000	1,25 < 1,6

### 3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

#### 3.1 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ силовых трансформаторов подстанций 10/0,4 кВ

Величина потерь мощности в трансформаторах ТП-1 системы электропитания квартала 346 считается по формуле [17], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$\Delta P_m = 2\Delta P_{xx} + \frac{1}{2} \Delta P_{кз} (S_{ТП} / S_{м.ном})^2 ; \quad (48)$$

$$\Delta P_m = 2 \cdot 1,05 + \frac{1}{2} \cdot 5,5 \cdot (511,6 / 400)^2 = 5,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_m = 2 \frac{U_{к\%} \cdot S_{ТП}^2}{100 \cdot S_{м.ном}} + \frac{1}{2} \frac{I_{xx} \cdot S_{м.ном}}{100} , \quad (49)$$

$$\Delta Q_m = 2 \cdot \frac{4,5 \cdot 511,6^2}{100 \cdot 400} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2,1 \cdot 400}{100} = 31,1 \text{ кВар};$$

где  $S_{ТП}$  - полная мощность нагрузки ТП-1, кВА;

$\Delta P_{xx}$  - потери активной мощности на холостом ходу трансформатора ТМ-630, 5,5 кВт;

$I_{xx}$  - ток холостого хода трансформатора ТМ-630, 2,1%;

$U_{к\%}$  - напряжение короткого замыкания трансформатора ТМ-630, 4,5%;

$S_{м.ном}$  - номинальная мощность трансформатора, ТП-1, 630 кВА.



Величина полной мощности на шинах высшего напряжения ТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$S_{ТП} = \sqrt{(P_{p.ТП} + \Delta P_{T(ТП)})^2 + (Q_{p.ТП} + \Delta Q_{T(ТП)})^2}; \quad (50)$$

$$S_1 = \sqrt{(885,7 + 5,6)^2 + (254,1 + 31,1)^2} = 951,1 \text{ кВт}.$$

По выше приведенному расчёту потерь мощности в трансформаторах ТП квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 14 отражены итоги расчётов.

Таблица 14 – Результаты расчета потерь мощности в трансформаторах

№ ТП	$S_{ТП}$ , кВА	$S_{транс}$ , кВА	$\Delta P_m$ , кВт	$\Delta Q_m$ , кВар	$P_p$ 10 кВ, кВт	$Q_p$ 10 кВ, кВар	$S_p$ 10 кВ, кВА
ТП1	921,4	630	5,6	31,1	896,9	316,3	951,1
ТП2	1001,7	1000	5,5	27,8	981,6	303,5	1027,4
ТП3	956,3	1000	5,2	26,6	910,0	377,8	985,3
ТП4	702,7	630	3,9	23,4	679,6	253,0	725,2
ТП5	1011,8	1000	5,6	28,1	977,6	355,7	1040,3
ТП6	624,4	630	3,4	21,1	609,1	207,2	643,4
ТП7	511,6	400	3,3	15,8	406,6	240,3	472,3

### 3.2 Выбор сечения распределительных линий

Для системы электроснабжения 10 кВ квартала 346 разрабатываются варианты исполнения схемы сети по магистральной резервированной схеме и петлевой схеме.

Расчётная активная нагрузка линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5 считается для двухлучевой схемы системы электроснабжения квартала 346 по формуле [19], используемой для подобных расчётов:

$$P_{кл10кВ} = K_0 \cdot (P_{mn7} + P_{mn6} + P_{mn5}), \quad (51)$$

$$P_{кл10кВ} = (977,6+609,1+406,6) \cdot 0,9 = 1595 \text{ кВт},$$

где  $P_{mn5}$ ,  $P_{mn6}$ ,  $P_{mn7}$  – активная нагрузка на стороне ВН подключаемых к линии 10 кВ ТП. кВт;

$\kappa_0$  – коэффициент одновременности для 6 силовых трансформаторов ТП, 0,9.

Расчётная реактивная нагрузка линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5 считается для двухлучевой схемы системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$Q_{кл10кВ} = \kappa_0 \cdot (Q_{mn7} + Q_{mn6} + Q_{mn5}), \quad (52)$$

$$Q_{кл10кВ} = (355,7+207,2+240,3) \cdot 0,9 = 642,6 \text{ кВт},$$

где  $Q_{mn5}$ ,  $Q_{mn6}$ ,  $Q_{mn7}$  – реактивная нагрузка на стороне ВН подключаемых к линии 10 кВ ТП. квар.

Расчётная полная нагрузка линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5 считается для двухлучевой схемы системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$S_{кл10кВ} = \sqrt{P_{кл10кВ}^2 + Q_{кл10кВ}^2}; \quad (53)$$

$$S_{кл10кВ} = \sqrt{1595^2 + 642,6^2} = 1719 \text{ кВА}.$$

Расчётная токовая нагрузка линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5 считается для двухлучевой схемы системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_p = \frac{S_p}{U_H \cdot \sqrt{3}}, \quad (54)$$

$$I_p = \frac{1719}{10 \cdot \sqrt{3}} = 99 \text{ A},$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение, 10 кВ.

Допустимый ток кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_{доп} = I_{доп\ справ} \cdot K_m \cdot K_{тр}; \quad (55)$$

$$I_{доп} = 205 \cdot 1,03 \cdot 0,92 = 195 \text{ A};$$

где  $I_{доп\ справ}$  - допустимый ток из условия нагрева жил кабеля ААШв 3х50, 205 А [26];

$K_{тр}$  – коэффициент прокладки двух кабелей в траншее [26], 0,92;

$K_m$  - коэффициент температуры при прокладке в траншее двух кабелей [26] 1,03.

Выбор сечения жил кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5 выполняется по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{доп} \geq I_p; \quad (56)$$

$$195 \text{ A} \geq 99 \text{ A}.$$

Исходя из верности условия выбора делается вывод о применимости кабеля с сечением жил 50 мм<sup>2</sup> кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5.

Основываясь из применимости кабелей с поливинилхлоридной изоляцией, алюминиевой оболочкой и отсутствием пожароопасной среды используются кабели с алюминиевыми жилами марки ААШв [26].

По выше приведенному расчёту нагрузки линий 10 кВ системы электропитания квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 15 отражены итоги расчётов.

Таблица 15- Выбор марки и сечения линий 10 кВ

Участок линии	S, кВА	I <sub>доп</sub> , А	I <sub>p</sub> , А	Сечение, мм <sup>2</sup>	марка
(вариант 1)					
ПС - ТП 7 - ТП 6 - ТП 5	1719	195	99	50	ААШв
ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 4 - ТП 2	2949	240	170	70	ААШв
(вариант 2)					
ПС - ТП 7 - ТП 6 - ТП 1 - ТП 2	2468	329	143	150	ААШв
ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3	2200	329	127	150	ААШв
ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3 - ТП 2 - ТП 1 - ТП 6 - ТП 7 (послеаварийный)	4376	329	253	150	ААШв

### 3.3 Определение потерь высокого напряжения в сети 10 кВ

Потеря напряжения по кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5 считается для системы электропитания квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{U_{ном}} \cdot r_0 \cdot \cos \varphi \cdot 100\% , \quad (57)$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 99 \cdot 6100}{10000} \cdot 0,641 \cdot 0,95 \cdot 100\% = 3,2 \%$$

где  $r_0$  -удельное активное сопротивление кабеля марки ААШв;

$l$  -длина кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5, км.

Проверка кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-5 системы электропитания квартала 346 по потери напряжения сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$\Delta U_{\text{дон}} \geq \Delta U;$$

$$10\% \geq 3,2\%,$$

где  $\Delta U_{\text{дон}}$  - максимальная величина медленного изменения напряжения, 10% [5].

### 3.4 Определение потерь мощности и энергии в сетях 10 кВ

Потеря мощности по кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [16], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^{-3}, \quad (58)$$

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 143^2 \cdot 0,206 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 98,1 \text{ кВт};$$

где  $I_p$  - расчетный ток участка кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2, 143 А;

$r_0$  - удельное активное сопротивление кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2, 0,206 Ом/км;

$l$  - длина участка кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2, 7,8 км.

Время потерь для системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (59)$$

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

где  $T_i$  - число часов использования максимума нагрузки, 5500 ч для городов [21].

Потеря электроэнергии по кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \quad (60)$$

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau = 98,1 \cdot 3980 = 390328 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

По выше приведенному расчёту мощности, энергии и напряжения линий 10 кВ системы электроснабжения квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 16 отражены итоги расчётов.

Таблица 16 – Определения потерь мощности, энергии и напряжения

Участок линии	$I_p, \text{А}$	$R_0, \text{Ом/км}$	L, км	$\Delta P, \text{кВт}$	$\Delta W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	$\Delta U, \%$
(вариант 1)						
ПС - ТП 7 - ТП 6 - ТП 5 (вариант 1)	99	0,641	6,1	57,9	230518	3,2
ПС - ТП 1 - ТП 3 - ТП 4 - ТП 2 (вариант 1)	170	0,443	8	154,5	614864	5,0
(вариант 2)						
ПС - ТП 7 - ТП 6 - ТП 1 - ТП 2 (вариант 2)	143	0,206	7,8	98	390328	3,8
ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3 (вариант 2)	127	0,206	6,9	69	274480	3,0
ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3 - ТП 2 - ТП 1 - ТП 6 - ТП 7 (вариант 2 аварийный)	253	0,206	11,8	233	928458	10

### 3.5 Определение оптимального варианта сети 10 кВ

Приведенные затраты на строительство кабельных линий 10 кВ и дополнительных ячеек РУ-10 кВ центра питания считаются для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [20], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$Z = E \cdot (K_{каб} + K_{кпу}) + (A \cdot K_{каб} + A \cdot K_{кпу}) + C_0 \cdot (\Delta W_{каб}) \cdot 10^{-3}, \quad (61)$$

где  $E$  - норматив дисконтирования, 0,1 [20];

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

$C_0$  — стоимость потерь электроэнергии, 1,5 руб/кВт·ч [27];

$A$  - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание  
 $a_{ам.КРУ} = 5,9\%$ ,  $a_{ам.КЛЭП} = 0,5\%$  [20];

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

По выше приведенному расчёту приведенных затрат для линий 10 кВ системы электроснабжения квартала 346 города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 17 отражены итоги расчётов.

Таблица 17 – Сравнение вариантов сети 10 кВ

№ Варианта		1	2
Количество выключателей 10 кВ, шт		4	2
Стоимость выключателя 10 кВ, тыс руб		250	250
Капиталовложения в выключатели, тыс руб		1000	500
Протяженность КЛ 10 кВ сечением, км	150		15,7
	70	16	
	50	12,2	
Стоимость кабеля сечением, тыс. руб.\км	150	753,079	753,079
	70	417,152	417,152
	50	349,3	349,3
Капиталовложения в линии 10 кВ, тыс руб		10935,8	11823,3
Издержки на эксплуатацию и ремонт линий 10 кВ, тыс руб		43,7	47,3
Издержки на эксплуатацию и ремонт выключателей 10 кВ, тыс руб		59	29,5
Издержки на амортизацию электрооборудования, тыс руб		596	616
Потери электроэнергии, кВт·ч		845382	664808
Стоимость потерь электроэнергии, руб/кВт·ч		1,5	1,5
Издержки потерь электроэнергии, тыс руб		1268	997
Приведенные затраты, тыс руб		3161	2922

Вариант 1 дороже на 239 тыс. руб. (8%). Выбираем вариант 2.

### 3.6 Расчёт токов короткого замыкания

В сети 10 кВ выбираются характерные точки короткого замыкания на шинах 10 кВ ТП – точки К-1 – К-7, рисунок 6.

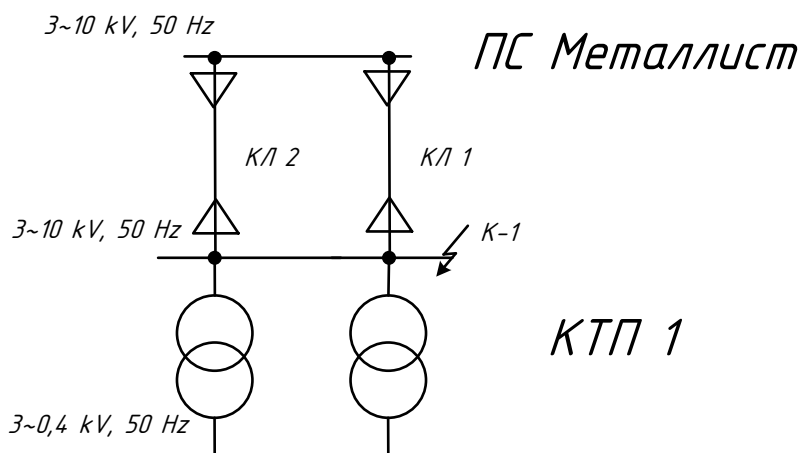


Рисунок 6 – Схема расчёта токов КЗ в сети 10 кВ

Схема замещения сети 10 кВ для характерных точек короткого замыкания показан на рисунке 2.

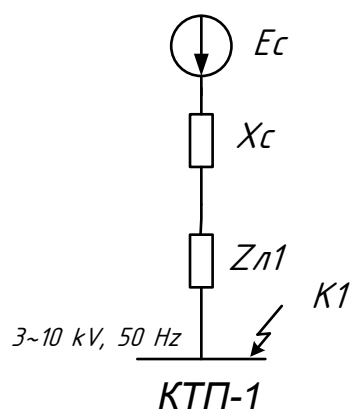


Рисунок 7 – Схема замещения для расчёта токов КЗ в сети 10 кВ

Реактивное сопротивление системы относительно шин 10 кВ ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$X_{сист} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}}, \quad (62)$$



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

где  $I_{кз}$  - ток короткого замыкания, 10 кА по результату контрольного замера на питающей подстанции [19];

Активное сопротивление до точки К-1 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$R_1 = R_{0Л1} \cdot L_{Л1}, \quad (63)$$

$$R_1 = 0,206 \cdot 6,6 = 1,36 \text{ Ом},$$

где  $L_{Л1}$  - протяженность кабелей 10 кВ до ТП-1, 6,6 км;

$R_{0Л1}$  - активное сопротивление кабелей 10 кВ, 0,206 Ом/км.

Полное сопротивление до точки К-1 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$Z_{КЗ1} = \sqrt{R_1^2 + X_{cуст}^2}, \quad (64)$$

$$Z_{КЗ1} = \sqrt{1,36^2 + 0.607^2} = 1,49 \text{ Ом}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ для точки К-1 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_{П0КЗ.к1}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{КЗ1}}; \quad (65)$$

$$I_{\text{ПОКЗ.к1}}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,49} = 4,07 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного короткого замыкания для точки К-1 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{n0}^{(3)} ; \quad (66)$$

$$I_{\text{кзК1}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,07 = 3,54 \text{ кА.}$$

Величина ударного тока КЗ для точки К-1 ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot \kappa_{\text{уд}} ; \quad (67)$$

$$I_{\text{удК1}} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 4,07 = 7,6 \text{ кА.}$$

По выше приведенному расчёту токов КЗ в сети 10 кВ в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 18 отражены итоги расчётов.

Таблица 18 – Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

№ ТП	Точка КЗ	$I_{\text{ПО.кз}}^3$ , кА	$I_{\text{ПО.кз}}^2$ , кА	$I_{\text{удар}}$ , кА
ТП-1	К – 1	4,07	3,54	7,6
ТП-2	К – 2	3,53	3,07	6,9
ТП-3	К – 3	3,92	3,41	7,5
ТП-4	К – 4	4,18	3,63	7,8
ТП-5	К – 5	4,78	4,16	8,5
ТП-6	К – 6	5,07	4,41	8,8
ТП-7	К – 7	6,02	5,23	9,8

### 3.7 Проверка сечений линий на воздействие токов КЗ

Время отключения короткого замыкания для ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{в}} + t_{\text{рз}} + \Delta t_{\text{рз}}; \quad (68)$$

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

где  $t_{\text{в}}$  - время отключения контактов дугогасящей камеры выключателя ВВ-Тел, 0,045 с;

$t_{\text{рз}}$  - выдержка времени терминалов защиты, 0,01 с;

$\Delta t_{\text{рз}}$  - селективность для терминалов защиты, 1,5 с.

Тепловой импульс для ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$W_{\text{кз}} = I_{\text{п.о}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}), \quad (69)$$

$$W_{\text{кз}} = 4,07^2 \cdot (1,555 + 0,0089) = 25,9 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{\text{п.о}}$  - действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ на стороне 10 кВ ТП-1;

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

$T_{\text{а}}$  - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП-1, 0,0089 с.

Минимально допустимое сечение кабельной линии 10 кВ по условию термической стойкости для ТП-1 считается по формуле, используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$F_{\text{тер}} = \frac{\sqrt{B_{\text{кз}}}}{C}, \quad (70)$$

$$F_{\text{тер.тпл}} = \frac{\sqrt{25,9 \cdot 10^6}}{95} = 53,6 \text{ мм}^2;$$

где  $C$  - коэффициент, значение которого зависит от материала проводника и напряжения, осуществляет пересчет допустимой температуры нагрева к тепловому импульсу, для кабеля ААШв  $C=95$ .

Правильно выбранное сечение кабеля должно удовлетворять условию:

$$F_{\text{тер}} \leq F_{\text{выбр}}, \quad (71)$$

$$53,6 \text{ мм}^2 \leq 150 \text{ мм}^2;$$

где  $F_{\text{выбр}}$  - сечение жил выбранного кабеля 10 кВ ААШв-3х150, 150 мм<sup>2</sup>.

По выше приведенному расчёту минимально допустимого сечения кабелей 10 кВ в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 19 отражены итоги расчётов.

Таблица 19 – Минимально допустимое сечение

№ ТП	$I^{(3)}_{\text{по}}$ , кА	$T$ , с	$\Delta t$ , сек.	$B_{\text{кз}}$	$F_{\text{кл мин}}$ , мм <sup>2</sup>	$F_{\text{кл факт}}$ , мм <sup>2</sup>
ТП-1	4,07	0,0089	1,5	25,9	53,6	150
ТП-2	3,53	0,0106	2	25,8	53,4	150
ТП-3	3,92	0,0093	1,5	24,1	51,7	150
ТП-4	4,18	0,0087	1	18,6	45,4	150
ТП-5	4,78	0,0073	0,5	12,9	37,8	150
ТП-6	5,07	0,0068	1	27,3	55,0	150
ТП-7	6,02	0,0053	0,5	20,3	47,4	150

Кабель ААШв-3х150 соответствует условию стойкости к токам КЗ для выбранной петлевой схемы.

#### 4 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Требуемая реактивная мощность на одну секцию шин ПС «Металлист» считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [21], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$Q_{KV} = Q_P - P_P \cdot \operatorname{tg} \varphi_{n\partial}, \quad (72)$$

$$Q_{KV} = 1540 - 4096 \cdot 0,4 = -98 \text{ кВАр},$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{n\partial}$  - коэффициент реактивной мощности центра питания на стороне 10 кВ, [21] 0,4.

На шинах 10 кВ ПС «Металлист» установка БК не проводится.

## 5 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ

Емкостной ток проектируемой сети считается для системы электроснабжения квартала 346 по формуле [11], используемой для подобных расчётов и имеющей достаточную точность:

$$I_c = \frac{1,35 \cdot U_H \cdot L_K}{10}; \quad (73)$$

$$I_c = \frac{1,35 \cdot U_H \cdot 14,7}{10} = 19,8 \text{ А};$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение сети, 10 кВ;

$L_K$  – суммарная длина кабелей 10 кВ в системе электроснабжения квартала 346, 14,7 км.

Для сетей 10 кВ допустимая величина емкостного тока 20 А, так как расчётное значение не превышает допустимое [31], то мероприятий по компенсации тока не предусматривается:

$$I_c \leq I_{\text{предельный}}, \quad (74)$$

$$19,8 \text{ А} \leq 20 \text{ А}.$$

## 6 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РУ 10 кВ

### 6.1 Выбор выключателей

На стороне НН ПС Металлист защита кабельных линий и вводов 10 кВ осуществляется выключателями серии ВВ/Тел, используемая номенклатура марки ВВ/Тел-12,5/630 УХЛ1, ВВ/Тел-12,5/1000 УХЛ1 [6];

Выбор выключателей на линиях 10 кВ по рабочему напряжению для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ} ; \quad (75)$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Выбор выключателей на линиях 10 кВ по рабочему и послеаварийному току для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{мах}} = \frac{S_{\Sigma\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} ; \quad (76)$$

$$I_{\text{мах}} = \frac{4376}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 253 \text{ А};$$

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}} , \quad (77)$$

$$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}} ; \quad (78)$$

$$143 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

$$253 \text{ A} \leq 630 \text{ A};$$

где  $I_{\text{ном}}$  - номинальный ток выключателя ВВ/Тел-12,5/630 УХЛ1, 630 А,

$S_{\text{ТП}}$  - суммарная нагрузка ТП в послеаварийном режиме питания петли, 4376 кВА.

Проверка выключателей 10 кВ на отключающую способность КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{пр.с.}} \geq I_{\text{по}}^{(3)}, \quad (79)$$

$$I_{\text{откл ном}} \geq I_{\text{пт}},$$

$$12,5 \text{ кА} \geq 6,02 \text{ кА},$$

$$12,5 \text{ кА} \geq 6,02 \text{ кА},$$

где  $I_{\text{пр.с}}$  - ток отключения выключателя ВВ/Тел-12,5/630, 12,5 кА.

Проверка выключателей 10 кВ на электродинамической стойкости к токам КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$i_{\text{пр с}} \geq i_{\text{уд}}, \quad (80)$$

$$32 \text{ кА} \geq 9,8 \text{ кА};$$

где  $i_{\text{пр с}}$  - ток электродинамической стойкости выключателя ВВ/Тел-12,5/630, 32 кА.



Проверка выключателей 10 кВ на возможность на отключения аperiodической составляющей тока КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$i_{a \text{ ном}} \geq i_{a\tau}, \quad (81)$$

$$7,5 \text{ кА} \geq 1,1 \text{ кА},$$

$$i_{a \text{ ном}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{откл}} \cdot \beta_n / 100, \quad (82)$$

$$i_{a \text{ ном}} = \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot 40 / 100 = 7,5 \text{ кА},$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot e^{-\tau/T_a}; \quad (83)$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot 6,02 \cdot e^{-0,06/0,03} = 1,1 \text{ кА};$$

где  $\beta_n$  - нормированное процентное содержание аperiodической составляющей в токе отключения выключателя ВВ/Тел-12,5/630, 40%.

Проверка выключателей 10 кВ на термическую стойкость к токам КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}} \geq B_k; \quad (84)$$

$$468 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_k = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a); \quad (85)$$

$$B_K = 6,02^2 \cdot (0,5 + 0,13 + 0,03) = 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 12,5^2 \cdot 3 = 468 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где  $I_{тер}$  - номинальный ток термической стойкости выключателя ВВ/Тел-12,5/630, 12,5 кА;

$t_{тер}$  - время термической стойкости выключателя ВВ/Тел-12,5/630, 3 с.

По выше приведенному выбору выключателей 10 кВ кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 20 отражены итоги расчётов.

Таблица 20 – Выбор выключателя в РУ 10 кВ

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные данные
кабельная линия 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	630 А	253 А
$I_{пр,с} \geq I_{по}$	12,5 кА	6,02 кА
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	32 кА	9,8 кА
$I_{откл ном} \geq I_{пт}$	12,5 кА	6,02 кА
$i_{а ном} \geq i_{ат}$	7,5 кА	1,1 кА
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$	468 кА <sup>2</sup> ·с	24 кА <sup>2</sup> ·с
кабельная линия 10 кВ питания ТП-5, ТП-4, ТП-3		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	630 А	253 А
$I_{пр,с} \geq I_{по}$	12,5 кА	4,78 кА
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	32 кА	8,5 кА
$I_{откл ном} \geq I_{пт}$	12,5 кА	4,78 кА
$i_{а ном} \geq i_{ат}$	7,5 кА	1,1 кА
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$	468 кА <sup>2</sup> ·с	15 кА <sup>2</sup> ·с

По условиям выбора и проверки [17] выбранная марка выключателя ВВ/Тел-12,5/630 полностью подходит.

## 6.2 Выбор комплектных распределительных устройств

На стороне НН ПС Металлист установлены КРУ типа КРУВ-10, для дальнейшей их эксплуатации их необходимо проверить на соответствие плани-

руемым нагрузкам и токам КЗ, при этом будет проведена замена выкатных элементов на вакуумные выключатели ВВ/Тел.

Выбор КРУ на линиях 10 кВ по рабочему напряжению для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ} ;$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Выбор КРУ на линиях 10 кВ по рабочему и послеаварийному току для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{норм} \leq I_{ном} ,$$

$$I_{max} \leq I_{ном} ;$$

$$143 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

$$253 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

где  $I_{НОМ}$  - номинальный ток КРУВ-10, 1000 А.

Проверка КРУ 10 кВ на электродинамической стойкости к токам КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$i_{пр с} \geq i_{уд},$$

$$32 \text{ кА} \geq 9,8 \text{ кА};$$

где  $i_{пр с}$  - ток электродинамической стойкости КРУВ-10, 32 кА.

Проверка КРУ 10 кВ на термическую стойкость к токам КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k;$$

$$468 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_k = I_{по}^2 \cdot (t_{откл} + T_a);$$

$$B_k = 6,02^2 \cdot (0,5 + 0,13 + 0,03) = 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 12,5^2 \cdot 3 = 468 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где  $I_{тер}$  - номинальный ток термической стойкости КРУВ-10, 12,5 кА;

$t_{тер}$  - время термической стойкости КРУВ-10, 3 с.

По выше приведенному выбору КРУ 10 кВ кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 21 отражены итоги расчётов.

Таблица 21 – Выбор КРУ в РУ 10 кВ

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные данные
1	2	3
кабельная линия 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	630 А	253 А
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	32 кА	9,8 кА
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$	468 кА <sup>2</sup> ·с	24 кА <sup>2</sup> ·с

1	2	3
кабельная линия 10 кВ питания ТП-5, ТП-4, ТП-3		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	630 А	253 А
$i_{\text{пр с}} \geq i_{\text{уд}}$	32 кА	8,5 кА
$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\kappa}$	468 кА <sup>2</sup> ·с	15 кА <sup>2</sup> ·с

По условиям выбора и проверки КРУВ-10 полностью подходит.

### 6.3 Выбор разъединителей

На стороне НН ПС Металлист установлены разъединители 10 кВ типа РВЗ-10/400УХЛ2 [4], для дальнейшей их эксплуатации их необходимо проверить на соответствие планируемым нагрузкам и токам КЗ.

Выбор разъединителей на линиях 10 кВ по рабочему напряжению для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ} ;$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Выбор разъединителей на линиях 10 кВ по рабочему току для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\max} \leq I_{\text{ном}} ;$$

$$253 \text{ А} \leq 400 \text{ А};$$

где  $I_{\text{ном}}$  - номинальный ток разъединителей РВЗ-10/400УХЛ2, 400 А.

Проверка разъединителей 10 кВ на электродинамической стойкости к токам КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$i_{пр\ c} \geq i_{уд},$$

$$20 \text{ кА} \geq 9,8 \text{ кА};$$

где  $i_{пр\ c}$  - ток электродинамической стойкости разъединителей РВЗ-10/400УХЛ2, 20 кА.

Проверка разъединителей 10 кВ на термическую стойкость к токам КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K;$$

$$300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_K = I_{по}^2 \cdot (t_{откл} + T_a);$$

$$B_K = 6,02^2 \cdot (0,5 + 0,13 + 0,03) = 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где  $I_{тер}$  - номинальный ток термической стойкости разъединителей РВЗ-10/400УХЛ2, 10 кА;

$t_{тер}$  - время термической стойкости разъединителей РВЗ-10/400УХЛ2, 3 с.

По выше приведенному выбору разъединителей РВЗ-10/400УХЛ2 кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 22 отражены итоги расчётов.

Таблица 22 – Выбор разъединителей РУ 10 кВ

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные данные
кабельная линия 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	400 А	253 А
$i_{\text{пр с}} \geq i_{\text{уд}}$	20 кА	9,8 кА
$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}} \geq B_{\kappa}$	300 кА <sup>2</sup> ·с	24 кА <sup>2</sup> ·с
кабельная линия 10 кВ питания ТП-5, ТП-4, ТП-3		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	400 А	253 А
$i_{\text{пр с}} \geq i_{\text{уд}}$	20 кА	8,5 кА
$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}} \geq B_{\kappa}$	300 кА <sup>2</sup> ·с	15 кА <sup>2</sup> ·с

По условиям выбора и проверки разъединители РВЗ-10/400УХЛ2 полностью подходят.

#### 6.4 Выбор трансформатора тока

На стороне НН ПС Металлист проводится замена трансформаторов тока 10 кВ на ТОЛ-10-1-У2 [26].

Нагрузка приборов [24], подключенных к трансформаторам тока, приведена в таблице 23.

Таблица 23 - Нагрузка цепей измерения трансформатора тока ТОЛ-10-1-У2

Наименование прибора	Цепь	Тип Прибора	Нагрузка, ВА, фазы		
			А	В	С
Амперметр	ПС - ТП 7 - ТП 6 - ТП 1 - ТП 2 (вариант 2)	СА3020	4	–	4
Счетчик АЭ		ПСЧ-4ТМ.05	0,1	–	0,1
Счетчик РЭ		ПСЧ-4ТМ.05	0,1	–	0,1
Итого:			4,2	–	4,2
Амперметр		ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3 (вариант 2)	СА3020	4	–
Счетчик АЭ	ПСЧ-4ТМ.05		0,1	–	0,1
Счетчик РЭ	ПСЧ-4ТМ.05		0,1	–	0,1
Итого:			4,2	–	4,2

Проверка трансформаторов тока 10 кВ по вторичной нагрузке для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{к}} \leq Z_{2\text{ном}} ; \quad (86)$$

$$0,057 + 0,1 + 0,168 = 0,325 \text{ Ом} \leq 0,8 \text{ Ом};$$

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_{2\text{ном}}}{I_2^2} ; \quad (87)$$

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} , \quad (88)$$

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

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{S} ; \quad (89)$$

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 8}{4} = 0,057 \text{ Ом};$$

где  $S_{2\text{ном}}$  - номинальная допустимая вторичная нагрузка трансформатора тока ТОЛ-10 в классе точности 0,5, 20 ВА;

$I_2$  - вторичный ток трансформатора тока ТОЛ-10, 5А;



$S_{\text{приб}}$  - мощность, потребляемая приборами, ВА;

$\rho$  - удельное сопротивление жил провода, (для алюминия  $\rho = 0,0283$  Ом/мм<sup>2</sup>);

$l_{\text{расч}}$  - расчетная длина провода вторичных цепей, 8м;

$r_k$  - сопротивление контактов, 0,1 Ом.

Выбор трансформаторов тока на линиях 10 кВ по рабочему напряжению для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{СЕТИ}} ;$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Выбор трансформаторов тока на линиях 10 кВ по рабочему току для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}} ;$$

$$253 \text{ А} \leq 300 \text{ А};$$

где  $I_{\text{ном}}$  - номинальный ток разъединителей РВЗ-10/400УХЛ2, 400 А.

Проверка трансформаторов тока 10 кВ на электродинамической стойкости к токам КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$i_{\text{пр с}} \geq i_{\text{уд}},$$

$$20 \text{ кА} \geq 9,8 \text{ кА};$$

где  $i_{пр с}$  - ток электродинамической стойкости трансформаторов тока ТОЛ-10, 20 кА.

Проверка трансформаторов тока 10 кВ на термическую стойкость к токам КЗ для кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K;$$

$$300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_K = I_{ПО}^2 \cdot (t_{откл} + T_a);$$

$$B_K = 6,02^2 \cdot (0,5 + 0,13 + 0,03) = 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где  $I_{тер}$  - номинальный ток термической стойкости трансформаторов тока ТОЛ-10, 10 кА;

$t_{тер}$  - время термической стойкости трансформаторов тока ТОЛ-10, 3 с.

По выше приведенному выбору трансформаторов тока ТОЛ-10 кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 24 отражены итоги расчётов.

Таблица 24 – Выбор трансформаторов тока РУ 10 кВ

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные данные
1	2	3
кабельная линия 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	300 А	253 А
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	20 кА	9,8 кА
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$	300 кА <sup>2</sup> ·с	24 кА <sup>2</sup> ·с

1	2	3
$Z_{НОМ} \geq Z_{Нрасч}$	0,8 Ом	0,325 Ом
кабельная линия 10 кВ питания ТП-5, ТП-4, ТП-3		
$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{НОМ} \geq I_{\max}$	300 А	253 А
$i_{пр с} \geq i_{уд}$	20 кА	8,5 кА
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$	300 кА <sup>2</sup> ·с	15 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_{НОМ} \geq Z_{Нрасч}$	0,8 Ом	0,325 Ом

По условиям выбора и проверки трансформаторы тока ТОЛ-10-1-У2 полностью подходят.

### 6.5 Выбор трансформатора напряжения

Выбираем трансформатор напряжения НАМИ.-10-У2 (трансформатор напряжения, антирезонансный, с литой изоляцией, для измерений), [26].

Выбор трансформаторов напряжения на шинах 10 кВ ПС Металлист по рабочему напряжению сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{НОМ} \geq U_{УСТ} ;$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Определим вторичную нагрузку трансформатора напряжения, и результаты занесем в таблицу 25.

Таблица 25 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения 10 кВ

Прибор	Тип	Количество приборов	Мощность катушки, В·А	Количество катушек	Суммарная мощность катушки, В·А
Вольтметр	СВ 3020	2	4	1	8
Ваттметр	СР 3020	1	5	2	10
Варметр	СР 3020	1	5	2	10
Частотометр	СС 3020	2	5	2	20
Счетчик АЭ	ПСЧ-4ТМ.05	14	0,1	2	2.8
Счетчик РЭ					
Итого					50.8

Проверка трансформаторов напряжения 10 кВ по вторичной нагрузке для шин 10 кВ ПС Металлист сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{доп.}} \quad (90)$$

$$50,8 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА};$$

$$S_{2\Sigma} = \sum S_{\text{приб}} ; \quad (91)$$

$$S_{2\Sigma} = 50,8 \text{ ВА.}$$

По выше приведенному выбору трансформаторов напряжения НАМИ-10У2 в таблице 26 отражены итоги расчётов.

Таблица 26 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$ $S_2 = 50,8 \text{ ВА}$	$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $S_{2\text{НОМ}} = 75 \text{ ВА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$ $S_{2\text{НОМ}} \geq S_2$

По условиям выбора и проверки трансформаторы тока ТОЛ-10-1-У2 полностью подходят.

### 6.6 Выбор предохранителей

Для трансформатора напряжения выбираем предохранитель марки ПКН 001-10У3 [26].

Выбор предохранителей 10 кВ для трансформатора напряжения по рабочему напряжению сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{СЕТИ}} ;$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Выбор предохранителей 10 кВ для трансформатора напряжения по рабочему току сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{тн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} ; \quad (92)$$

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

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном пред}} ; \quad (93)$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном вст}} ; \quad (94)$$

$$4,3 \text{ А} \leq 10 \text{ А};$$

$$4,3 \text{ А} \leq 5 \text{ А};$$

где  $I_{\text{ном пред}}$  - номинальный ток предохранителя ПКН 001-10УЗ, 10 А;

$I_{\text{ном вст}}$  - номинальный ток плавкой вставки предохранителя ПКН 001-10УЗ, 5 А;

$S_{\text{тн}}$  - допустимая нагрузка трансформатора напряжения, 75 ВА.

Выбор предохранителей 10 кВ для трансформатора напряжения по предельно отключаемому току КЗ сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{пр.с.}} \geq I^{(3)}_{\text{по}}, \quad (95)$$

$$10 \text{ кА} \geq 6,02 \text{ кА},$$

где  $I_{пр,с}$  - ток отключения предохранителя ПКН 001-10У3, 10 кА.

По выше приведенному выбору предохранителей ПКН 001-10У3 трансформаторов напряжения в таблице 27 отражены итоги расчётов.

Таблица 27 – Выбор предохранителей трансформатора напряжения 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 10 \text{ А}$ $I_{откл} = 10 \text{ кА}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 4,3 \text{ А}$ $I_{по} = 6,02 \text{ кА}$	$U_{уст} \geq U_{ном}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $I_{откл} \geq I_{по}$

По условиям выбора и проверки предохранителей ПКН 001-10У3 полностью подходят.

### 6.7 Выбор ограничителей перенапряжения

Защита оборудования 10 кВ ПС Металлист осуществляется ОПН марки ОПН-П1-/10,5/40,5/10/3УХЛ1, [26].

Выбор ограничителей перенапряжения по величине максимального допустимого на ограничителе напряжения сделан по формуле [22], используемой для подобных расчётов:

$$U_{н.р.} = 1,05 \cdot U_{ном.сети}, \quad (96)$$

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

Выбор ограничителей перенапряжения по расчетной величине длительного допустимого напряжения на ограничителе напряжения сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{расч} = \frac{U_{н.р.}}{K_B}, \quad (97)$$

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

где  $K_v$  – коэффициент, учитывающий увеличение величины допустимого напряжения за счет сокращения кратности воздействия на ОПН исходя из условий теплового баланса, 1,52, [13].

Величина неограниченных перенапряжений для системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U = \frac{U_0}{1 + k \cdot l \cdot U_0}, \quad (98)$$

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

где  $U_0$  – напряжение волны перенапряжений в месте ее возникновения;

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

$l$  – длина защищенного подхода.

Время распространения волны перенапряжений для системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$T = \frac{l}{\beta \cdot c}, \quad (99)$$

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

где  $\beta$  – коэффициент затухания волны;

$c$  – скорость распространения волны.

Выбор ограничителей перенапряжения по поглощаемой ограничителем энергии сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$\mathcal{E} = \left( \frac{U - U_{ост}}{Z} \right) \cdot U_{ост} \cdot 2T \cdot n, \quad (100)$$

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

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

$Z$  – волновое сопротивление линии, 200 Ом [13];

$T$  – время распространения волны;

$n$  – количество последовательных токовых импульсов.

Выбор ограничителей перенапряжения по удельной энергоемкости сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{ном}}; \quad (101)$$

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

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

### 6.8 Выбор выключателей нагрузки ТП

Выбираем выключатель нагрузки ВНА-10/630, [20]. Расчёт покажем для ТП 1.

Выбор выключателей нагрузки на ТП по рабочему току для ТП-7 сделан по формуле, используемой для подобных расчётов:



$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ТР НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}};$$

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 32 \text{ A};$$

$$I_{\max} \leq I_{\text{НОМ}};$$

$$32 \text{ A} \leq 630 \text{ A};$$

где  $I_{\text{НОМ}}$  - номинальный ток выключателя нагрузки ВНА-630/10, 630 А,

$S_{\text{ТР НОМ}}$  - номинальная мощность трансформатора ТП-7, 400 кВА.

Проверка выключателей нагрузки на ТП на электродинамической стойкости к токам КЗ для ТП-7 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$i_{\text{пр с}} \geq i_{\text{уд}},$$

$$32 \text{ кА} \geq 9,8 \text{ кА};$$

где  $i_{\text{пр с}}$  - ток электродинамической стойкости выключателя нагрузки ВНА-630/10, 32 кА.

Проверка выключателей нагрузки на ТП на термическую стойкость к токам КЗ для ТП-7 сделана по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}};$$

$$625 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_K = I_{\text{ПО}}^2 \cdot (t_{\text{ОТКЛ}} + T_a);$$

$$B_K = 6,02^2 \cdot (0,5 + 0,13 + 0,03) = 24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

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

где  $I_{\text{тер}}$  - номинальный ток термической стойкости выключателя нагрузки ВНА-630/10, 12,5 кА;

$t_{\text{тер}}$  - время термической стойкости выключателя нагрузки ВНА-630/10, 4 с.

По выше приведенному выбору выключателей 10 кВ кабельной линии 10 кВ питания ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 28 отражены итоги расчётов.

Таблица 28 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ ТП

ТП	$I_{\text{max}}, \text{А}$	$I_{\text{НОМ}}, \text{А}$	Условия выбора	$B_{\text{кр}}, \text{кА}^2\text{с}$	$B_{\text{кн}}, \text{кА}^2\text{с}$	Условия выбора	$I_{\text{уд}}, \text{кА}$	$I_{\text{дин}}, \text{кА}$	Условия выбора
ТП-1	51	400	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{max}}$	26	625	$B_{\text{кр}} \geq B_{\text{кн}}$	7,639	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-2	81	400		26	625		6,93	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-3	81	400		24	625		7,45	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-4	51	400		18	625		7,77	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-5	81	400		13	625		8,487	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-6	51	400		27	625		8,805	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$
ТП-7	32	400		20	625		9,787	32	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$

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

## 7 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Соблюдение требований по надёжности и быстродействию устройств защиты и автоматики возможно при использовании в системе электроснабжения 10 кВ квартала 346 города Благовещенск терминалов микропроцессорных защит СИРИУС-2-Л, которые позволяют эффективно защищать от коротких замыканий и аварийных режимов работы кабельные линии 10 кВ.

### 7.1 Токовая отсечка

Первичный ток срабатывания токовой отсечки считается для кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (102)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 6,02 = 6,62 \text{ кА},$$

где  $k_n$  – коэффициент надёжности защиты, 1,1 [24];

$I_{к.мах}^{(3)}$  – ток симметричного КЗ на стороне ВН ТП-7, кА.

Чувствительность токовой отсечки считается для кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$K_{ч} = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (103)$$

$$K_{ч} = \frac{3,07}{6,62} = 0,5 \leq 2,$$

где  $I_{КЗ}^{(2)}$  – ток несимметричного КЗ на стороне ВН ТП-2, кА.

По расчёту чувствительности не достаточно, вводится выдержка времени.

Коэффициент трансформации трансформаторов тока для всех защит кабельных линий системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$n_T = I_{BH\ TТ} / I_{HH\ TТ}; \quad (104)$$

$$n_T = 300 / 5 = 60.$$

Вторичный ток срабатывания токовой отсечки считается для кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{C.P.} = k_{CX} \frac{I_{C.З.}}{n_T}; \quad (105)$$

$$I_{C.P.} = 1 \cdot \frac{6620}{60} = 110 \text{ A};$$

где  $k_{CX}$  – коэффициент схемы включения защиты, 1.

Выдержка времени срабатывания токовой отсечки считается для кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$t_{TO} = t_{cз} + \Delta t; \quad (106)$$

$$t_{TO} = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с};$$

где  $t_{cз}$  – время, за которое отработает первая ступень токовой отсечки, 0 с;  
 $\Delta t$  – выдержка времени, которая вводится из-за недостаточной чувствительности защиты, 0,5 с.

По выше приведенному расчёту токовой отсечки кабельной линии системы электроснабжения города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 29 отражены итоги расчётов.

Таблица 29 – Расчёт токовой отсечки

Линия	ПС - ТП 7 - ТП 6 - ТП 1 - ТП 2	ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3
$I_{(3)по}, \text{кА}$	6,02	4,78
$I_{(2)по}, \text{кА}$	3,07	3,41
$I_p, \text{А}$	143	127
$I_{Н\text{ ТТ}}, \text{А}$	300	300
$I_{с.з.}, \text{кА}$	6,62	5,26
$n_T$	60	60
$I_{с.р.}, \text{А}$	110,3	87,7
$K_{ч}$	0,50	0,60

## 7.2 Максимальная токовая защита

Первичный ток срабатывания максимальной токовой защиты считается для кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_v \quad (107)$$

$$I_{с.з.} = 0,329 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 0,38 \text{ кА};$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности защиты, 1,1 [25];

$k_{с.з.}$  – коэффициент срабатывания защиты при запуске двигателей, 1;

$k_v$  – коэффициент возврата защиты, 0,95;

$I_{раб.}$  – максимальный рабочий ток кабеля, 329 А.

Вторичный ток срабатывания максимальной токовой защиты считается для кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{с.р.} = I_{с.з.} \cdot k_{сх} / n_T, \quad (108)$$

$$I_{c.p.} = I_{c.з.} \cdot k_{cx} / n_T = 380 \cdot 1 / (60) = 6,35 \text{ A.}$$

Чувствительность максимальной токовой защиты считается для кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K3}^{(2)}}{I_{c.з.}}, \quad (109)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{3070}{380} = 8,1 \geq 1,5 .$$

Выдержка времени срабатывания максимальной токовой защиты считается для кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$t_{MTЗ} = t_{TO} + \Delta t; \quad (110)$$

$$t_{MTЗ} = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ с};$$

где  $\Delta t$  – выдержка времени работы максимальной токовой защиты, 0,5 с.

По выше приведенному расчёту максимальной токовой защиты кабельной линии системы электроснабжения города Благовещенск в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 30 отражены итоги расчётов.

Таблица 30 – Расчёт максимальной токовой защиты

Линия	ПС - ТП 7 - ТП 6 - ТП 1 - ТП 2	ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3
$I_{(2)по}, \text{ кА}$	3,07	3,41
$I_{н \text{ ТТ}}, \text{ А}$	300	300
$I_{c.з.}, \text{ кА}$	0,38	0,38
$I_{c.p.}, \text{ А}$	6	6
$K_{\text{ч}}$	8,1	9,0

### 7.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Ток замыкания на землю кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле [11], используемой для подобных расчётов:

$$I_c = \frac{1,35 \cdot U_H \cdot L_K}{10}; \quad (111)$$

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{10 \cdot 1,35 \cdot 7,8}{10} = 10,5 \text{ А.}$$

Ток замыкания на землю в контуре трансформатора тока нулевой последовательности системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}, \quad (112)$$

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = 19,8 - 10,5 = 9,3 \text{ А.}$$

Ток срабатывания защиты от замыкания на землю кабельной линии подключения ТП-7, ТП-6, ТП-1, ТП-2 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{ТНП.повр.л}} / k_{\text{ч}} \quad (113)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 9,3 / 1,3 = 6,2 \text{ А;}$$

где  $k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности защиты, 1,3.

По выше приведенному расчёту защиты от замыкания на землю проектируемой системы электроснабжения в качестве образца выполнен схожий порядок расчётных действий, в таблице 31 отражены итоги расчётов.

Таблица 31 – Расчёт защиты от замыкания на землю

Линия	ПС - ТП 7 - ТП 6 - ТП 1 - ТП 2	ПС - ТП 5 - ТП 4 - ТП 3
$I_{\text{повр.л}}, \text{ A}$	10,53	9,32
$I_{\text{ТП.повр.л}}, \text{ A}$	9	11
$I_{\text{с.з}}, \text{ A}$	6	7

#### 7.4 Устройства автоматического включения резерва

По условию категоричности потребителей проектируемой системы электроснабжения города Благовещенск в целях минимизации времени отключения питания потребителей предусматриваются устройства автоматического включения резерва на стороне НН КТП и стороне НН ПС Металлист [12].

Напряжение срабатывания пускового органа устройства автоматического включения резерва КТП системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{\text{с.з.КТП}} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{\text{ном НН КТП}}; \quad (114)$$

$$U_{\text{с.з.КТП}} = 0,3 \cdot 400 = 120 \text{ В};$$

где  $U_{\text{ном НН КТП}}$  – номинальное напряжение на стороне НН КТП, 400 В.

Выдержка времени срабатывания устройства автоматического включения резерва КТП системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$t_{\text{ABP КТП}} = t_3 + t_{\text{сз}} + \Delta t; \quad (115)$$

$$t_{\text{ABP КТП}} = 0,1 + 0,5 + 0,5 = 1,1 \text{ с};$$

где  $\Delta t$  – выдержка времени работы устройства автоматического включения резерва КТП, 0,5 с;



$t_{c3}$  – время подачи сигнала на срабатывание автоматического выключателя на стороне НН КТП, 0,5 с;

$t_3$  – время отключения автоматического выключателя на стороне НН КТП, 0,1 с.

Напряжение срабатывания пускового органа устройства автоматического включения резерва на ПС Металлист считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$U_{с.з.ПС}=(0,25\div 0,40)\cdot U_{ном\ НН\ ПС}; \quad (116)$$

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

где  $U_{ном\ НН\ ПС}$  – номинальное напряжение на стороне НН ПС Металлист, 10 кВ.

Выдержка времени срабатывания устройства автоматического включения резерва ПС Металлист считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$t_{ABP\ КТП}= t_{MT3} + t_{c3} + \Delta t; \quad (117)$$

$$t_{ABP\ КТП}= 1,0+0,045+0,5=1,545\text{ с};$$

где  $\Delta t$  – выдержка времени работы устройства автоматического включения резерва ПС, 0,5 с.

$t_{c3}$  – времени срабатывания выключателя на стороне НН ПС Металлист, 0,045 с.

## 8 ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 10/0,4 кВ

Стационарное сопротивление одного вертикального электрода заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле [22], используемой для подобных расчётов:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (118)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{50}{\pi \cdot 2 \cdot 4} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 0,2 + 4)}{0,01 \cdot (4 \cdot 0,2 + 4)} \right] = 15 \text{ Ом},$$

где  $l_B$  - длина вертикального электрода, м;

$h_3$  - глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{\text{грунт}}$  - удельное сопротивление грунта в районе выполнения заземления города Благовещенск, по [22] для неводоносных песков 50 Ом·м;

$d$  - диаметр электродов, 0,01 м.

Стационарное сопротивление одного горизонтального электрода заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[ \frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (119)$$

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

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

Полное стационарное сопротивление заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_G \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (120)$$

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

где  $\eta$  - коэффициент использования сложного заземлителя, учитывающий ухудшение растекания тока молнии из-за взаимного экранирования, 0,75;

$n_B$  - число вертикальных электродов;

$n_G$  - число горизонтальных электродов.

Проверка условия по электробезопасности заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 определяется по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$R \leq R_{\text{норм}}; \quad (121)$$

$$2,1 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом};$$

где  $R_{\text{норм}}$  - нормируемое стационарное сопротивление заземлителей электроустановок, 4 Ом.

Импульсное сопротивление одного вертикального электрода заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (122)$$

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

где  $\alpha_{uB}$  - импульсный коэффициент вертикального электрода, 1.

Удельная индуктивность горизонтального электрода заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$L_O = 0,2 \cdot \left( \ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (123)$$

$$L_O = 0,2 \cdot \left( \ln \frac{7,5}{0,005} - 0,31 \right) = 1,4 \text{ мкГн/м}.$$

Импульсный коэффициент горизонтального электрода заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$\alpha_{uГ} = 1 + \frac{L_O \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{ЭГ}}, \quad (124)$$

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

где  $\tau_\phi$  - длительность фронта тока молнии 2 мкс.

Импульсное сопротивление горизонтального электрода заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$R_{uГ} = \alpha_u \cdot R_{ЭГ}; \quad (125)$$

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

Полное импульсное сопротивление заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})} ; \quad (126)$$

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

Проверка условия по молниезащищенности заземления КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 определяется по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$R_{и} \leq R_{\text{норм и}} ; \quad (127)$$

$$1,2 \text{ Ом} \leq 9 \text{ Ом};$$

где  $R_{\text{норм и}}$  - нормируемое импульсное сопротивление заземлителей электроустановок, 9 Ом [31].

По результатам расчётов заземлителя КТП-1 системы электроснабжения квартала 346 города Благовещенск получены параметры эффективно работающего заземлителя с точки зрения молниезащищенности и электробезопасности:

- диаметр и количество вертикальных электродов: 0,01x4 шт;
- диаметр и количество горизонтальных электродов: 0,01x2 шт;
- удельное сопротивление грунта: не более 50 Ом·м;
- длина горизонтальной полосы: 7,5 м.

## 9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

Проводимые объёмы работ по сооружению системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ выбранного района города Благовещенск должны быть выполнены с учётом условий безопасности работников, делающих соответствующий монтаж кабельных линий 10-0,4 кВ, трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, распределительного устройства подстанции «Металлист» 35/10 кВ.

К рассчитываемым показателям экологичности данной выпускной квалификационной работы относятся параметры маслоприёмника КТП 10/0,4 кВ и площадь отводимых земель во временное и постоянное пользование при прокладке КЛ 10-0,4 кВ и сооружении КТП 10/0,4 кВ.

В качестве мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций будут приведены меры пожарной безопасности при пожаре на маслонаполненных трансформаторах.

### 9.1 Безопасность

Работы по сооружению системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск осуществляются при соблюдении мер безопасности [28]. Наибольший объём работ при устройстве системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск ожидается по прокладке кабельных линий в траншеях, поэтому актуально указать меры безопасности при работе с КЛ.

Перед тем, как приступить к устройству траншей кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск проводится процедура письменного всестороннего согласования карты кадастрового учёта района и планируемых мест прокладки кабельных линий 10-0,4 кВ, должны быть согласованы схемы прокладки кабелей со всеми собственниками инженерных сетей, находящихся на территории квартала 346 города Благовещенск – электрические сети, сети связи, газопроводы, водопроводы. Если в установленный срок не проводится письменного согласования со всеми хозяйствующими субъектами инженерных сетей, то приступать к работам по устрой-

ству траншей кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск запрещено, проводится перенос даты согласования трасс прокладки кабелей. Все планируемые элементы системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск должны быть подробно указаны на схеме для согласования с указанием охранных зон, глубины прокладки и иных технических характеристик сооружаемых элементов системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск. Факты обнаружения опасных или бесхозных объектов при проведении земляных работ отражаются в ведомости проведения работ и подлежат фиксации в соответствующих журналах учёта при этом все проводимые земляные работы прекращаются.

Работы по рытью траншей механизмами и специальным оборудованием в пределах 1 м от трасс прокладки действующих кабельных линий запрещены, работы по рытью траншей вскрышным оборудованием с большой зоной воздействия на земельный слой в пределах 5 м от трасс прокладки действующих кабельных линий запрещены. При этом в случае, если достигнута глубина в 30 см до предполагаемого места укладки кабеля или другого инженерного сооружения работы с использованием механизмов и оборудования должны быть прекращены, так как дальнейшая разработка грунта допускается только ручным способом для контроля целостности извлекаемого объекта. При выполнении вскрышных работ на существующих кабелях и инженерных сооружениях квартала 346 города Благовещенск присутствуют представители собственника объектов. В холодное время года разрешается использование устройств отогрева грунта при расстоянии от нагревательного оборудования до грунта не менее 15 см [28].

Все используемые места для проведения работ – котлованы, траншеи, ямы – оборудуются ограждением и обозначаются соответствующими предупреждающими знаками и надписями по требованиям СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования», для темного времени суток используется сигнальное освещение.

Приступать к работам по устройству траншей кабелей системы электро-снабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск в сла-бом или влажном грунте запрещено до тех пор, пока не будет оборудовано укрепление и не будет устранена угроза обвала стен траншеи. Работы в грунте, имеющим большую долю песков допускается проводить без укрепления стен траншей в случае, если вынимаемый грунт располагается приближенно к углу естественного откоса грунта.

Проектируемая глубина залегания трассы кабелей системы электроснаб-жения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск 0,7 м, при такой глубине залегания кабелей в насыпных песчаных и крупнообломочных грунтах допускается вести работы при отсутствии грунтовых вод и при отсут-ствии расположенных поблизости подземных сооружений, поэтому траншеи кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 го-рода Благовещенск устраиваются машинным способом с вертикальными стен-ками без крепления. В соответствии со способом устройства траншей спуск ра-ботников по монтажу кабелей в траншеи не разрешается. Необходимые места спусков работников по монтажу кабелей в траншеи укрепляются или оборуду-ются откосы. В холодное время года работы в траншеях без укрепления откосов допускается проводить на глубине промерзания грунта.

В тех случаях, когда фактическое состояние траншеи после разработки грунта не соответствует проектному для трассы кабелей системы электроснаб-жения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск монтируют-ся с вертикальные стенки, закрепленные на всю высоту траншеи.

План производства работ для укладки трассы кабелей системы электро-снабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск должен иметь в своём составе места перемещения лебедок, оборудования, материалов и других весов, способных вызвать обрушение стенок устроенных траншей, то есть размещение весов, давящих на грунт разрешено за пределами траншеи на расстоянии не менее 1,5 м [28]. Места монтажа кабельных муфт открытым спо-собом должны быть устроены таким образом, чтобы крепёж короба монтажа



муфты не был в подвешенном состоянии или был соединен с нетехнологическими укреплениями в траншее. С монтажной стороны короба муфты должна быть оборудована съемная стенка без применения гвоздей и иного крепежа.

Монтаж кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск не допускается с подвешиванием к ним иных кабелей или устройств не в соответствии с технологией выполнения работ.

Кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск не допускается оставлять в открытом виде, при этом для сокрытия кабелей монтируются короба и устанавливаются плакаты безопасности «Стой! Напряжение».

Перед разрезанием кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск и вскрытием кабельных муфт проводятся мероприятия по однозначной оценке соответствия планируемого к работам кабеля фактически находящемуся в траншее, кабель при этом отключается.

Все кабели системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск укладываются в строгом соответствии с чертежами и схемами укладки, оборудуются бирками и подписываются читаемыми техническими надписями для дальнейшей безошибочной работы на кабелях.

Поиск кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск выполняется электронным аппаратом для поиска кабелей. А также для проверки отсутствия напряжения используется специальный инструмент с изолирующей штангой и стальной иглой, при этом изоляция кабеля закрывается экраном в месте прокола оболочки. Подобные работы осуществляют два работника, функция одного из них состоит выполняет надзор, другой осуществляет прокол, оба находятся на изолирующей поверхности.

Работы по прокладке кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск выполняются при полной оснастке работников спецодеждой, диэлектрическими перчатками и средствами защиты лица и глаз.

Если в результате повреждений кабеля системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск открыты все токоведущие жилы, то процесс проверки отсутствия напряжения выполняется без прокола кабеля.

Работы по проколу кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск прокалывающим приспособлением выполняются при его заземлении таким образом, чтобы заземлитель был заглублен в грунт не менее чем на 0,5 м.

Проколы в местах укладки кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск допускается не делать, если кабели снабжены в полной мере бирками и указателями, проверены кабелеискательным аппаратом, проложены так, что точно можно утверждать факт отсутствия напряжения на кабеле или муфте. Работы на кабелях без их прокалывания разрешены только заземленным инструментом в диэлектрических перчатках, надев средства защиты лица и глаз, стоять при этом допустимо на изолирующем основании. После выполнения предварительного прокола кабелей системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск те же операции на кабеле допускается выполнять без дополнительных мер безопасности.

## **9.2 Экологичность**

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассчитываются параметры маслоприёмника КТП 10/0,4 кВ и площадь отводимых земель во временное и постоянное пользование при прокладке КЛ 10-0,4 кВ и сооружении КТП 10/0,4 кВ.

### **9.2.1 Устройство маслоприёмника**

В системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск используются отдельно стоящие здания КТП, в которых располагаются маслonaполненные силовые трансформаторы 10/0,4 кВ марки ТМ. Для трансформаторов номинальной мощностью 1000 кВА по каталогу завода-изготовителя предусмотрена масса трансформаторного масла в баке 750 кг [30].

В связи с этим, под силовым отсеком КТП с трансформаторами марки ТМ-1000/10/0,4 должны быть предусмотрены маслоприёмники, способные удерживать полный объём масла, так как масса масла превышает 600 кг [31].

Рассчитывается маслоприёмник без отвода масла для трансформатора ТМ-1000 заглубленной конструкции.

Площадь маслоприёмника для трансформатора ТМ-1000/10 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$S_{МП} = (A + 2 \cdot \delta) \cdot (B + 2 \cdot \delta), \quad (128)$$

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

где  $A$  - габаритная длина трансформатора по каталогу 2,1 м [30];

$B$  - габаритная ширина трансформатора по каталогу 1,4 м [30];

$\delta$  - расстояние, на которое габариты маслоприёмника должны выступать за габаритные размеры трансформатора по каждой стороне, 0,2 м [31].

Объём трансформаторного масла трансформатора ТМ-1000/10 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$V_{TM} = \frac{M}{\rho_{TM}}, \quad (129)$$

$$V_{TM} = \frac{750}{890} = 0,84 \text{ м}^3,$$

где  $M$  - масса масла по каталогу 750 кг [30];

$\rho_{TM}$  - плотность трансформаторного масла,  $890 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Высота маслоприёмника под трансформаторное масло для трансформатора ТМ-1000/10 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$h_{TM} = \frac{V_{TM}}{S_{МП}}; \quad (130)$$

$$h_{TM} = \frac{0,84}{4,5} = 0,19 \text{ м.}$$

Полная высота маслоприёмника для трансформатора ТМ-1000/10 системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$h_{МП} = h_{TM} + 0,25 + 0,05 + 0,075; \quad (131)$$

$$h_{МП} = 0,19 + 0,25 + 0,05 + 0,075 = 0,56 \text{ м.}$$

Требования [31] к маслоприёмникам без отвода масла соблюдаются, так как проектируемый маслоприёмник закрыт металлической решеткой, на которой располагается слой чистого гравия 0,25 м высотой. Металлическая решетка находится выше на 0,05 м поверхности полного объёма трансформаторного масла в маслоприёмнике. Верхний уровень используемого гравия на металлической сетке под трансформатором расположен на 0,075 м ниже воздухоподводящего вентиляционного канала.

Для того, чтобы убрать трансформаторное масло из маслоприёмника используются передвижные средства. На боковых поверхностях маслоприёмника оборудованы размеченные шкалы-указатели уровня масла в маслоприёмнике. Внутренняя поверхность маслоприёмника трансформатора ТМ-1000/10 защищена маслостойким покрытием.

Эскиз маслоприёмника представлен на рисунке 8.

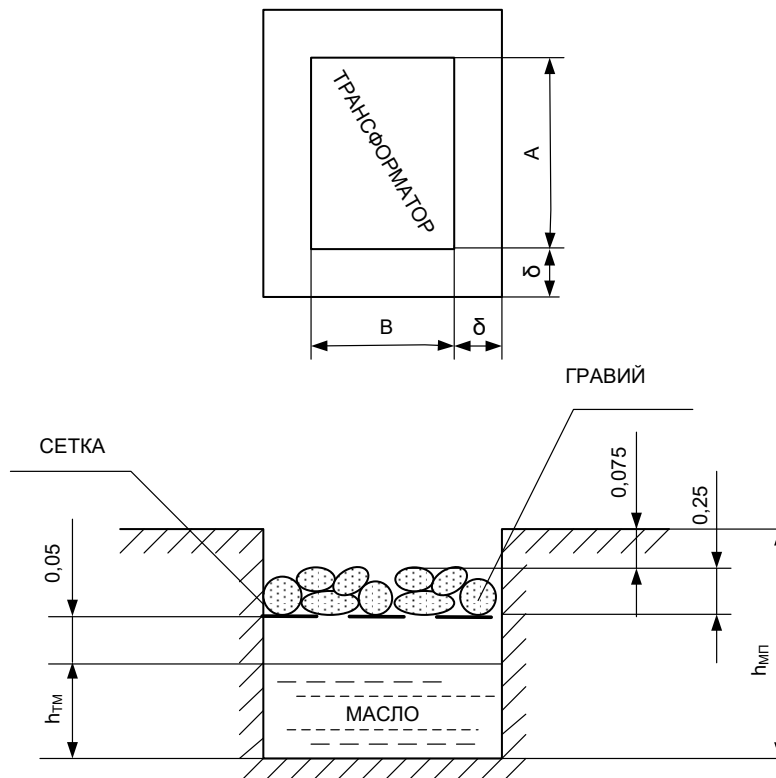


Рисунок 8 - Эскиз маслоприёмника

В итоге выполнения расчётов получены следующие параметры маслоприёмника трансформатора ТМ-1000/10: длина – 2,5 м, ширина - 1,8 м, высота 0,56 м.

#### 9.2.2 Отвод земель под электрические сети

В системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск используются КТП в количестве 7 шт, а также предусматривается прокладка кабелей 0,4 кВ общей протяженностью 3350 м и кабелей 10 кВ общей протяженностью 14100 м.

Площадь земель, подлежащих отводу в постоянное пользование под трансформаторные подстанции системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$S_{ПП} = S_{ТП2} \cdot n_{ТП2}; \quad (132)$$

$$S_{ТПП} = 80 \cdot 7 = 560 \text{ м}^2;$$

$$S_{ПП} = S_{ТПП}; \quad (133)$$

$$S_{ПП} = 560 \text{ м}^2;$$

где  $S_{ТП2}$  - площадь земли, отводимая под двухтрансформаторную ТП, 80 м<sup>2</sup> [32];

$n_{ТП2}$  - количество двухтрансформаторных ТП, шт.

Отвод земель во временное пользование производится для строительства кабельных линий системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск.

Площадь земель, подлежащих отводу во временное пользование под кабельные линии системы электроснабжения квартала 346 считается по формуле, используемой для подобных расчётов:

$$S_{КЛ} = (L_{КЛ10кВ} + L_{КЛ0,4кВ}) \cdot L_{полосы}, \quad (134)$$

$$S_{КЛ} = (14100 + 3350) \cdot 6 = 104700 \text{ м}^2;$$

$$S_{ВП} = S_{КЛ}, \quad (135)$$

$$S_{ВП} = 104700 \text{ м}^2;$$

где  $L_{КЛ0,4кВ}$  - общая протяженность кабелей 0,4 кВ системы электроснабжения квартала 346, 3350 м;

$L_{КЛ10кВ}$  - общая протяженность кабелей 10 кВ системы электроснабжения квартала 346, 14100 м;

$L_{полосы}$  - ширина полосы земли отчуждения, 6 м [32].

В итоге выполнения расчётов получены следующие показатели по отводу земель во временное пользование - 104700 м<sup>2</sup>, в постоянное пользование - 560 м<sup>2</sup>.

### 9.3 Чрезвычайные ситуации

При оборудовании кабелей трансформаторов 10/0,4 кВ системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск работники и эксплуатационный персонал обязаны руководствоваться правилами пожарной безопасности [33].

Процесс горения в электроустановках представляется как совокупность физических и химических реакций, в основе которых лежит быстропротекающая реакция, согласно химическим принципам реакция окисления сопровождается выделением большого количества тепла и лучистой энергии или света. По статистике при большом числе пожаров основой горения являются реакции соединения горючих веществ с кислородом, который поглощается при реакции из воздуха в зоне возгорания. Реже, при горении некоторых других материалов, горение происходит за счет кислорода, который поглощается из молекулы горючего вещества, выступающим в роли окислителя. Скорость протекания реакции горения определяется агрегатным состоянием горючих веществ, степенью их возможно смешиваемости и окисляемостью, удельным количеством негорючих компонентов, присутствием катализаторов или ингибиторов реакции. Высокая степень горючести вещества зависит от степени размельченности или степени распыленности веществ. Реакция горения может возобновиться не только при совмещении горючего вещества с окислителем и открытым пламенем, но и при иных случаях [34].

При тушении пожаров на кабелях и трансформаторах системы электроснабжения напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск выполняются регламентированные действия подразделений пожарной охраны и при-

даваемых им сил. Процесс тушения сопровождается химическим торможением реакции горения и использованием технических средств пожаротушения.

Тушение пожаров на кабелях 10 кВ и трансформаторах системы электропитания напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск производится компактными и распыленными струями без снятия напряжения только в случае, если ствольщик в полной мере обзревает процесс подачи воды для тушения электроустановки и горящих кабелей. Интенсивность подачи воды в зону горения и способ образования струй воды определяется в зависимости от условий пожаротушения начальником отряда по тушению пожара.

Организационные мероприятия по предотвращению пожаров на кабелях 10 кВ и трансформаторах системы электропитания напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск включают в себя ознакомление с правилами пожарной безопасности, противопожарные инструктажи и занятия по пожарно-техническому минимуму.

Контроль за исправностью маслонаполненных трансформаторов 10/0,4 кВ системы электропитания напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск осуществляется проводимыми осмотрами, по результатам которых делаются записи об отсутствии течи масла и его текущем уровне.

Меры пожарной безопасности при монтаже системы электропитания напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск должны соблюдаться всеми работниками, выполняющими соответствующие работы в электроустановках, при этом запрещено проведение огневых работ внутри зданий КТП, запрещено проведение огневых работ вне зданий КТП без обеспечения средствами пожаротушения персонала, запрещено использование на работах в здании КТП огнеопасных, взрывоопасных и горючих материалов.

При пожаре во время монтажа системы электропитания напряжением 10 - 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск бригада немедленно приступает к тушению пожара, используя при этом все имеющиеся средства и в случае неэффективности тушения пожара своими силами информация о пожаре передается в пожарную охрану.



Тушение пожаров и аварийно-спасательные работы в системе электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск проводятся в том случае, если система обесточена. Далее проводится заземление электроустановок при пожаре на них, заземление выполняется работниками, занятыми на эксплуатации такого оборудования и имеющими допуск к работе.

Тушение пожаров и аварийно-спасательные работы в системе электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск с выдачей письменного разрешения на отключение электроустановок выполняется при помощи пожарных стволов, которые заземляются личным составом пожарной охраны, задействованным в тушении пожара. План тушения пожара согласуется и утверждается эксплуатирующей организацией, в плане содержится информация о порядке взаимодействия технического персонала системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск с личным составом пожарной охраны, в том числе места заземления пожарных стволов.

Руководитель тушения пожара в системе электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск после осуществления инструктажа участников тушения пожара техническим персоналом, создания условий визуального контроля за электроустановками даёт разрешение приступить к процессу тушения незамедлительно [35].

Степень оснащения подразделений пожарной охраны должна быть в полном объёме, а именно ручные пожарные стволы с регулируемым расходом и геометрией струи должны быть в наличии и испытаны для использования, диэлектрические перчатки, боты, специальная защитная одежда пожарного.

Пожары в системе электроснабжения напряжением 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск, находящимся под напряжением, разрешается тушить распыленными струями воды, подача которых осуществляется из заземленных ручных пожарных стволов, удаление при этом должно быть не менее 5 м.

В целях безопасности личного состава пожарной охраны при тушении ими пожара в системе электроснабжения напряжением 0,4 кВ квартала 346 го-

рода Благовещенск не разрешается самостоятельно производить отключения и прочие операции с электрическими аппаратами, находится в сильно задымленных помещениях, если видимость составляет менее 5 м, использовать в качестве огнетушащего вещества морскую воду или аналогичные по составу вещества.

Учения на случай пожара на выведенном в ремонт оборудовании в системе электроснабжения напряжением 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск проводятся не реже одного раза в год с привлечением личного состава пожарной охраны. Во время учений отрабатывается расстановка сил и средств, маршруты безопасного движения к очагу горения, маршруты безопасного движения к местам заземления, порядок подключения стволов к заземляющему контуру в том числе без задействования оперативного персонала электроустановок, прокладка рукавной линии до позиции ствольщика [35].

По завершении учений на случай пожара на выведенном в ремонт оборудовании в системе электроснабжения напряжением 0,4 кВ квартала 346 города Благовещенск личным составом пожарной охраны перекрывается условная подача средств пожаротушения, стволы отключаются от заземляющего контура и заземляющих устройств, осуществляется отход с позиций по безопасным маршрутам, согласованным с руководителем тушения пожара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно генеральному плану застройки города Благовещенска, восточный район подлежит многоэтажной застройке различными застройщиками. На перспективу взяты в рассмотрение проектные декларации действующих застройщиков. Актуальность выполненных расчётов заключается в необходимости иметь планы питающих сетей 0,4-10 кВ для электроснабжения потребителей данного района.

Проектирование выполнено при помощи программных средств и ПЭВМ.

Основные итоги расчётов, нашедших отражение в соответствующих пунктах пояснительной записки:

- определение нагрузки потребителей в сети НН и ВН;
- выбор схемы подключения потребителей к ТП-10/0,4 кВ;
- выбор проводников 0,4-10 кВ и их проверка по потере напряжения и устойчивости к токам КЗ;
- для ПС «Металлист» выбраны аппараты КРУ-10 кВ и проверены по устойчивости к токам КЗ
- выбраны уставки и выдержки времени РЗиА;
- определены стационарное и импульсное сопротивления заземлителя для соответствия требованиям ПУЭ;
- определены размеры маслоприёмника для отвода масла, определена площадь отводимых земель, рассмотрены меры безопасности при пожаре в электроустановках.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Официальный сайт Администрации города Благовещенск [Электронный ресурс]. – URL: [http://old.admblag.ru/administration/public\\_auditions/genplan/](http://old.admblag.ru/administration/public_auditions/genplan/) / (дата обращения: 10.04.2023).
- 2 Официальный сайт Администрации Президента России – Перечень поручений по итогам встречи с руководителями регионов Дальнего Востока 2022 год [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/61916>-(дата обращения: 10.04.2023).
- 3 Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.385-94.
- 4 Официальный сайт ЗАО «ФОРСА» [Электронный ресурс]. – URL: <http://forca.ru/stati/podstancii/vyklyuchatel-vakuumnyy-trehfaznyy-vv-tel.html> - (дата обращения: 10.04.2023).
- 5 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введён 2014-07-01. – М. : Изд-во Стандартиформ. – 2014.
- 6 Официальный сайт ЗАО «ВЭК» [Электронный ресурс]. – URL: <http://tol-10.zaovesc.ru/params.php> -(дата обращения: 10.04.2023).
- 7 Судаков, Г. В. Энергосбережение в системах электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140211 - Электроснабжение / Г. В. Судаков ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 376 с. - Б. ц.
- 8 Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 326
- 9 Эксплуатация систем электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140211 - Электроснабжение / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А.

Г. Ротачева, Д. Н. Панькова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 156 с.

10 Электроснабжение объектов [Текст] : учеб. пособие для СПО / Е. А. Конюхова. - 9-е изд., испр. - М. : Академия, 2013. - 320 с. : рис., табл. - (Среднее проф. образование. Электротехника). - Библиогр. : с. 311

11 Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст] : учеб. : рек. Мин. обр. РФ / В. А. Андреев. - 6-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2008. - 640 с. : рис. - Предм. указ. : с. 621 . - Библиогр. : с. 625 . - ISBN 978-5-06-004826-1

12 Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / В. А. Андреев. - М. : Высш. шк., 2008. - 253 с. : рис., табл. - (Для высших учебных заведений. Электротехника). - Библиогр. : с. 248 . - ISBN 978-5-06-005828-4

13 Судаков, Г. В. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учеб. пособие: учеб.-метод. комплекс для спец. 140204, 140205, 140203 / Г. В. Судаков, Т. Ю. Ильченко, Н. С. Бодруг ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 364 с. - Б. ц

14 Кужеков, С. Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 4-е изд., доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. - 493 с. : рис., табл. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480.

15 Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014 - ., Ч. 1. - 2014. - 106 с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7123.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7123.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

16 Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : сб.-учеб. метод. материалов для направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост.: Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 182

с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/9662.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9662.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

17 Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : метод. указания к курс. проектированию для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Ю. В. Мясоедов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 100 с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7475.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7475.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

18 Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2014. - 192 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 154 .

19 Мясоедов, Ю. В. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7366.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

20 Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей : справочник / Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

21 Савина Н. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс дисц. для спец. 140211.65 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. В. Савина . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 124 с. – Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/6056.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6056.pdf) (дата обращения: 10.05.2023).

22 Савина Н. В. Техника высоких напряжений. Грозовые перенапряжения и защита от них [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 191 с. - Режим доступа:

[http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7361.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7361.pdf) (дата обращения: 10.05.2023).

23 Козлов А. Н. Диагностика электрооборудования высокого напряжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Козлов ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 44 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/6925.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6925.pdf) (дата обращения: 24.05.2023).

24 Ротачева А. Г. Проектирование устройств релейной защиты [Электронный ресурс] : метод. указ. для самостоят. работы студентов: учеб. пособие / А. Г. Ротачева ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 28 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7050.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7050.pdf) (дата обращения: 24.05.2023).

25 Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем [Текст] : учеб. пособие : доп. УМО / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. - 2-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2010. - 336 с. + 2 л. - Библиогр. : с. 325.

26 Киреева Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) [Текст] / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев. - 2-е изд., стер. - Москва : КНОРУС, 2013. - 864 с. : табл. - Библиогр.: с. 860-862.

27 Приказ №224-пр/э от 19.12.2022 «Об установлении единых (котловых) тарифов на услуги по передаче электрической энергии по сетям территориальных сетевых организаций Амурской области на 2023 год».

28 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499037306>

29 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.

30 Официальный сайт ЗАО «Технолог» [Электронный ресурс]. – URL: <http://zao-tehnolog.ru/page457748> (дата обращения: 10.04.2023).

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

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

33 Приказ Минтруда России от 11.12.2020 N 881н "Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны" (Зарегистрировано в Минюсте России 24.12.2020 N 61779)

34 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. - М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. - 116 с.

35 РД 34.12.202 (И 34-00-012-84) Инструкция по организации противопожарных тренировок на энергетических предприятиях и в организациях