

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

« _____ » _____ 2025 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование системы электроснабжения напряжением 6 и 0,4 кВ
для строящегося микрорайона «Новый квартал» города Артём Приморского
края

Исполнитель

студент группы 142-узб

подпись, дата

К.Д. Бондарев

Руководитель

доцент

подпись, дата

А.Г. Ротачева

Консультант по

безопасности и

экологичности

доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2025

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

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина
« _____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента К.Д. Бондарев

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы электроснабжения напряжением 6 и 0,4 кВ для строящегося микрорайона «Новый квартал» города Артём Приморского края

(утверждена приказом от 10.04.2025г. № 950-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: эквивалентная схема существующих электрических сетей, однолинейная схема ПС Заводская, загрузка центров питания города Артём, контрольный замер по электрическим сетям 35-110 кВ города Артём

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика проектируемого района, определение нагрузки сети 0,4 кВ, определение нагрузки сети 6 кВ, расчёт токов короткого замыкания в сети 6-0,4 кВ, выбор и проверка аппаратов в сети 0,4 кВ, выбор и проверка аппаратов в сети 6 кВ, выбор и проверка оборудования в центре питания, релейная защита и автоматика, заземление трансформаторной подстанции

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): графическая часть – 6 листов формата А1

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

7. Дата выдачи задания _____ 19.03.2025 _____

Руководитель выпускной квалификационной работы: __доцент, Ротачева А.Г. __

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

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 115 с, 9 рисунков, 43 таблицы, 145 формул, 35 источников.

РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА, СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКИ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ПЕТЛЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ДВУХЛУЧЕВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КОМПЛЕКТНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ТРАНСФОРМАТОР ТОКА, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ НАГРУЗКИ, ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ, ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ, КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ.

Цель – получить характеристики системы электроснабжения напряжением 6 и 0,4 кВ для строящегося микрорайона Новый квартал города Артём на основе имеющихся исходных данных.

В результате рассмотрения возможности подключения к существующим центрам питания города Артём выбран оптимальный вариант подключения кабельными линиями.

К полученным результатам относятся параметры кабельных линий 6 и 0,4 кВ, для которых рассчитаны рабочие токи и токи короткого замыкания, параметры КТП и основного электротехнического оборудования, используемого для электроснабжения потребителей жилого комплекса Новый квартал в городе Артём. Выбраны устройства релейной защиты и автоматики. Результаты расчётов могут применяться при проектировании с учётом окончательных планировочных решений жилого комплекса Новый квартал.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика проектируемого района	9
2 Определение нагрузки сети 0,4 кВ	13
2.1 Определение нагрузки жилых зданий	13
2.2 Определение нагрузки общественных зданий	18
2.3 Определение нагрузки питающих кабелей 0,4 кВ	19
2.4 Определение сечения и марки кабелей 0,4 кВ	23
2.5 Нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП	25
2.6 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ ТП	28
3 Определение нагрузки сети 6 кВ	30
3.1 Определение мощности трансформаторов ТП	30
3.2 Определение нагрузки линий 6 кВ	35
3.3 Определение сечения и марки кабелей 6 кВ	39
3.4 Оптимальная конфигурация сети 6 кВ	44
4 Расчёт токов короткого замыкания в сети 6-0,4 кВ	48
4.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 6 кВ	48
4.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ	51
5 Выбор и проверка аппаратов в сети 0,4 кВ	55
5.1 Линейные автоматические выключатели	55
5.2 Вводные автоматические выключатели	57
5.3 Рубильники	59
5.4 Кабели	60
6 Выбор и проверка аппаратов в сети 6 кВ	62
6.1 Предохранители	62
6.2 Выключатели нагрузки	64
7 Выбор и проверка оборудования в центре питания	68
7.1 Выбор и проверка силовых трансформаторов в центре питания	68

7.2 Компенсация реактивной мощности	71
7.3 Компенсация емкостных токов	71
7.4 Выбор и проверка КРУ	72
7.5 Выбор и проверка выключателей 6 кВ	74
7.6 Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ	76
7.7 Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 кВ	78
7.8 Выбор и проверка предохранителей для защиты ТН	79
7.9 Выбор и проверка изоляторов	80
7.10 Выбор и проверка токоведущих частей КРУ	81
7.11 Выбор и проверка ОПН	83
7.12 Выбор и проверка трансформаторов тока нулевой последовательности 6 кВ	84
8 Релейная защита и автоматика	86
8.1 Токовая отсечка без выдержки времени.	86
8.2 Максимальная токовая защита линий	87
8.3 Защита от однофазных замыканий на землю	89
8.4 Устройства автоматического включения резерва	89
9 Заземление трансформаторной подстанции	91
10 Безопасность и экологичность	95
10.1 Безопасность	95
10.2 Экологичность	100
10.3 Чрезвычайные ситуации	103
Заключение	110
Библиографический список	111

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;

ВРУ – вводное распределительное устройство;

ЗНЗ – защита от замыкания на землю;

КЗ – короткое замыкание;

КЛ – кабельная линия;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ОПН – ограничитель перенапряжений нелинейный;

ПС – подстанция силовая;

РЗ - релейная защита;

РЗиА – релейная защита и автоматика;

ТО – токовая отсечка;

ТП – трансформаторная подстанция.

ВВЕДЕНИЕ

Современный жилой комплекс Новый квартал в южной части города Артём является масштабным проектом комплексной квартальной застройки, в состав которой входят 12 домов, общая площадь квартир - 139 586 м². Район обладает хорошо развитой транспортной сетью и инфраструктурой [1].

Особенности развития застройки южной части города Артём состоит в том, что новые жилые комплексы сооружаются на территориях, отдаленных от центральной части города, при этом плотность городской застройки по мере удаления от центральной части города снижается и не всегда есть возможность выполнить подключение жилых районов к системе электроснабжения без существенных затрат на модернизацию центров питания. При составлении мастер-плана развития города Артём на период до 2030 года учитывался район застройки, расположенный в южной части города на границе с городом Владивосток. Данный район жилой застройки необходимо будет подключить к системе электроснабжения города Артём с учётом полученных результатов расчёта нагрузок района на перспективу развития.

Оценка целесообразности выбранной темы работы даётся с точки зрения необходимости подключения планируемого района застройки на ближайшую перспективу, ввиду того, что рассматриваемый район города Артём развивается и продолжается его застройка.

Основанием для разработки темы работы считается отсутствие в непосредственной близости от строящегося микрорайона «Новый квартал» города Артём центров питания в виде ТП 6/0,4 кВ, от которых возможно организовать электроснабжение потребителей района застройки. В данной работе проектируются ТП 6/0,4 кВ и подключаются к существующим центрам питания, удалённым на минимальное расстояние.

Актуальность работы – потребность в подключении к централизованной системе электроснабжения крупного района городской застройки города Артём.

Исходными данными для разработки темы работы являются план застройки местности [1], ограниченной улицами 50 лет октября – Мандельштама города Артём, однолинейная схема ПС Заводская 35/6 кВ, данные контрольного замера за 2022-2024 год [2].

При выборе оборудования проектируемой системы электроснабжения города Артём использован стандартный ряд номинальных напряжений оборудования, что обеспечивает возможность его приобретения и поставки в кратчайшие сроки без использования зарубежных комплектов.

По мере проводимых расчётов электрических нагрузок потребителей жилых зданий использованы удельные нагрузки, зависящие от количества квартир в доме, дополнительно рассчитаны нагрузки силовых потребителей электродвигателей водоснабжения и лифтовых установок, на заключительном этапе расчётов нагрузок учтены нагрузки встроенных в жилые дома потребителей.

Выбор конфигурации сети 0,4 кВ выполнен с учётом требований потребителей к надёжности электроснабжения. Использована двухлучевая схема прокладки кабелей, которая в дальнейшем проверена по допустимой потере напряжения.

Выполнен расчёт токов КЗ и выбраны защитные аппараты в сети 0,4-6 кВ, а также проверены по чувствительности и стойкости к токам КЗ.

Для защиты проектируемых КЛ-6 кВ использована трёхступенчатая токовая защита, защита от замыканий на землю на базе микропроцессорных терминалов СИРИУС-2Л.

В работе приводятся меры безопасности при проведении различных работ в ЗРУ ПС Заводская, рассчитана площадь отвода земель под КТП и КЛ.

В процессе разработки работы широко использовалась ПЭВМ с лицензионным ПО серии Microsoft Office, приложение Mathtype, ПО серии Mathcad.

Графическая часть выполнена на 6 листах формата А1.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТИРУЕМОГО РАЙОНА

Климат города Артёма характеризуется как умеренный муссонный, с чертами континентального. Зимний период продолжительный, снег держится в среднем 98 дней. Средняя температура в зимнее время колеблется от -10°C в декабре до -12°C в феврале. Среднесуточная температура колеблется в пределах 0°C . Невысокие температуры сочетаются с высокой влажностью воздуха — 88—95 % [1].

Население 108 274 человек по результатам переписи на 2025 год, занятость населения 64%. Объём промышленного производства крупными и средними предприятиями составляет 9731,9 млн руб.

На основе региональных карт климатического районирования Приморского края формируется сводная таблица 1.

Таблица 1 – Таблица климатических параметров города Артём

Используемая характеристика	Единица измерения	Численное значение
Расчетный район по ветровой нагрузке	Цифровое обозначение	IV
Расчетный район по гололедной нагрузке	Цифровое обозначение	III
Нормативная толщина стенки гололеда повторяемостью 1 раз в 25 лет	мм	20
Абсолютный максимум температуры воздуха	$^{\circ}\text{C}$	+ 36,6
Абсолютный минимум температуры воздуха	$^{\circ}\text{C}$	- 31,1
Средний суточный минимум температуры воздуха	$^{\circ}\text{C}$	+ 0,9
Средний суточный максимум температуры воздуха	$^{\circ}\text{C}$	+ 10,1
Среднегодовая температура воздуха	$^{\circ}\text{C}$	5,3
Средняя годовая продолжительность гроз	час	14
Норма осадков за год	мм	588
удельное сопротивление грунта (неводоносные пески с примесью глины)	Ом·м	80-200

В городе Артём проектируемый микрорайон является перспективной масштабной застройкой, включающая в себя 2 квартала многоквартирных до-

мов, монолитные жилые дома и комплексы, детский садик, поликлинику, школу (рисунок 1).



Рисунок 1 – Расположение жилого комплекса Новый квартал в г. Артёме

Проектируемый район новой застройки располагается в южном районе города Артём, непосредственно граничащем с городом Владивосток. Характерная особенность рельефа местности не позволяет осуществлять проектирование комплексной застройки более 1 квартала ввиду высокой плотности городской застройки.

Перечень строящихся объектов и известными характеристиками указан в таблице 2.

Таблица 2 – Строящиеся объекты жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Объект	Ед. изм.	Количество квартир	Встроенный объект	Площадь, м ²
кирпичный жилой дом	кв	200		
кирпичный жилой дом	кв	150		
кирпичный жилой дом	кв	184	магазин	1000
кирпичный жилой дом	кв	184	офисы	1000
школа	мест	825		
поликлиника	мест	400		
Детский сад	мест	240		

По существующей системе электроснабжения 110-35 кВ района города Артём выделяются 3 потенциально возможных источника питания, ближе всего расположенные к району застройки, рисунок 2.

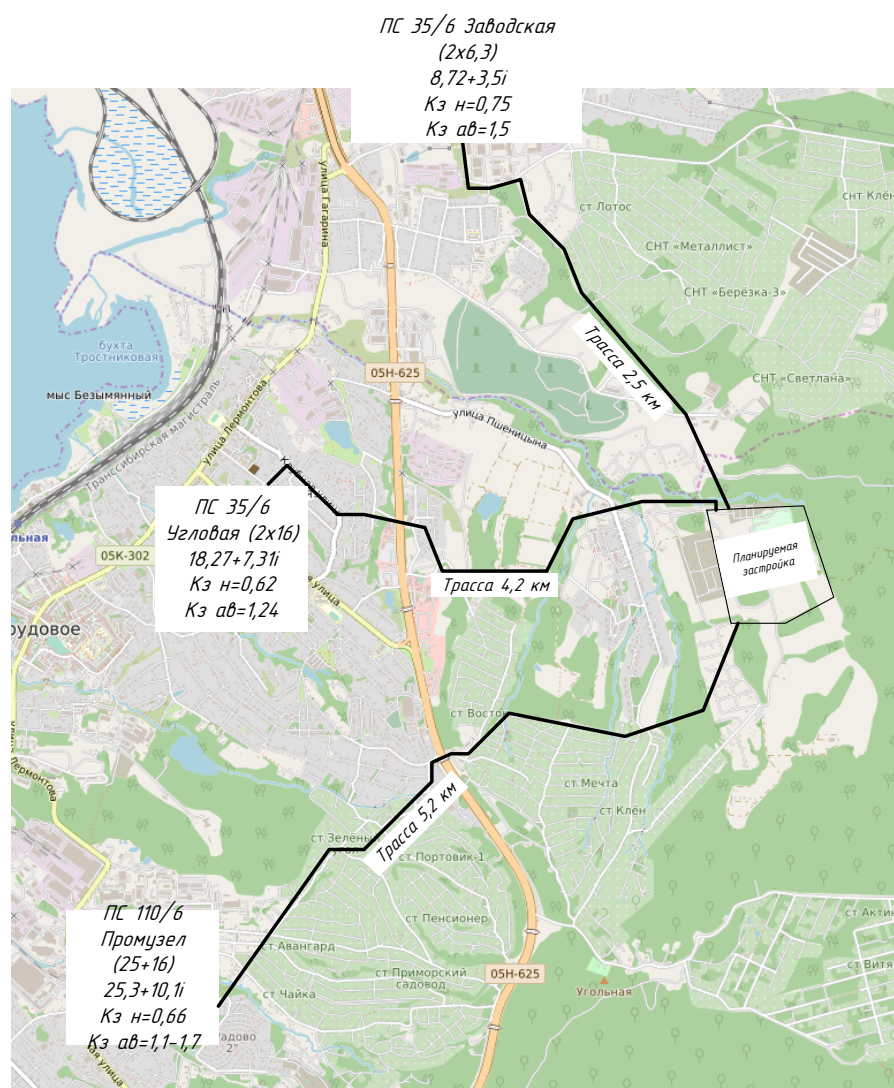


Рисунок 2 – Выбор центра питания сетей 6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Для ПС Заводская 35/6 кВ отмечается наибольшая нагрузка трансформаторов на 2024 год 75%, при этом удаление от района проектирования составляет 2,5 км с учётом расположения объектов капитального строительства и дорожной сети [2].

Для ПС Угловая 35/6 кВ отмечается нагрузка трансформаторов на 2024 год 62%, при этом удаление от района проектирования составляет 4,2 км с учётом расположения объектов капитального строительства и дорожной сети.

Для ПС Промузел 110/6 кВ отмечается загрузка трансформаторов на 2024 год 66%, при этом удаление от района проектирования составляет 5,2 км с учётом расположения объектов капитального строительства и дорожной сети.

Вывод по разделу:

Учитывая необходимость замены силовых трансформаторов в каждом из рассмотренных центров питания, принимается центр питания распределительных сетей 6 кВ района проектирования – ПС Заводская 35/6 кВ.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ СЕТИ 0,4 КВ

Удельные нагрузки, приведенные в [4], используются на начальном этапе расчётов электрических нагрузок на основе имеющихся данных о количестве квартир в каждом вводимом жилом корпусе и объектах общественных зданий.

2.1 Определение нагрузки жилых зданий

В величине удельной нагрузки учтена дополнительная нагрузок обеспечительных систем жилых корпусов, подключаемых на вводе 0,4 кВ, кроме силовой нагрузки насосов водоснабжения и лифтовых установок. Выбор мощности насосов водоснабжения и лифтовых установок осуществляется на основе каталогов серийно выпускаемого оборудования.

При определении нагрузок жилых зданий необходимо скомпоновать таблицу 3, содержащую нумерацию жилых домов района.

Таблица 3 – Характеристика жилых домов жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Объект	№	Кол-во объектов	Этажность	Встроенные помещения
кирпичный жилой дом	1-3	3	14	
кирпичный жилой дом	4-6	3	9	
кирпичный жилой дом	7-10	4	9	Торговые 1 этаж
кирпичный жилой дом	11-13	3	9	Общественные 1-2 этаж

Расчётная электрическая нагрузка квартир принимается в зависимости от числа квартир в доме, [4]. Коэффициент участия силовой нагрузки в максимуме нагрузке квартир указан в [4]. Таким образом, для примера, по объекту 3 на плане определяем характеристику:

Кирпичный жилой дом, 200 кв., 4 подъезда.

Активная мощность лифтовых установок в общей нагрузке домов рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{л} = k_{с л} \sum_1^n P_{л_i} , \quad (1)$$

$$P_{л} = 0,7 \cdot 4 \cdot 15 = 42 \text{ кВт} ,$$

где $k_{с л}$ - коэффициент спроса лифтовых установок, [4];

n - количество лифтовых установок;

$P_{ли}$ - установленная мощность электродвигателя лифта, [6], кВт.

Активная мощность электродвигателей насосов водоснабжения в общей нагрузке домов рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{нас} = k_{с н} \sum_1^n P_{нас} , \quad (2)$$

$$P_{нас} = 0,85 \cdot 4 \cdot 18 = 61,2 \text{ кВт} ,$$

где $k_{с н}$ - коэффициент спроса санитарно-технических устройств [4];

n - количество санитарно-технических устройств;

$P_{нас}$ - установленная мощность насосов, [6], кВт.

Расчётная силовая нагрузка в общей нагрузке домов рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_c = P_{нас} + P_{л} , \quad (3)$$

$$P_c = 42 + 61,2 = 103,2 \text{ кВт}.$$

При определении общей силовой нагрузки коэффициент одновременно-сти не используется, так как при одновременном использовании лифтовой

нагрузки и насосов водоснабжения она выделяется на отдельную силовую сборку на вводе в жилой дом.

Аналогичные расчёты составляющих нагрузки жилых домов проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Нагрузка домов жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Объект	№	N _{кв}	P _{уд} , кВт/кв	N _{лифт}	P _{лифт} , кВт	K _с лифт	N _{насос}	P _{насос} , кВт	K _с насос	P _{силЭП} , кВт	K _у
кирпичный жилой дом	1-3	200	1,83	4	15	0,7	4	18	0,85	103,2	0,9
кирпичный жилой дом	4-6	150	1,9	3	15	0,8	3	18	0,9	84,6	0,9
кирпичный жилой дом	7-10	184	1,85	5	15	0,7	5	18	0,8	132	0,9
кирпичный жилой дом	11- 13	184	1,85	5	15	0,7	5	18	0,8	132	0,9

Совместно с питанием основных и силовых электроприёмников от ввода 0,4 кВ в здание, к вводу подключаются электроприёмники встраиваемых объектов таких как, магазины, парикмахерские, столовые, офисные помещения. Данные потребители по [2] учитываются с помощью коэффициентов участия в максимуме нагрузки основного потребителя.

Расчётную мощность объектов принимаем по [2], в зависимости от количества удельных единиц. Информация по встроенным объектам показывается в таблице 5.

Таблица 5 – Встроенные объекты жилых домов комплекса Новый квартал в г. Артём

Объект	№	Встроен. объект	Ед. изме- рения	площадь	Мощность, кВт/ м ²	K _у
кирпичный жилой дом	7-10	магазин	м ²	1000	0,2	0,6
кирпичный жилой дом	11- 13	офисы	м ²	1000	0,054	0,6

Вся необходимая для расчётов нагрузок на вводе 0,4 кВ жилых зданий информация подготовлена, после чего осуществляется вычисления нагрузок по методике для городских сетей.

Нагрузка квартир в общей нагрузке домов рассчитывается по имеющейся формуле:

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

$$P_{кв} = 1,83 \cdot 200 = 366 \text{ кВт} ,$$

где $P_{кв. уд.}$ – удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир, зависит от числа квартир в здании, кВт/кв [4];

n – количество квартир.

Активная нагрузка жилого дома без встроенных потребителей рассчитывается по имеющейся формуле:

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

$$P_{р.ж.д.} = 366 + 0,9 \cdot 103,2 = 458,9 \text{ кВт} ,$$

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

P_c – расчетная нагрузка силовых электроприемников жилого дома, кВт;

k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников [4].

При наличии домов со встроенными помещениями нагрузка находится с учётом коэффициента участия в максимуме нагрузки основного потребителя.

Активная нагрузка жилого дома №7 с встроенными потребителями рассчитывается по имеющейся формуле:

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

$$P_{p.ж.д.общ} = 459,2 + 0,6 \cdot 200 = 579,2 \text{ кВт},$$

где $P_{з.д.мах}$ - наибольшая нагрузка из числа имеющихся абонентов, кВт;
 k_{yi} - коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок помеще-
ний или квартир и силовых электроприемников, [4];

$P_{з.д.и}$ - расчетные нагрузки остальных абонентов.

Реактивная нагрузка жилого дома без встроенных потребителей рассчиты-
вается по имеющейся формуле:

$$Q_{p.ж.д} = P_{p.ж.д} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (7)$$

$$Q_{p.ж.д} = 579,2 \cdot 0,33 = 185,6 \text{ квар},$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент мощности жилого дома, принимаем по [4].

Из встроенный потребителей присутствует магазин площадью 1000 м².

Активная нагрузка магазина без встраиваемых потребителей рассчиты-
вается по имеющейся формуле:

$$P_{\text{маг}} = P_{\text{маг. уд.}} \cdot S, \quad (8)$$

$$P_{\text{маг}} = 1000 \cdot 0,2 = 200 \text{ кВт},$$

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

S – площадь магазина.

Аналогичные расчёты полной нагрузки жилых домов проводятся по пока-
занному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 6.

Таблица 6 - Полная нагрузка домов жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Объект	№ на листе	cosφ	Расчётная нагрузка на вводе		
			Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА
кирпичный жилой дом	1-3	0,98	458,88	92,2	468
кирпичный жилой дом	4-6	0,98	361,14	72,6	368
кирпичный жилой дом	7-10	0,95	579,2	185,6	608
кирпичный жилой дом	11-13	0,93	491,6	187,4	526

2.2 Определение нагрузки общественных зданий

В таблице 7 покажем информацию по общественным зданиям.

Таблица 7 - Данные по общественным зданиям жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Объект	№ на листе	Кол-во	кол-во мест	Мощность, кВт/место.
школа	14	1	825	0,25
поликлиника	15	1	400	0,36
Детский сад	16	1	240	0,46

По [4], к вводам в общественные помещения приводится нагрузка всех электроприёмников: силовая нагрузка, кондиционеры, вентиляционные двигатели и т.д.

Нагрузка общественных зданий определяется аналогично нагрузке жилых домов. В качестве удельных единиц выступает количество посещений здания, площадь здания, количество мест.

Для примера определяем нагрузку школы 14 на 825 мест.

Активная нагрузка школы без встраиваемых потребителей рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{\text{общ зд}} = P_{\text{общ зд уд}} \cdot S, \quad (9)$$

$$P_{\text{общ зд}} = 825 \cdot 0,25 = 206,25 \text{ кВт},$$

где $P_{общ\ зд\ уд}$ – удельная расчётная нагрузка для школы со столовыми и спортзалами для учёта наибольшей возможной нагрузки потребителя на вводе 0,4 кВ, [4], кВт;

n – количество мест.

Реактивная нагрузка школы без встроенных потребителей рассчитывается по имеющейся формуле:

$$Q_{общ\ зд} = P_{общ\ зд} \cdot \operatorname{tg} \varphi ; \quad (10)$$

$$Q_{общ\ зд} = 206,25 \cdot 0,33 = 66,1 \text{ квар},$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент мощности школы, принимаем по [4].

Аналогичные расчёты нагрузки общественных зданий проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчётные нагрузки общественных зданий жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Объект	№ на листе	cosφ	Pp, кВт	Qp, кВАp	Sp, кВА
школа	14	0,95	206,25	66,1	217
поликлиника	15	0,92	144	58,8	156
Детский сад	16	0,97	110,4	27,3	114

2.3 Определение нагрузки питающих кабелей 0,4 кВ

Согласно описанию потребителей района города Артём, преобладает 2 категория по надёжности электроснабжения потребителей, так как присутствуют многоквартирные дома. Допустимый перерыв в электроснабжении потребителей 2 категории не должен превышать 2 часа. В соответствии с [4], допускается применение автоматизированных схем (двухлучевых) для питания потребителей 0,4 кВ.

Используя план района, проведём разработку конфигурации сети 0,4 кВ. Сводные данные о линиях 0,4 кВ по каждой ТП покажем в таблице 9.

Таблица 9 – Сводные данные о линиях 0,4 кВ по каждой ТП жилого комплекса
Новый квартал в г. Артём

Вид нагрузки/преобладающих потребителей	№ линии 0,4 кВ	$P_{зд макс} ,$ кВт	$Q_{зд макс} ,$ кВар
ТП-1			
Нагрузка жилых домов	1	458,88	92,24
	2	458,88	92,24
Нагрузка общественных зданий	14	206,25	66,07
	15,16	144,00	58,84
ТП-2			
Нагрузка жилых домов	10	579,20	185,55
	11	491,60	187,37
	12	491,60	187,37
ТП-3			
Нагрузка жилых домов	8	579,20	185,55
	9	579,20	185,55
	13	491,60	187,37
ТП-4			
Нагрузка жилых домов	6	361,14	72,60
	7	579,20	185,55
ТП-5			
Нагрузка жилых домов	3	458,88	92,24
	4	361,14	72,60
	5	361,14	72,60

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

Активная нагрузка по линии 1 от ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{p\ 0,4кВ} = P_{наиб\ зд} + k_y \cdot P_{ост\ зд} , \quad (11)$$

$$P_{p\ 0,4кВ} = 458,88\text{ кВт} ,$$

где $P_{наиб\ з\delta}$ - наибольшая нагрузка здания из числа подключенных к линии, кВт;

k_y - коэффициент участия в максимуме электрической нагрузки здания с наибольшей нагрузкой для кабеля 0,4 кВ, [4];

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

Реактивная нагрузка по линии 1 от ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$Q_{p\ л0,4кВ} = P_{p\ л0,4кВ} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{л0,4кВ}, \quad (12)$$

$$Q_{p\ л0,4кВ} = 458,88 \cdot 0.2 = 92,24 \text{ квар},$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{л0,4кВ}$ - коэффициент мощности нагрузки по линии, принимается как среднее из коэффициентов каждого потребителя по линии.

Согласно [4], при определении расчетной электрической нагрузки линий 0,4 кВ должны учитываться потери мощности в питающих линиях 0.4 кВ.

Активные потери мощности по линии 1 от ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$\Delta P_{л0,4кВ} = \frac{P_{p\ л0,4кВ}^2 + Q_{p\ л0,4кВ}^2}{U_n^2} \cdot R_{л0,4кВ\ уд} \cdot L_{л0,4кВ}, \quad (13)$$

$$\Delta P_{л0,4кВ} = \frac{458,9^2 + 92,2^2}{0.4^2} \cdot 0.261 \cdot 0.2 / 4 = 18 \text{ кВт},$$

где $P_{p\ л0,4кВ}$, $Q_{p\ л0,4кВ}$ - расчетная активная и реактивная нагрузка по линии, кВт;

U_n - номинальное напряжение сети, $U_n = 0,4 \text{ кВ}$;

$R_{л0,4кВ\ уд}$ - удельное активное сопротивление линии, Ом/км, [9];

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

Реактивные потери мощности по линии 1 от ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$\Delta Q_{л0,4кВ} = \frac{P_{рл0,4кВ}^2 + Q_{рл0,4кВ}^2}{U_n^2} \cdot X_{л0,4кВ\text{ уд}} \cdot L_{л0,4кВ}, \quad (14)$$

$$\Delta Q_{л0,4кВ} = \frac{458,9^2 + 92,2^2}{0,4^2} \cdot 0,06 \cdot 0,2 / 4 = 4,1 \text{ квар},$$

где $X_{л0,4кВ\text{ уд}}$ - удельное реактивное сопротивление линии, Ом/км, [9];

Приведенная активная нагрузка по линии 1 от ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{прив.л0,4кВ} = P_{рл0,4кВ} + \Delta P_{л0,4кВ}, \quad (15)$$

$$P_{прив.л0,4кВ} = 458,9 + 18 = 476,7 \text{ кВт}.$$

Приведенная реактивная нагрузка по линии 1 от ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$Q_{прив.л0,4кВ} = Q_{рл0,4кВ} + \Delta Q_{л0,4кВ}, \quad (16)$$

$$Q_{прив.л0,4кВ} = 92,2 + 4,1 = 96,4 \text{ квар}.$$

Расчётный максимальный ток на 1 цепь по линии 1 от ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{P_{прив, 0,4кВ}^2 + Q_{прив, 0,4кВ}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (17)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{476,7^2 + 96,4^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 176 \text{ А}.$$

Аналогичные расчёты нагрузки фидеров 0,4 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 10.

Таблица 10 - Расчётные нагрузки фидеров 0,4 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Вид нагрузки/преобладающих потребителей	Наим потр	P _{р л} , кВт	Q _{р л} , кВАр	S _{расч} линии, кВА	ΔP _л , кВт	ΔQ _л , кВАр	P _{прив л} , кВт	Q _{прив л} , кВАр	S _{прив л} , кВА	I _{расч} , А
ТП-1										
Нагрузка жилых домов	1	458,9	92,2	468,1	18	4,1	476,7	96,4	486,4	176
	2	458,9	92,2	468,1	18	5,1	476,7	97,3	486,5	176
Нагрузка общественных зданий	14	206,3	66,1	216,6	9	0,5	215,4	66,6	225,5	81
	15,16	232,3	80,6	245,9	11	1,4	242,9	82,1	256,4	93
ТП-2										
Нагрузка жилых домов	10	579,2	185,6	608,2	23	5,2	601,8	190,8	631,3	228
	11	491,6	187,4	526,1	21	3,9	512,9	191,3	547,4	198
	12	491,6	187,4	526,1	23	5,2	514,2	192,6	549,0	198
ТП-3										
Нагрузка жилых домов	8	579,2	185,6	608,2	23	5,2	601,8	190,8	631,3	228
	9	579,2	185,6	608,2	23	5,2	601,8	190,8	631,3	228
	13	491,6	187,4	526,1	23	5,2	514,2	192,6	549,0	198
ТП-4										
Нагрузка жилых домов	6	361,1	72,6	184,2	14	3,2	375,0	75,8	382,6	138
	7	579,2	185,6	304,1	23	5,2	601,8	190,8	631,3	228
ТП-5										
Нагрузка жилых домов	3	458,9	92,2	468,1	17	3,1	475,8	95,3	485,2	175
	4	361,1	72,6	368,4	14	2,6	375,1	75,1	382,5	276
	5	361,1	72,6	368,4	14	2,6	375,1	75,1	382,5	138

2.4 Определение сечения и марки кабелей 0,4 кВ

Городские линии 0,4 кВ, учитывая специфику городской застройки, прокладываются в траншеях. Используется кабель ААШв (А - алюминиевые жилы,

А - алюминиевая оболочка, Шв – изоляция из шланга поливинилхлоридного). Исходя из условий прокладки и работы кабелей 0,4 кВ, применяются поправочные коэффициенты [9].

Допустимый ток кабельной линии 2 от ТП-1 сечением 150 мм² с поправкой на условия прокладки определяется по формуле:

$$I_{доп} = I_{доп\ справ} \cdot K_{сниж} \cdot K_{перегр} \cdot K_t, \quad (18)$$

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

где $I_{доп\ справ}$ - допустимый ток по нагреву для кабеля ААШВ (4х150), [8],

$K_{сниж}$ - коэффициент снижения токовой нагрузки, для двух кабелей в траншее при двухлучевой схеме принимается равный 0,92 [7];

$K_{перегр}$ - для кабелей 0,4 кВ предварительно загруженных на 80% при прокладке в земле с учётом 6-ти часового промежутка времени на ликвидацию аварии принимается 1.25 [7];

K_t - температурный коэффициент равный 1 для температуры окружающего грунта 15⁰ С [7].

Кабельные линии 0,4 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём выбираются по нагреву длительно допустимым током.

Проверка по нагреву кабеля для линии 2 от ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_p \leq I_{доп}, \quad (19)$$

$$176 \text{ А} \leq 385 \text{ А}.$$

Аналогичные расчёты по выбору кабелей 0,4 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Выбор кабелей 0,4 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Вид нагрузки/преобладающих потребителей	№ линии 0,4 кВ	$I_{расч}, А$	$I_{доп}, А$	$F, мм^2$
ТП-1				
Нагрузка жилых домов	1	176	339	120
	2	176	385	150
Нагрузка общественных зданий	14	81	132	25
	15,16	93	242	70
ТП-2				
Нагрузка жилых домов	10	228	339	120
	11	198	293	95
	12	198	339	120
ТП-3				
Нагрузка жилых домов	8	228	339	120
	9	228	339	120
	13	198	339	120
ТП-4				
Нагрузка жилых домов	6	138	339	120
	7	228	339	120
ТП-5				
Нагрузка жилых домов	3	175	293	95
	4	276	293	95
	5	138	293	95

2.5 Нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП

По [8], нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП определяется по формуле (10), учитывая некоторые особенности:

- Определяется суммарное количество квартир во всех домах, питаемых от данной ТП;
- Определяется суммарное количество насосов водоподачи и лифтов во всех домах, питаемых от данной ТП;

- Учитываются суммарные потери во всех линиях 0,4 кВ питаемых данной ТП;

- Учитывается нагрузка освещения улиц.

Для примера, проводится расчёт по ТП-1. От данной ТП в совокупности по всем жилым домам питается 400 квартир. По [4], удельная нагрузка для квартир принимается 1,72 кВт/кВ. Силовая нагрузка – 8 насосов по 18 кВт, 8 лифтов по 15 кВт.

Нагрузка уличного освещения ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{осв} = P_{осв\ уд} \cdot L_{тер},, \quad (20)$$

$$P_{осв} = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт},,$$

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

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

Потери в линиях 0,4 кВ составляют $\Delta P_{л0,4кВ} = 55$, $\Delta Q_{л0,4кВ} = 11$:

- КЛ к потребителю 1 - $\Delta P_{л0,4кВ} = 18$, $\Delta Q_{л0,4кВ} = 4,1$,
- КЛ к потребителю 2 - $\Delta P_{л0,4кВ} = 18$, $\Delta Q_{л0,4кВ} = 5,1$,
- КЛ к потребителю 14 - $\Delta P_{л0,4кВ} = 9$, $\Delta Q_{л0,4кВ} = 0,5$,
- КЛ к потребителю 15,16 - $\Delta P_{л0,4кВ} = 11$, $\Delta Q_{л0,4кВ} = 1,4$,

Расчётная активная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{расч\ ТП-1} = P_{кв\ уд} \cdot n_{кв} + (k''_c \cdot P_{нас} \cdot n_{нас} + k'_c \cdot P_{лифт} \cdot n_{лифт}) \cdot k_y + P_{осв} + \Delta P_{л0,4кВ}, \quad (21)$$

$$P_{расч ТП-1} = 1,72 \cdot 400 + (0,55 \cdot 15 \cdot 8 + 0,75 \cdot 18 \cdot 8) \cdot 0,9 + 461 \cdot 0,4 + 8 + 55 = 1092,2 \text{ кВт.}$$

где k_y - коэффициент участия в максимуме электрической нагрузки здания с наибольшей нагрузкой для шин 0,4 кВ ТП, [4].

Исходные данные для расчёта нагрузок на стороне 0,4 кВ ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём собираются по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Подробный расчёт нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

№ ТП	N _{кв}	P _{кв уд} , кВт/кв	P _{кв} , кВт	Q _{кв} , кВар	P _{силЭП}	K _y	L _{тер} , км	P _{осв уд} , кВт/км	P _{осв} , кВт	ΔP _л , кВт	ΔQ _л , кВар
ТП-1*	400	1,72	688	137,6	174	0,9	0,8	10	8	55	11
ТП-2	552	1,7	938,4	187,68	276,75	0,9	0,5	10	5	67	14
ТП-3	552	1,7	938,4	187,68	276,75	0,9	0,5	10	5	68	16
ТП-4	334	1,76	587,84	117,568	174	0,9	0,4	10	4	36	8
ТП-5	500	1,7	850	170	201	0,9	0,45	10	4,5	45	8

*-в таблице не показана нагрузка прочих зданий, подключенных к шинам 0,4 кВ ТП-1

Расчётная реактивная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$Q_{расч ТП-1} = Q_{кв} + \Delta Q_{л0,4кВ}, \quad (22)$$

$$Q_{расч ТП-1} = 137,6 + 152 \cdot 0,4 + 11 = 209,6 \text{ квар.}$$

Расчётная полная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$S_{расч ТП-1} = \sqrt{P_{расч ТП-1}^2 + Q_{расч ТП-1}^2}, \quad (23)$$

$$S_{расч ТП-1} = \sqrt{1092,2^2 + 209,6^2} = 1112,2 \text{ кВА}.$$

Аналогичные расчёты нагрузок на стороне 0,4 кВ ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Расчётные нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

№	P _{р 0,4 кВ, кВт}	Q _{р 0,4 кВ, кВар}	S _{р 0,4 кВ, кВА}
ТП-1	1092,2	209,6	1112,2
ТП-2	1259,0	202,0	1275,1
ТП-3	1260,3	203,3	1276,6
ТП-4	784,9	126,0	794,9
ТП-5	1080,2	178,2	1094,8

2.6 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ ТП

Расчётный коэффициент реактивной мощности на шинах 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$g\varphi_{расч} = \frac{Q_{расч ТП-1}}{P_{расч ТП-1}}. \quad (24)$$

$$g\varphi_{расч} = \frac{209,6}{1092,2} = 0.19.$$

Необходимость компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$tg\varphi_{расч} \leq tg\varphi_{пред};$$

$$0,19 \leq 0,35;$$

где $tg\varphi_{пред}$ - предельная величина коэффициент реактивной мощности на шинах 0,4 кВ ТП, 0,35.

Аналогичные расчёты величин коэффициента реактивной мощности на стороне 0,4 кВ ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Величина коэффициента реактивной мощности на шинах 0,4 кВ ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

№	$P_{р\ 0,4\ кВ, кВТ}$	$Q_{р\ 0,4\ кВ, кВар}$	$tg\varphi_{расч}$	$tg\varphi_{пред}$
ТП-1	1092,2	209,6	0,19	0,35
ТП-2	1259,0	202,0	0,16	0,35
ТП-3	1260,3	203,3	0,16	0,35
ТП-4	784,9	126,0	0,16	0,35
ТП-5	1080,2	178,2	0,16	0,35

По таблице 15 компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ ТП не требуется.

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ СЕТИ 6 КВ

3.1 Определение мощности трансформаторов ТП

Для более точного определения нагрузок линий 6 кВ по [4], необходимо пересчитать нагрузку на шины 6 кВ ТП, предварительно выбрав мощность трансформаторов ТП по нагрузке на стороне 0,4 кВ.

Расчётная мощность трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$S_{pCT\ TП-1} = \frac{S_{расч\ TП-1}}{n_T \cdot K_3^{ОПТ}}, \quad (25)$$

$$S_{pCT\ TП-1} = \frac{1112,2}{2 \cdot 0,8} = 695\ кВА,$$

где $S_{расч\ TП-1}$ - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1, по таблице 14, кВА;

n_T - количество устанавливаемых трансформаторов, для потребителей 2 категории устанавливается 2 трансформатора 6/0,4 кВ;

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

Номинальная мощность трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 выбирается по имеющейся формуле:

$$S_{pCT\ TП-1} \leq S_{ном\ TП-1}, \quad (26)$$

$$695\ кВА \leq 1000\ кВА,$$

где $S_{ном\ TП-1}$ - номинальная мощность трансформаторов ТП-1, ближайшая большая величина составляет 1000 кВА, марка ТМГ (масляные герметичные).

Коэффициент загрузки для нормального режима работы двух трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

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

$$K_{\text{загр норм}} = \frac{1112,2}{1000 \cdot 2} = 0,56.$$

$$K_{\text{загр норм}} \leq K_{\text{загр доп}} ; \quad (28)$$

$$0,56 \leq 0,75.$$

Коэффициент загрузки для нормального режима работы двух трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 не превышает 0,75, поэтому трансформаторы выбраны корректно.

Коэффициент загрузки для послеаварийного режима работы одного из трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$K_{\text{загр послеав}} = \frac{S_{p \text{ CT ТП-1}}}{S_{\phi \text{ CT ТП-1}} \cdot (n_T - 1)} , \quad (29)$$

$$K_{\text{загр послеав}} = \frac{1112,2}{1000 \cdot (2 - 1)} = 1,11.$$

$$K_{\text{загр послеав}} \leq K_{\text{загр доп}} ;$$

$$1,11 \leq 1,4.$$

Коэффициент загрузки для послеаварийного режима работы одного из трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 не превышает 1,4, поэтому трансформаторы выбраны корректно.

Аналогичные расчёты величин мощности трансформаторов ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 15.

Таблица 15 – Выбор трансформаторов 6/0,4 кВ ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

№ ТП	$P_{р\ 0,4\ кВ},$ кВт	$Q_{р\ 0,4\ кВ},$ кВар	$S_{р\ 0,4\ кВ},$ кВА	$N_{тр}$	$K_{доп}$	$S_{тр\ расч},$ кВА	$S_{тр\ ном},$ кВА	$K_{з\ норм}$	$K_{з\ послеав}$
ТП-1	1092,2	209,6	1112,2	2	0,8	695	1000	0,56	1,11
ТП-2	1259,0	202,0	1275,1	2	0,8	797	1000	0,64	1,28
ТП-3	1260,3	203,3	1276,6	2	0,8	798	1000	0,64	1,28
ТП-4	784,9	126,0	794,9	2	0,8	497	630	0,63	1,26
ТП-5	1080,2	178,2	1094,8	2	0,8	684	1000	0,55	1,09

Активное сопротивление трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$R_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{H\ BH}^2}{S_{\phi\ CT\ ТП-1}}, \quad (30)$$

$$R_T = \frac{12,2 \cdot 6^2}{1000} = 0,0006\ Ом ,$$

где ΔP_K - потери короткого замыкания трансформатора ТМГ-1000/6/0,4, 12,2 кВт, [10].

Реактивное сопротивление трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$X_T = \sqrt{\left(\frac{U_K \cdot U_{H\ BH}^2}{100 \cdot S_{\phi\ CT\ ТП-1}}\right)^2 - R_T^2} , \quad (31)$$

$$X_T = \sqrt{\left(\frac{5.5 \cdot 6^2}{100 \cdot 1000}\right)^2 - 0.0006^2} = 0.0055 \text{ Ом},$$

где U_K - напряжение короткого замыкания трансформатора ТМГ-1000/6/0,4, 5,5 %, [10].

Активные потери мощности в трансформаторах 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$\Delta P_T = \frac{P_{pCT \text{ ТП-1}}^2 + Q_{pCT \text{ ТП-1}}^2}{U_H^2} \cdot \frac{R_T}{2} + \Delta P_{xx} \cdot 2, \quad (32)$$

$$\Delta P_T = \frac{1092,2^2 + 209,6^2}{6^2} \cdot \frac{0,0006}{2} + 2,45 \cdot 2 = 17,73 \text{ кВт},$$

где ΔP_{xx} - активные потери холостого хода трансформатора ТМГ-1000/6/0,4, 2,45 кВт, [10].

Реактивные потери мощности в трансформаторах 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$\Delta Q_T = \frac{P_{pCT \text{ ТП-1}}^2 + Q_{pCT \text{ ТП-1}}^2}{U_H^2} \cdot \frac{X_T}{2} + \left(\frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{\phi CT \text{ ТП-1}}\right) \cdot 2, \quad (33)$$

$$\Delta Q_T = \frac{1092,2^2 + 209,6^2}{6^2} \cdot \frac{0,0055}{2} + \left(\frac{1,4}{100} \cdot 1000\right) \cdot 2 = 119,8 \text{ квар},$$

где I_{xx} - ток холостого хода трансформатора ТМГ-1000/6/0,4, 1,4%, [10].

$S_{\phi CT \text{ ТП-1}}$ - фактическая мощность трансформатора ТМГ-1000/6/0,4, 1000 кВА;

$P_{pCT \text{ ТП-1}}, Q_{pCT \text{ ТП-1}}$ - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1, по таблице 14, кВт, квар;

$U_{H BH}$ - номинальное напряжение стороны ВН трансформатора, принимается 6 кВ;

Аналогичные расчёты потерь мощности в трансформаторах ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 16.

Таблица 16 – Потери мощности в трансформаторах 6/0,4 кВ ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

№ ТП	$P_{p\ 0,4\ кВ,}$ кВт	$Q_{p\ 0,4\ кВ,}$ кВар	$N_{тр}$	$R_{т, Ом}$	$X_{т, Ом}$	$\Delta P_{т,}$ кВт	$\Delta Q_{т, кВт}$
ТП-1	1092,2	209,6	2	0,0006	0,0055	17,73	119,8
ТП-2	1259,0	202,0	2	0,0004	0,0055	14,82	151,8
ТП-3	1260,3	203,3	2	0,0006	0,0055	21,27	149,6
ТП-4	784,9	126,0	2	0,0011	0,0087	14,61	93,6
ТП-5	1080,2	178,2	2	0,0004	0,0055	12,21	119,3

Активная нагрузка на стороне 6 кВ трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{p10кВ\ ТП-1} = P_{p\ CT\ ТП-1} + \Delta P_T, \quad (34)$$

$$P_{p10кВ\ ТП-1} = 1092,2 + 17,73 = 1110 \text{ кВт.}$$

Реактивная нагрузка на стороне 6 кВ трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$Q_{p10кВ\ ТП-1} = Q_{p\ CT\ ТП-1} + \Delta Q_T, \quad (35)$$

$$Q_{p10кВ\ ТП-1} = 209,6 + 119,8 = 329,4 \text{ квар.}$$

Полная нагрузка на стороне 6 кВ трансформаторов 6/0,4 кВ для ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$S_{p\ 10\text{кВ}\ \text{ТП-1}} = \sqrt{(P_{p\ \text{CT}\ \text{ТП-1}} + \Delta P_T)^2 + (Q_{p\ \text{CT}\ \text{ТП-1}} + \Delta Q_{\text{ТП}})^2}, \quad (36)$$

$$S_{p\ 10\text{кВ}\ \text{ТП-1}} = \sqrt{1110^2 + 329,4^2} = 1157,8\ \text{кВА}.$$

Аналогичные расчёты нагрузки на стороне ВН трансформаторов ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 17.

Таблица 17 – Нагрузка стороны ВН на ТП жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

№ ТП	$P_{p\ 10\ \text{кВ}},\ \text{кВт}$	$Q_{p\ 10\ \text{кВ}},\ \text{кВар}$	$S_{p\ 10\ \text{кВ}},\ \text{кВА}$
ТП-1	1110,0	329,4	1157,8
ТП-2	1273,8	353,8	1322,1
ТП-3	1281,6	352,9	1329,3
ТП-4	799,5	219,6	829,1
ТП-5	1092,4	297,5	1132,2

3.2 Определение нагрузки линий 6 кВ

Для соблюдения категории по надёжности электроснабжения потребителей на стороне НН ТП необходимо чтобы требования по категорийности соблюдались на стороне ВН ТП. Это достигается следующими способами [35]:

- запитка вводов ТП по стороне ВН от разных центров питания (с двух сторон по петлевой схеме);
- запитка вводов ТП по стороне ВН от одного центра питания, но от разных секций шин (двухлучевая схема сети 10 кВ питающаяся от ПС 35 кВ с секционированием по стороне НН);
- запитка потребителей ТП по стороне НН (резервирование по стороне НН).

Напряжение питания принимается 6 кВ, так как ближайшие источники питания имеют номинальное напряжение 6 кВ и выполнение сетей на напряжении 10 кВ возможно с использованием делительных трансформаторов 10/6 кВ, что сопряжено с дополнительными затратами на их сооружение.

Предлагается 2 варианта выполнения схемы 6 кВ, с учётом требований по надёжности и бесперебойности электроснабжения в городах. По 1 варианту подключение ТП-1 – ТП-5 осуществляется от ПС Заводская по резервированной магистральной линии, рисунок 3. На каждой ТП при магистральной схеме подключения на стороне ВН задействуется 4 линейные ячейки.

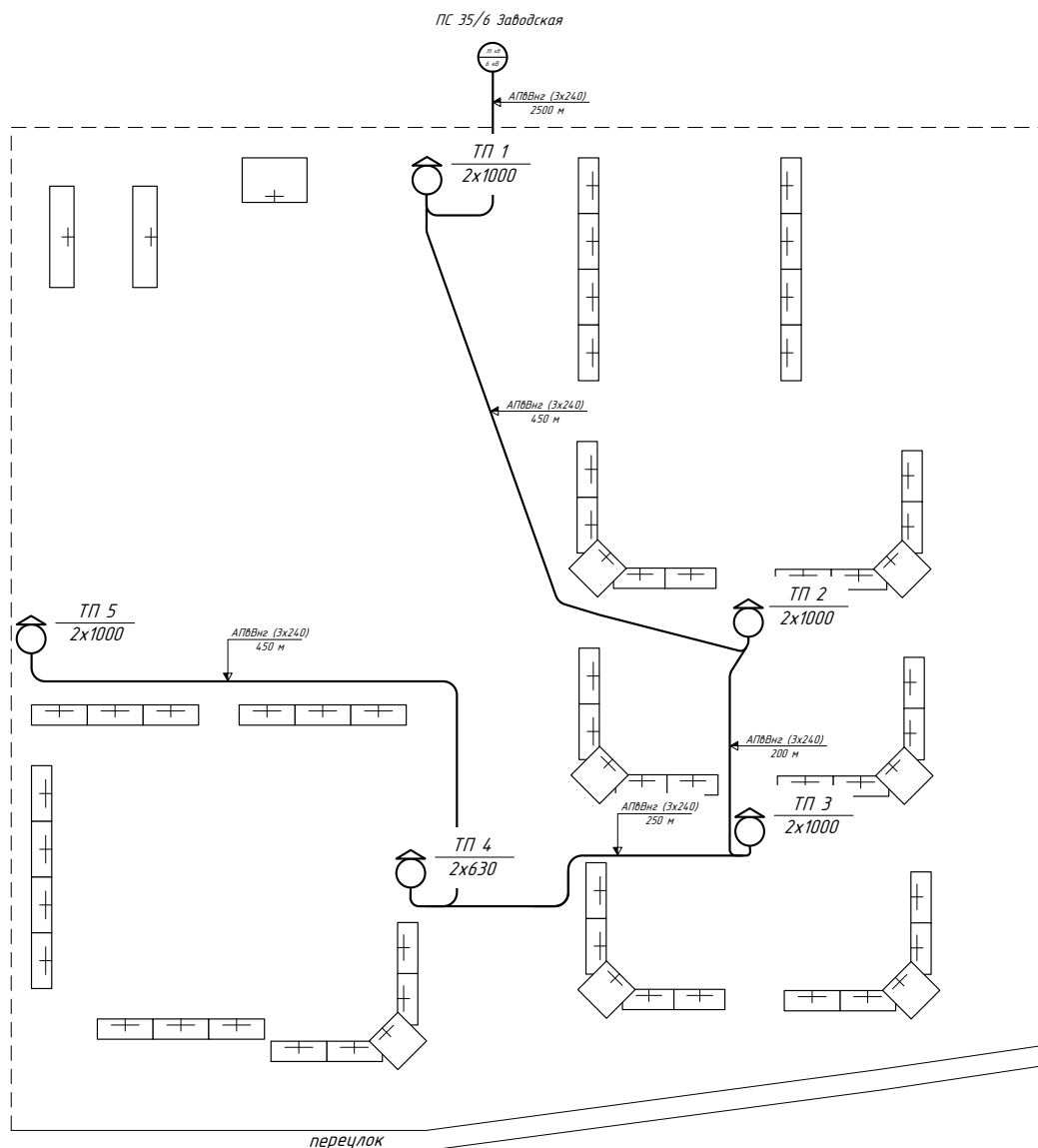


Рисунок 3 – Вариант 1 выполнения схемы сетей 6 кВ

План прокладки кабелей 6 кВ показан на листе графической части №1.

По 2 варианту предусматривается использование петлевой схемы с нормальным разрывом на ТП-5. На каждой ТП при петлевой схеме подключения на стороне ВН задействуется 2 линейные ячейки, рисунок 4.

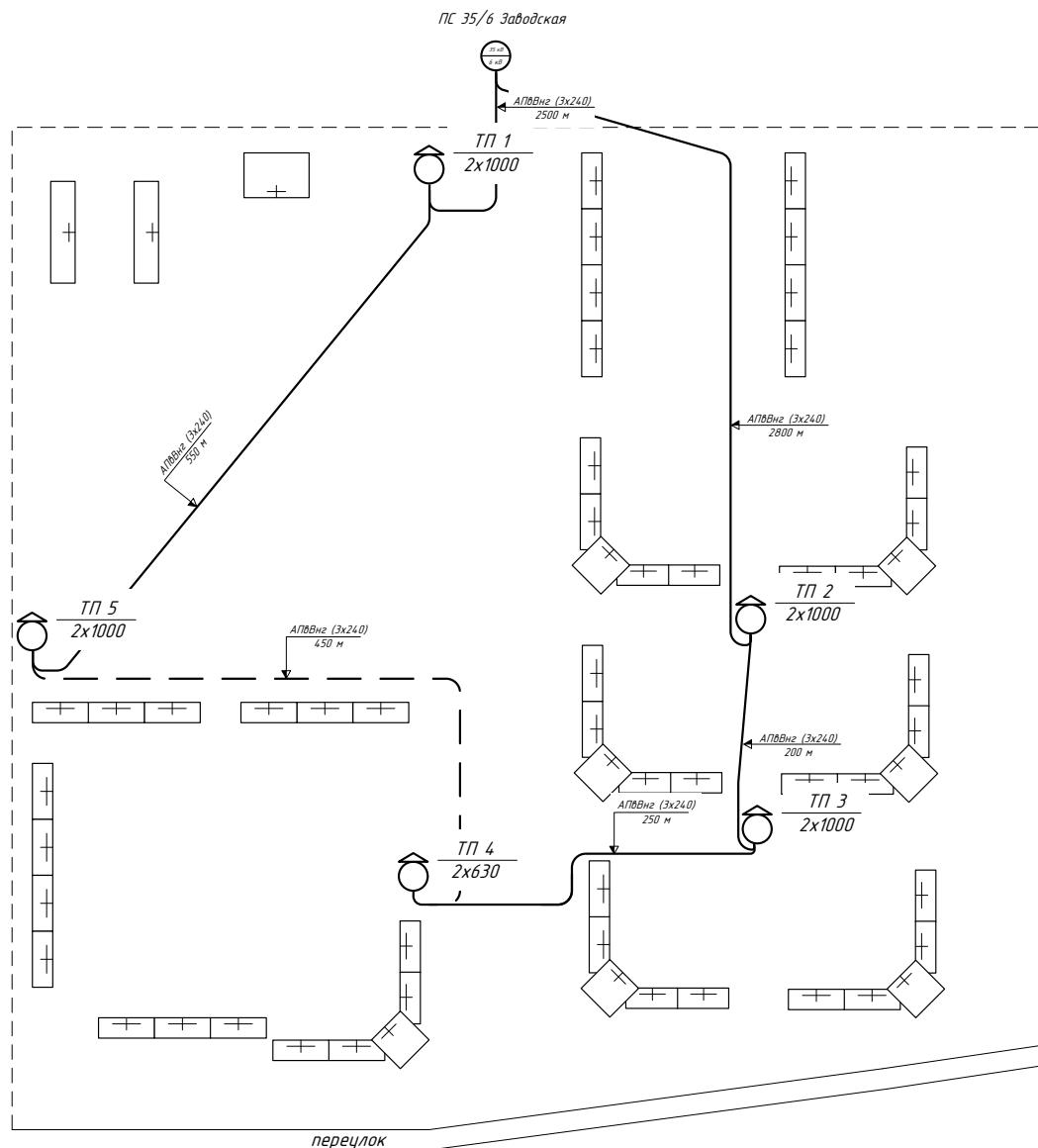


Рисунок 4 – Вариант 2 выполнения схемы сетей 6 кВ

Расчетные нагрузки на шинах 10 кВ ЦП определяются с учетом несовпадения максимумов нагрузок потребителей городских распределительных сетей и сетей промышленных предприятий (питающихся от ЦП по самостоятельным линиям) путем умножения суммы их расчетных нагрузок на коэффициент совмещения максимумов $k_{\text{сов макс}}$.

Активная суммарная нагрузка КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{\text{сумм нагр ТП}} = \Sigma P_{\text{нагр 6кВ ТП}}, \quad (37)$$

$$P_{\text{сумм нагр ТП}} = 1110 + 1273,8 + 1281,6 + 799,5 + 1092,4 = 5557 \text{ кВт.}$$

Реактивная суммарная нагрузка КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$Q_{\text{сумм нагр ТП}} = \Sigma Q_{\text{нагр 6кВ ТП}}, \quad (38)$$

$$Q_{\text{сумм нагр ТП}} = 329,4 + 353,8 + 352,9 + 219,6 + 297,5 = 1553 \text{ квар}$$

Активная расчётная нагрузка КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{\text{расч лин 6кВ}} = k_{\text{сов макс}} \cdot P_{\text{сумм нагр ТП}}, \quad (39)$$

$$P_{\text{расч лин 6кВ}} = 0,8 \cdot 5557 = 4446 \text{ кВт},$$

где $k_{\text{сов макс}}$ - коэффициент совмещения максимумов, для ТП с 10 силовыми трансформаторами, 0,8.

Реактивная расчётная нагрузка КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$Q_{\text{расч лин 6кВ}} = k_{\text{сов макс}} \cdot Q_{\text{сумм нагр ТП}}, \quad (40)$$

$$Q_{\text{расч лин 6кВ}} = 0,8 \cdot 1553 = 1243 \text{ квар},$$

Полная расчётная нагрузка КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$S_{расч\ лин6кВ} = \sqrt{P_{расч\ лин6кВ}^2 + Q_{расч\ лин6кВ}^2}, \quad (41)$$

$$S_{расч\ лин6кВ} = \sqrt{4446^2 + 1243^2} = 4616 \text{ кВА}$$

Аналогичные расчёты нагрузок КЛ-6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 18.

Таблица 18 – Нагрузки кабелей 6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Наименование фидера 6 кВ	P _{СУМ} КЛ, кВт	Q _{СУММ} КЛ, кВар	S _{СУММ} КЛ, кВА	K _{совм}	P _Р КЛ, кВт	Q _Р КЛ, кВар	S _Р КЛ, кВА
ПС - ТП 1-2-3-4-5 (вариант 1)	5557	1553	5770	0,8	4446	1243	4616
ПС - ТП 1-5 (вариант 2)	2202	627	2290	0,8	1762	502	1832
ПС - ТП 2-3-4 (вари- ант 2)	3355	926	3480	0,8	2684	741	2784
ПС - ТП 1-2-3-4-5 (вариант 2)	5557	1553	5770	0,8	4446	1243	4616

3.3 Определение сечения и марки кабелей 6 кВ

Для увеличения надёжности сети 6 кВ применяем кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена АПвВнг (А - алюминиевая жила; Пв - изоляция из сшитого полиэтилена; Внг - оболочка из ПВХ пластиката) [10].

Расчётный ток КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$I_{расч\ лин6кВ} = \frac{S_{расч\ лин6кВ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (42)$$

$$I_{расч\ лин6кВ} = \frac{4616}{\sqrt{3} \cdot 6} = 445 \text{ А.}$$

Допустимый ток КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп справ}} \cdot K_{\text{сниж}} \cdot K_{\text{перезр}} \cdot K_t, \quad (43)$$

$$I_{\text{доп}} = 426 \cdot 0.93 \cdot 1.17 \cdot 1 = 463 \text{ A},$$

где $I_{\text{доп справ}}$ - допустимый ток по нагреву для кабеля АПвВнг (3х240) [10];

$K_{\text{сниж}}$ - коэффициент снижения токовой нагрузки, для двух кабелей в траншее при двухлучевой схеме принимается равный 0,93 [10];

$K_{\text{перезр}}$ - коэффициент перегрузки для кабелей 6 кВ, 1,17 [10];

K_t - температурный коэффициент равный 1 для температуры окружающего грунта 15° С [10].

Проверка по нагреву КЛ-6 кВ для варианта 1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (44)$$

$$445 \text{ A} \leq 463 \text{ A}.$$

Допустимое сечение КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$F_{\text{расч лин6кВ}} = \frac{P_{\text{расч лин6кВ}} \cdot L_{\text{лин6кВ}} \cdot \rho_{\text{уд}}}{U_{\text{ном}} \cdot \Delta U_{\text{доп}}}, \quad (45)$$

$$F_{\text{расч лин6кВ}} = \frac{4446 \cdot 3,9 \cdot 28}{6 \cdot 6000} = 133 \text{ мм}^2,$$

где $\rho_{\text{уд}}$ - удельное активное сопротивление для кабелей с алюминиевыми жилами, $28 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2$;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение сети, 6 кВ;

$\Delta U_{\text{доп}}$ - допустимое падение напряжение, принято 10% от номинала – 600

В.

Проверка по допустимому сечению КЛ-6 кВ для варианта 1 выполняется по имеющейся формуле:

$$F_{\text{расч лин6кВ}} \leq F_{\text{факт лин6кВ}}, \quad (46)$$

$$133 \text{ мм}^2 \leq 240 \text{ мм}^2.$$

Потеря напряжения по КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos(\varphi) + x_0 \cdot \sin(\varphi))}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (47)$$

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 445 / 2 \cdot 3,9 \cdot (0,125 \cdot 0,96 + 0,1 \cdot 0,2)}{6} \cdot 100\% = 3,1\%,$$

где $\cos(\varphi)$ и $\sin(\varphi)$ – средние коэффициенты мощности по КЛ-6 кВ;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение КЛ, 6 кВ;

L – длина кабельной линии 6 кВ, км;

r_0, x_0 - удельные сопротивления ранее выбранных КЛ 6 кВ, Ом/км.

Проверка по допустимой потере напряжения КЛ-6 кВ для варианта 1 выполняется по имеющейся формуле:

$$\Delta U_{\text{факт}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (48)$$

$$3,1\% \leq 10\%.$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ - допустимая потеря напряжения по [3], 10 %.

Принимается сечение КЛ-6 кВ удовлетворяющее всем требованиям - 240 мм².

Аналогичные расчёты по выбору и проверке кабелей 6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 19.

Таблица 19 – Выбор и проверка кабелей 6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Наименование фидера 6 кВ	I _р кл, А	I _{доп} кл, А	L, км	F _{кл ΔU} , мм ²	F _{кл факт} , мм ³	R _{кл} , Ом/км	ΔU _{кл} , %
ПС - ТП 1-2-3-4-5 (вариант 1)	445	463	3,9	133	240	0,125	3,1
ПС - ТП 1-5 (вариант 2)	176	298	3,05	42	120	0,253	1,9
ПС - ТП 2-3-4 (вариант 2)	268	298	3,25	68	120	0,253	3,1
ПС - ТП 1-2-3-4-5 (вариант 2)	445	463	4,25	147	240	0,125	3,4

Проверка на термическое воздействие токов КЗ выполняется по результатам расчётов токов КЗ, показанном далее.

Время воздействия тока КЗ на участок КЛ-6 кВ до ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$t_{\text{возд}} = t_{\text{отк}} + T_a + \Delta t ; \quad (49)$$

$$t_{\text{возд}} = 0,055 + 0,008 + 0,5 = 0,563 \text{ с};$$

где $t_{\text{отк}}$ - время отключения выключателя нагрузки, 0,055 с;

T_a - постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ на стороне 6 кВ ТП-1, 0,008 с;

Δt - выдержка времени срабатывания защиты на головном участке КЛ-6 кВ, 0,5 с.

Расчётный тепловой импульс на участке КЛ-6 кВ до ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$B_{к\ расч} = I_{ПО}^{(3)2} \cdot t_{возд}, \quad (50)$$

$$B_{к\ расч} = 8,19^2 \cdot 0,563 = 37,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $I_{ПО}^{(3)}$ - ток КЗ по стороне 6 кВ ТП-1, 8,19 кА.

Номинальный тепловой импульс на участке КЛ-6 кВ до ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$B_{к\ ном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм}, \quad (51)$$

$$B_{к\ ном} = 22,7^2 \cdot 1 = 515 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $I_{терм}$ - ток термической стойкости кабеля АПвВнг (3х240) на участке до ТП-1, 22,7 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости кабеля АПвВнг (3х240) на участке до ТП-1, 1 с.

Проверка по термической стойкости КЛ-6 кВ до ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$B_{к\ расч} \leq B_{к\ ном},$$

$$37,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 515 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Аналогичные расчёты по термической стойкости КЛ-6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 20.

Таблица 20 – Термическая стойкость кабелей 6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Линия	$I^{(3)}_{по}$, кА	$t_{возд}$, с	$B_{к\ расч}$ кА ² ·с	$B_{к\ ном}$ кА ² ·с
ТП 1	8,19	0,563	37,8	515
ТП 5	6,74	2,561	116,3	515

Все выбранные сечения КЛ-6 кВ проверку по термической стойкости проходят.

3.4 Оптимальная конфигурация сети 6 кВ

Конфигурация сети 6 кВ выбирается на основе расчётов затрат на сооружение сетей по каждому из вариантов и издержек в каждом из них.

Соппротивление проектируемой КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$R_{\text{лин6кВ}} = L_{\text{лин6кВ}} \cdot \rho_{\text{пог уд}}, \quad (52)$$

$$R_{\text{лин6кВ}} = 3,9 \cdot 0,125 = 0,48 \text{ Ом},$$

где $\rho_{\text{пог уд}}$ - удельное погонное сопротивление линии 6 кВ, Ом/км;

Потери электроэнергии в проектируемой КЛ-6 кВ для варианта 1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$\Delta W_{\text{лин6кВ}} = \frac{P_{\text{расч лин6кВ}}^2 + Q_{\text{расч лин6кВ}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot \frac{R_{\text{лин6кВ}}}{n_{\text{ц}}} \cdot T, \quad (53)$$

$$\Delta W_{\text{лин6кВ}} = \frac{4446^2 + 1243^2}{6^2} \cdot \frac{0,48}{2} \cdot 4000 = 569733 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $P_{расч\ лин6кВ}$ – активная нагрузка по проектируемой КЛ-6 кВ для варианта 1, МВт;

$Q_{расч\ лин6кВ}$ – реактивная нагрузка по проектируемой КЛ-6 кВ для варианта 1, Мвар;

$n_{ц}$ – количество цепей линии;

$R_{лин6кВ}$ – активное сопротивление линии 6 кВ:

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

Аналогичные расчёты потерь электроэнергии для кабелей 6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 21.

Таблица 21 – Потери электроэнергии для кабелей 6 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

Наименование фидера 6 кВ	$P_{Р\ КЛ}, \text{ кВт}$	$Q_{Р\ КЛ}, \text{ кВар}$	$L, \text{ км}$	$R_{КЛ}, \text{ Ом/км}$	$\Delta W_{КЛ}, \text{ кВт*ч}$
ПС - ТП 1-2-3-4-5 (вариант 1)	4446	1243	3,9	0,125	569733
ПС - ТП 1-5 (вариант 2)	1762	502	3,05	0,253	143863
ПС - ТП 2-3-4 (вариант 2)	2684	741	3,25	0,253	354145
ПС - ТП 1-2-3-4-5 (вариант 2)	4446	1243	4,25	0,125	628926

Капитальные вложения в выключатели 6 кВ для вариантов сети 6 кВ рассчитываются по имеющейся формуле:

$$K_{выкл} = C_{выкл} \cdot N_{выкл}; \quad (54)$$

$$K_{выкл1} = 2 \cdot 450 = 900 \text{ тыс.руб.};$$

$$K_{выкл2} = 2 \cdot 450 = 900 \text{ тыс.руб.}$$

где $N_{\text{выкл}}$ - количество использованных ячеек выключателей на ПС 35/6 кВ Заводская, 2 шт;

$C_{\text{выкл}}$ - стоимость вакуумных выключателей 6 кВ без учёта монтажа, 450 тыс. руб./шт.

Капитальные вложения в кабели 6 кВ для вариантов сети 6 кВ рассчитываются по имеющейся формуле:

$$K_{\text{лин}} = L_{\text{лин}} \cdot C_{\text{лин}}, \quad (55)$$

$$K_{\text{лин1}} = L_{\text{лин-240}} \cdot C_{\text{лин-240}} = 7,7 \cdot 2045 = 15747 \text{ тыс.руб.},$$

$$K_{\text{лин2}} = L_{\text{лин-240}} \cdot C_{\text{лин-240}} = 6,75 \cdot 2045 = 13804 \text{ тыс.руб.},$$

где $L_{\text{лин-240}}$ - протяженность линий выполненной кабелем сечением 240 мм², км;

$C_{\text{лин-240}}$ - стоимость кабеля сечением 240 мм², принимается по [12] 2045 тыс. руб./км;

Упрощённо допускается принимать оптимальную конфигурацию по приведенным затратам на сооружение и эксплуатацию сети:

$$Z = E \cdot K + И = E \cdot (K_{\text{лин}} + K_{\text{выкл}}) + (A_{\text{лин}} \cdot K_{\text{лин}} + A_{\text{выкл}} \cdot K_{\text{выкл}}) + C_0 \cdot \Delta W_{\text{лин6кВ}}, \quad (56)$$

$$Z_1 = 0,1 \cdot (15747 + 900) + (0,005 \cdot 15747 + 0,059 \cdot 900) + 1,63 \cdot (569733) = 3126 \text{ тыс.руб.},$$

$$Z_2 = 0,1 \cdot (13804 + 900) + (0,005 \cdot 13804 + 0,059 \cdot 900) + 1,63 \cdot (1126934) = 3783 \text{ тыс.руб.},$$

где E - норматив дисконтирования, принимается по [19] 0,1;

A - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание $A_{\text{выкл}}$
 $= 5,9\%$, $A_{\text{лин}} = 0,4\%$;

$\Delta W_{\text{лин}10\text{кВ}}$ - потери электроэнергии в КЛ-6 кВ, кВтч;

C_0 – удельная стоимость потерь электроэнергии, принимается 1,63 руб/кВтч.

Разница в затратах 656 тыс.руб., по отношению к большей величине это $\frac{656}{3783} \cdot 100\% = 21\%$. Вариант 1 оптимальный для проектирования по минимуму приведенных затрат, подробная однолинейная схема сети 6 кВ по варианту 1 приведена на листе графической части №2.

4 РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ 6-0,4 КВ

Расчеты токов КЗ производятся для выбора или проверки параметров электрооборудования, а также для выбора и проверки уставок релейной защиты и автоматики.

4.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 6 кВ

Для оценки, расчет проводим для ближней ТП-1 и дальней ТП-5, поясняющая схема приводится на рисунке 5, схема замещения на рисунке 6.

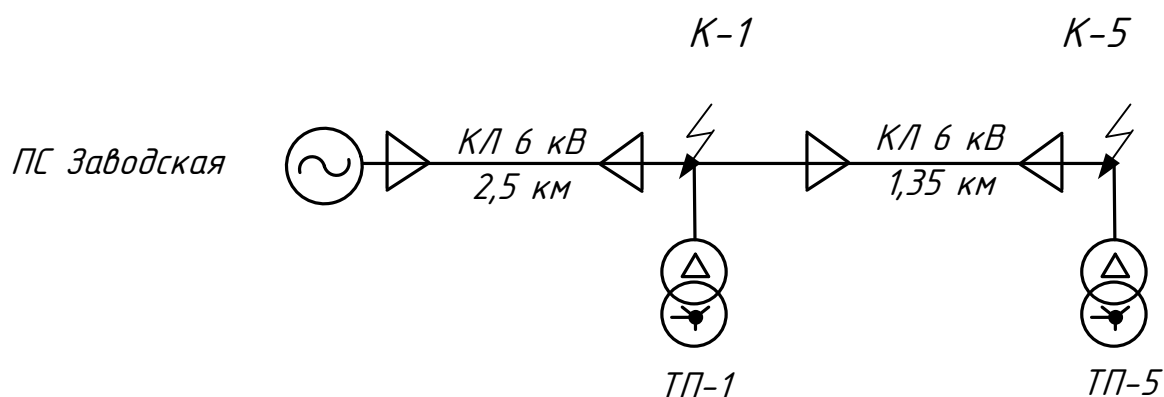


Рисунок 5 – Поясняющая схема для расчёта токов КЗ в сети 6 кВ

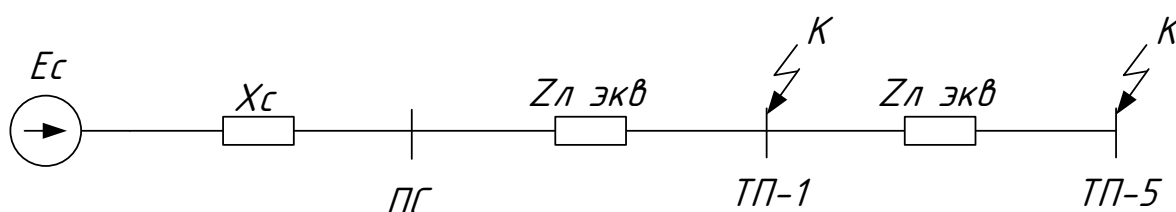


Рисунок 6 – Схема замещения для расчёта токов КЗ в сети 6 кВ

Сопротивление системы относительно шин ПС Заводская 6 кВ рассчитываются по имеющейся формуле:

$$X_c = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{выкл}^{(3)}}, \quad (57)$$

$$X_c = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 0,29 \text{ Ом},$$

где $I_{\text{выкл}}^{(3)}$ - номинальный ток отключения выключателя, установленного на центре питания [15], для выключателя ВВ/Тел принимается 12,5 кА.

Сопротивление участков КЛ относительно шин ТП-1 рассчитываются по имеющейся формуле:

$$R_{\text{лин } 6\text{кВ}} = R_{\text{уд лин } 6\text{кВ}} \cdot L / N_{\text{ц}} ; \quad (58)$$

$$R_{\text{лин } 6\text{кВ}} = 0,125 \cdot 2,5 / 2 = 0,16 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{лин } 6\text{кВ}} = X_{\text{уд лин } 6\text{кВ}} \cdot L ; \quad (59)$$

$$X_{\text{лин } 6\text{кВ}} = 0,1 \cdot 2,5 / 2 = 0,125 \text{ Ом};$$

где L – длина участка до точки КЗ на стороне 6 кВ ТП-1, 2,5 км.

Ток трехфазного короткого замыкания в начальный момент времени для шин ВН ТП-1 рассчитываются по имеющейся формуле:

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} , \quad (60)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,16)^2 + (0,29 + 0,125)^2}} = 8,2 \text{ кА},$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение на ЦП, принимается 6,3 кВ.

Ток двухфазного короткого замыкания в начальный момент времени для шин ВН ТП-1 рассчитываются по имеющейся формуле:

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{ПО}}^{(3)}, \quad (61)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,2 = 7,12 \text{ кА}$$

Постоянная затухания тока короткого замыкания в начальный момент времени для шин ВН ТП-1 рассчитываются по имеющейся формуле:

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (62)$$

$$T_a = \frac{0,125 + 0,29}{0,16 \cdot 314} = 0,008 \text{ с}$$

Коэффициент затухания тока короткого замыкания в начальный момент времени для шин ВН ТП-1 рассчитываются по имеющейся формуле:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{\frac{0,01}{T_a}}, \quad (63)$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,008}} = 1,3 .$$

Ударный ток короткого замыкания в начальный момент времени для шин ВН ТП-1 рассчитываются по имеющейся формуле:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО}}, \quad (64)$$

$$i_{y\partial} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,2 = 15,1 \text{ кА}$$

Аналогичные расчёты токов КЗ на стороне 6 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 22.

Таблица 22 – Токи КЗ в сети 6 кВ

точка	L , км	R_{Σ} , Ом	X_{Σ} , Ом	Z_{Σ} , Ом	$I_{по}^{(3)}$, кА	$I_{по}^{(2)}$, кА	T , с	$K_{уд}$	$i_{уд}$, кА
ТП 1	2,5	0,16	0,42	0,44	8,19	7,12	0,008	1,3	15,1
ТП 5	3,9	0,24	0,48	0,54	6,74	5,86	0,006	1,2	11,5

4.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ

Уровни токов КЗ в сети 0,4 кВ так же оценочно находятся на ближайшем и дальнейшем потребителе по кабельной линии 0,4 кВ. Сопротивления кабельных линий принимаются на основе выбранных ранее КЛ 0,4 кВ, [9]. Сопротивления трансформаторов принимаются на основе выбранных трансформаторов 6/0,4 кВ, [9].

Для магистрали ПС - ТП 1-2-3-4-5 составляется схема замещения с указанием сопротивлений элементов схемы замещения (рисунок 7).

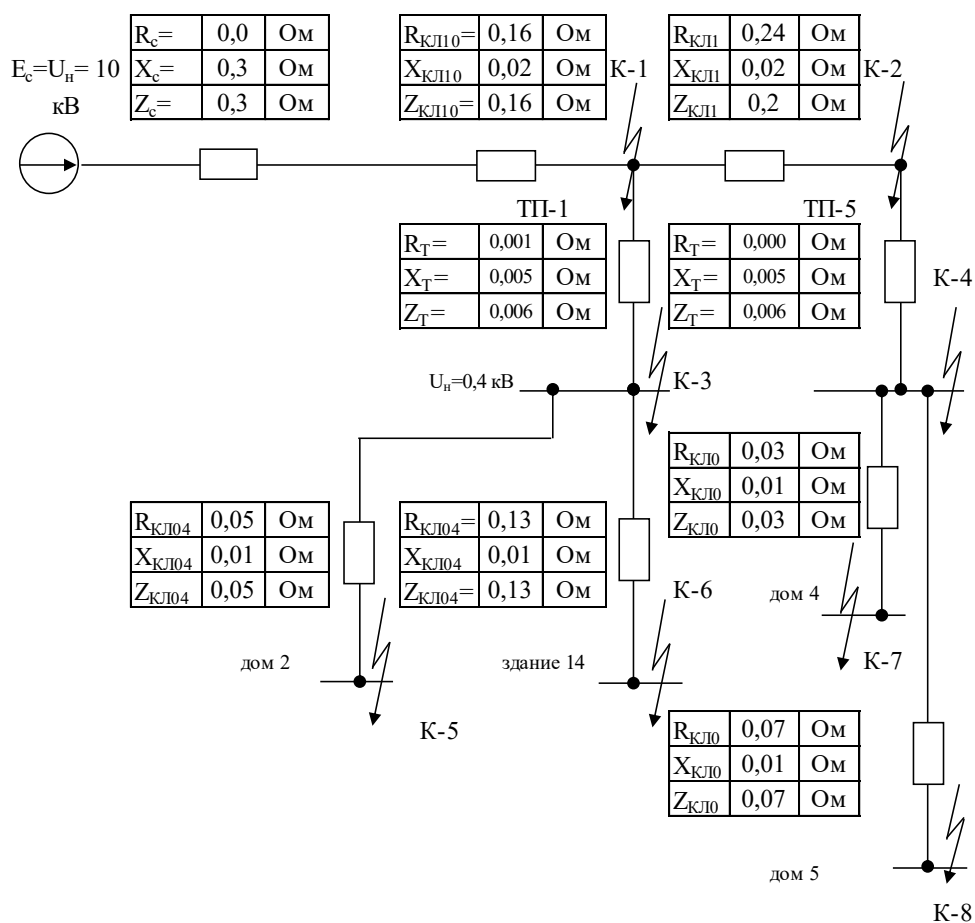


Рисунок 7 – Схема замещения магистрали ПС - ТП 1-2-3-4-5

Суммарное сопротивление до точки К-3 на стороне 0,4 кВ ТП-1 рассчитываются по имеющейся формуле:

$$X_{\Sigma} = X_T + X_c = X_T + \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{ПО ВН}^{(3)}} \cdot \left(\frac{1}{K_T} \right)^2, \quad (65)$$

$$X_{\Sigma} = 0,005 + \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 8,2} \cdot \left(\frac{1}{\frac{6}{0,4}} \right)^2 = 0,005 \text{ Ом},$$

$$R_{\Sigma} = R_T = 0,001 \text{ Ом},$$

где X_T - реактивное сопротивление трансформатора 0,0054 Ом, [10];

$U_{ном}$ - номинальное напряжение на стороне ВН ТП, принимается 6 кВ;

$I_{ПО ВН}^{(3)}$ - периодическая составляющая тока трёхфазного КЗ на стороне ВН ТП, рассчитана ранее, 8,2 кА;

K_T - коэффициент трансформации со стороны ВН на НН, определяется как $\frac{6}{0,4}$.

На стороне НН ТП-1 в точке К-3 периодическая составляющая тока трёхфазного КЗ находится как:

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (66)$$

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,005^2 + 0,001^2}} = 6,9 \text{ кА},$$

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

На стороне НН ТП в точке К-3 периодическая составляющая тока однофазного КЗ находится как:

$$I_{II0}^{(1)} = \frac{U_{ном} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(2 \cdot R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (67)$$

$$I_{II0}^{(1)} = \frac{0,4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(2 \cdot 0,005 + 0,005)^2 + (2 \cdot 0,001 + 0,001)^2}} = 6 \text{ кА},$$

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

$R_{0\Sigma}$, $X_{0\Sigma}$ - сопротивления элементов нулевой последовательности, для системы равняется нулю; для кабельных линий упрощённо принимаются $X_{0л} = 3,5 \cdot X_{1л}$, $R_{0л} = 10 \cdot R_{1л}$; для трансформаторов определяется схемой соединения обмоток, для принятой схемы треугольник-звезда с нейтралью равно сопротивлению прямой последовательности при учёте элементов за трансформатором Ом.

Для наглядности результаты расчёта покажем на рисунке 8.

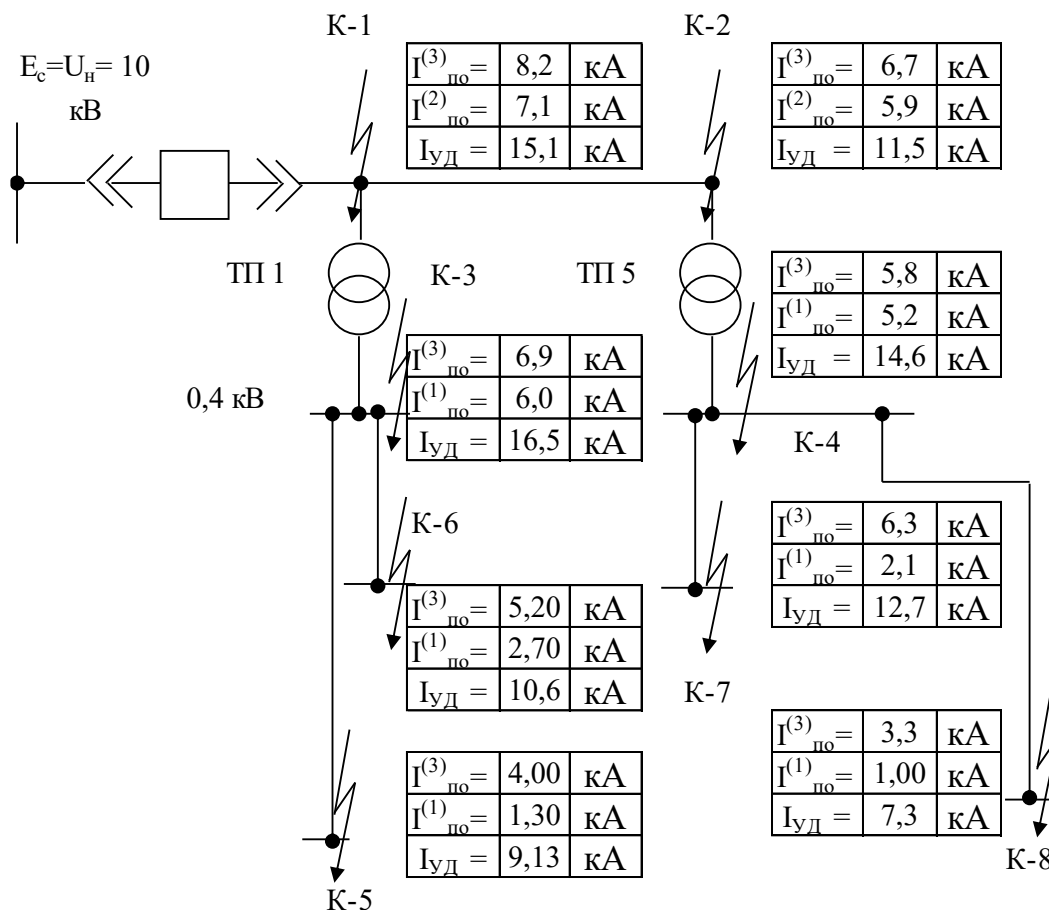


Рисунок 8 - Токи КЗ сети 0,4 кВ для ТП 5 и ТП 1

Вывод по разделу: на основе полученных токов короткого замыкания выполняются проверки на термическую стойкость кабелей 6 кВ, оборудования 6 кВ, проверяются на надёжность срабатывания устройства РЗА.

5 ВЫБОР И ПРОВЕРКА АППАРАТОВ В СЕТИ 0,4 КВ

5.1 Линейные автоматические выключатели

Выбор линейных автоматических выключателей по номинальному напряжению для линии 1 ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$U_{ном} \leq U_{ном авт} , \quad (68)$$

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

Выбор линейных автоматических выключателей по номинальному току для линии 1 ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{расч} \leq I_{ном ВА} , \quad (69)$$

$$176 \text{ А} \leq 250 \text{ А},$$

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

Аналогичные расчёты по выбору линейных автоматических выключателей на стороне 0,4 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 23.

Таблица 23 – Выбор линейных автоматических выключателей 0,4 кВ

Тип потребителей	Наим. потр.	$I_{расч}$, А	$I_{ном ВА}$, А	Тип автоматического выключателя
1	2	3	4	5
ТП-1				
Нагрузка жилых домов	1	176	250	АЕ-2063
	2	176	250	АЕ-2063
Нагрузка общественных зданий	14	81	100	АЕ-2063
	15,16	93	100	АЕ-2063

1	2	3	4	5
ТП-2				
Нагрузка жилых домов	10	228	250	АЕ-2063
	11	198	250	АЕ-2063
	12	198	250	АЕ-2063
ТП-3				
Нагрузка жилых домов	8	228	250	АЕ-2063
	9	228	250	АЕ-2063
	13	198	250	АЕ-2063
ТП-4				
Нагрузка жилых домов	6	138	160	АЕ-2063
	7	228	250	АЕ-2063
ТП-5				
Нагрузка жилых домов	3	175	250	АЕ-2063
	4	276	300	АЕ-2063
	5	138	160	АЕ-2063

Проверка линейных автоматических выключателей по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для линии 1 ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{отк} \geq I_{по}^{(3)}, \quad (70)$$

$$25 \text{ кА} \geq 5,2 \text{ кА},$$

где $I_{отк}$ – отключающая способность автоматического выключателя АЕ-2063, 25 кА.

Проверка линейных автоматических выключателей по чувствительности к токам КЗ для линии 1 ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$1,25 I_{расц} \leq I_{по}^{(1)}, \quad (71)$$

$$1,25 \text{ кА} \leq 1,3 \text{ кА},$$

где $I_{расц}$ – ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя АЕ-2063, 1 кА.

Аналогичные расчёты по проверке линейных автоматических выключателей на стороне 0,4 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 24.

Таблица 24 – Проверка линейных автоматических выключателей 0,4 кВ

Условие	Формула	Потребители	Выполнение
по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ	$I_{отк} > I^{(3)}_{по}$	дом 2 от ТП1	$25 > 5,2$
		здание 14 от ТП1	$25 > 5,2$
		дом 4 от ТП5	$25 > 4$
		дом 5 от ТП5	$25 > 4$
по чувствительности к токам КЗ	$1,25 I_{расц} < I^{(1)}_{по}$	дом 2 от ТП1	$1,25 < 1,3$
		здание 14 от ТП1	$1,25 < 1,3$
		дом 4 от ТП5	$1,25 < 2,7$
		дом 5 от ТП5	$1,25 < 2,7$

Все линейные автоматические выключатели 0,4 кВ проверку проходят.

5.2 Вводные автоматические выключатели

Выбор вводных автоматических выключателей по номинальному напряжению для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$U_{ном} \leq U_{ном авт} , \quad (72)$$

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

Выбор вводных автоматических выключателей по номинальному току для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{расч} \leq I_{ном ВА} , \quad (73)$$

$$804 \text{ А} \leq 1000 \text{ А},$$

где $I_{ном\ BA}$ - номинальный ток автоматического выключателя ВА54-41, 1000 А.

Аналогичные расчёты по выбору вводных автоматических выключателей на стороне 0,4 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 25.

Таблица 25 – Выбор водных автоматических выключателей 0,4 кВ

№ ТП	$I_{расч}$, А	$I_{ном\ BA}$, А	Марка выключателя
ТП-1	804	1000	ВА54-41
ТП-2	921	1000	ВА54-41
ТП-3	922	1000	ВА54-41
ТП-4	574	1000	ВА54-41
ТП-5	791	1000	ВА54-41

Проверка вводных автоматических выключателей по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{отк} \geq I^{(3)}_{по},$$

$$25 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА},$$

где $I_{отк}$ – отключающая способность автоматического выключателя ВА 54-41, 25 кА.

Проверка вводных автоматических выключателей по чувствительности к токам КЗ для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$1,25I_{расц} \leq I^{(1)}_{по},$$

$$1,25 \cdot 4 = 5 \text{ кА} \leq 6 \text{ кА},$$

где $I_{расц}$ – ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя ВА 54-41, 4 кА.

Аналогичные расчёты по проверке вводных автоматических выключателей на стороне 0,4 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 26.

Таблица 26 – Проверка вводных автоматических выключателей 0,4 кВ

по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ	$I_{отк} > I^{(3)}_{по}$	ТП1	25 > 6,9
		ТП5	25 > 5,8
по чувствительности к токам КЗ	$1,25 I_{расч} < I^{(1)}_{по}$	ТП1	5 < 6
		ТП5	5 < 5,2

Все вводные автоматические выключатели 0,4 кВ проверку проходят.

5.3 Рубильники

Выбор вводных рубильников по номинальному току для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{расч} \leq I_{ном руб} ,$$

$$804 \text{ А} \leq 1000 \text{ А},$$

где $I_{ном руб}$ - номинальный ток рубильника РЕ-1941, 1000 А.

Аналогичные расчёты по выбору вводных рубильников на стороне 0,4 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 27.

Таблица 27 – Выбор водных рубильников 0,4 кВ

№ ТП	$I_{расч} , \text{ А}$	$I_{ном руб} , \text{ А}$	Марка рубильника
ТП-1	804	1000	РЕ-1941
ТП-2	921	1000	РЕ-1941
ТП-3	922	1000	РЕ-1941
ТП-4	574	1000	РЕ-1941
ТП-5	791	1000	РЕ-1941

Проверка вводных рубильников по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{отк} \geq I^{(3)}_{по},$$

$$25 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА},$$

где $I_{отк}$ – отключающая способность рубильников РЕ-1941, 25 кА.

Аналогичные расчёты по проверке вводных рубильников на стороне 0,4 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 28.

Таблица 28 – Проверка вводных рубильников 0,4 кВ

по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ	$I_{отк} > I^{(3)}_{по}$	ТП1	25 > 6,9
		ТП5	25 > 5,8

Все вводные рубильники 0,4 кВ проверку проходят.

5.4 Кабели

Потеря напряжения по линии 1 0,4 кВ от ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$\Delta U_{факт} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{расч} \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos(\varphi) + x_0 \cdot \sin(\varphi))}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (74)$$

$$\Delta U_{факт} = \frac{\sqrt{3} \cdot 176 / 2 \cdot 0,2 \cdot (0,261 \cdot 0,98 + 0,06 \cdot 0,2)}{0,4} \cdot 100\% = 4,3\%,$$

где $\cos(\varphi)$ и $\sin(\varphi)$ – средние коэффициенты мощности по КЛ-0,4 кВ;

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

L – длина кабельной линии 0,4 кВ 1 от ТП-1, км;

r_0, x_0 – удельные сопротивления ранее выбранных КЛ 0,4 кВ, Ом/км.

Проверка по допустимой потере напряжения КЛ-0,4 кВ для линии 1 ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$\Delta U_{\text{факт}} \leq \Delta U_{\text{доп}},$$

$$4,3\% \leq 10\%.$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ - допустимая потеря напряжения по [3], 10 %.

Аналогичные расчёты по проверке кабелей 0,4 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 29.

Таблица 29 – Проверка кабелей 0,4 кВ жилого комплекса Новый квартал в г. Артём

	Наим. потр.	$I_{\text{расч}},$ А	L, км	cosφ	sinφ	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔU, %
ТП-1								
Нагрузка жилых домов	1	176	0,2	0,98	0,20	0,261	0,060	4,3
	2	176	0,25	0,98	0,20	0,208	0,060	4,3
Нагрузка общественных зданий	14	81	0,1	0,95	0,31	1,250	0,066	4,5
	15,16	93	0,3	0,92	0,39	0,447	0,061	4,6
ТП-2								
Нагрузка жилых домов	10	228	0,15	0,95	0,31	0,261	0,060	4,2
	11	198	0,15	0,93	0,37	0,329	0,060	4,4
	12	198	0,20	0,93	0,37	0,261	0,060	4,8
ТП-3								
Нагрузка жилых домов	8	228	0,15	0,93	0,37	0,261	0,060	4,1
	9	228	0,15	0,93	0,37	0,261	0,060	4,1
	13	198	0,2	0,95	0,31	0,261	0,060	4,8
ТП-4								
Нагрузка жилых домов	6	138	0,25	0,98	0,20	0,261	0,060	4,2
	7	228	0,15	0,95	0,31	0,261	0,060	4,2
ТП-5								
Нагрузка жилых домов	3	175	0,15	0,98	0,20	0,329	0,060	4,0
	4	276	0,10	0,98	0,20	0,329	0,060	4,2
	5	138	0,20	0,98	0,20	0,329	0,060	4,2

В нормальном режиме условие выполняется. В послеаварийном режиме при отключении одной из цепей падение напряжения увеличивается в 2 раза и составляет 9,2%, что не превышает допустимую для аварийного режима потерю напряжения 10% [3].

6 ВЫБОР И ПРОВЕРКА АППАРАТОВ В СЕТИ 6 КВ

6.1 Предохранители

Используются предохранители марки ПКТ-104-6УЗ, [17].

Выбор предохранителей по номинальному напряжению для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$U_{ном} \leq U_{ном\ пред} , \quad (75)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Расчёт тока для выбора предохранителей по номинальному току для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{расч} = \frac{S_{тр\ ном} \cdot K_{пер}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} , \quad (76)$$

$$I_{расч} = \frac{1000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 6} = 135 \text{ А} ,$$

где $S_{тр\ ном}$ - номинальная мощность защищаемого трансформатора, 1000 кВА;

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

$K_{пер}$ - коэффициент перегрузки трансформатора, 1,4.

Выбор предохранителей по номинальному току для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{расч} \leq I_{ном\ вст\ пред} \leq I_{ном\ пред} , \quad (77)$$

$$135 \text{ А} \leq 180 \text{ А} \leq 180 \text{ А},$$

где $I_{\text{ном вст пред}}$ - номинальный ток плавкой вставки предохранителя марки ПКТ-104-6УЗ, 180 А;

$I_{\text{ном пред}}$ - номинальный ток предохранителя марки ПКТ-104-6УЗ, 180 А.

Аналогичные расчёты по выбору предохранителей на стороне 6 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 30.

Таблица 30 – Выбор предохранителей 6 кВ

№ ТП	$S_{\text{тр ном}}$, кВА	$I_{\text{расч}}$, А	$I_{\text{ном ПР}}$, А	$I_{\text{вст}}$, А	Тип предохранителя
ТП-1	1000	135	160	160	ПКТ-104-6УЗ
ТП-2	1000	135	160	160	ПКТ-104-6УЗ
ТП-3	1000	135	160	160	ПКТ-104-6УЗ
ТП-4	630	85	100	100	ПКТ-103-6УЗ
ТП-5	1000	135	160	160	ПКТ-104-6УЗ

Проверка вводных предохранителей по разрушающему действию трёх-фазных токов КЗ для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{\text{отк}} \geq I^{(3)}_{\text{по}},$$

$$31,5 \text{ кА} \geq 8,19 \text{ кА},$$

где $I_{\text{отк}}$ – отключающая способность предохранителя марки ПКТ-104-6УЗ, 31,5 кА.

Аналогичные расчёты по проверке предохранителей на стороне 6 кВ ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 31.

Таблица 31 – Проверка предохранителей 6 кВ

№ ТП	$I^{(3)}_{\text{по}}$, кА	$I_{\text{отк}}$, кА
ТП-1	8,19	31,5
ТП-2	8,19	31,5
ТП-3	8,19	31,5
ТП-4	8,19	31,5
ТП-5	6,74	31,5

Все предохранители марки ПКТ-104-6УЗ на ток 160 А выбраны и проверены.

6.2 Выключатели нагрузки

Используются выключатели нагрузки ВНА-10-400У2, [6].

Выбор выключателей нагрузки по номинальному напряжению для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$U_{ном} \leq U_{ном ВН} ,$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Выбор выключателей нагрузки по номинальному току для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{расч} \leq I_{ном ВН} ,$$

$$135 \text{ А} \leq 400 \text{ А},$$

где $I_{ном ВН}$ - номинальный ток выключателя нагрузки ВНА-10-400У2, 400 А [11].

Аналогичные расчёты по выбору выключателей нагрузки 6 кВ на ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 32.

Таблица 32 – Выбор выключателей нагрузки 6 кВ

№ ТП	$I_{расч}$, А	$I_{ном}$, А	Тип предохранителя
ТП-1	135	400	ВНА-10-400У2
ТП-2	135	400	ВНА-10-400У2
ТП-3	135	400	ВНА-10-400У2
ТП-4	85	400	ВНА-10-400У2
ТП-5	135	400	ВНА-10-400У2

Проверка выключателей нагрузки по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{отк} \geq I_{по}^{(3)},$$

$$20 \text{ кА} \geq 8,19 \text{ кА},$$

где $I_{отк}$ – отключающая способность выключателей нагрузки ВНА-10-400У2, 20 кА.

Время воздействия тока КЗ на выключатель нагрузки на ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$t_{возд} = t_{отк} + T_a + \Delta t ;$$

$$t_{возд} = 0,055 + 0,008 + 0,5 = 0,563 \text{ с};$$

где $t_{отк}$ - время отключения выключателя нагрузки, 0,055 с;

T_a - постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ на стороне 6 кВ ТП-1, 0,008 с;

Δt - выдержка времени срабатывания защиты на головном участке КЛ-6 кВ, 0,5 с.

Расчётный тепловой импульс выключателя нагрузки на ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$B_{к \text{ расч}} = I_{ПО}^{(3)2} \cdot t_{возд}, \quad (78)$$

$$B_{к \text{ расч}} = 8,19^2 \cdot 0,563 = 37,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $I_{ПО}^{(3)}$ - ток КЗ по стороне 6 кВ ТП-1, 8,19 кА.

Номинальный тепловой импульс выключателя нагрузки на ТП-1 рассчитывается по имеющейся формуле:

$$B_{к ном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм}, \quad (79)$$

$$B_{к ном} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $I_{терм}$ - ток термической стойкости выключателей нагрузки ВНА-10-400У2, 20 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости выключателей нагрузки ВНА-10-400У2, 1 с.

Проверка по термической стойкости выключателей нагрузки на ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$B_{к расч} \leq B_{к ном}, \quad (80)$$

$$37,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Проверка по электродинамической стойкости выключателей нагрузки на ТП-1 выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{уд} \leq I_{дин}, \quad (81)$$

$$15,1 \text{ кА} \leq 51 \text{ кА},$$

где $I_{дин}$ - ток динамической стойкости выключателей нагрузки ВНА-10-400У2, 51 кА;

Аналогичные расчёты по проверке выключателей нагрузки 6 кВ на ТП проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 33.

Таблица 33 – Проверка выключателей нагрузки 6 кВ

№ ТП	$B_{K \text{ расч}}, \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{K \text{ ном}}, \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{уд}, \text{ кА}$	$I_{дин}, \text{ кА}$
ТП-1	37,8	400	15,1	51
ТП-2	37,8	400	15,1	51
ТП-3	37,8	400	15,1	51
ТП-4	37,8	400	15,1	51
ТП-5	116,3	400	11,5	51

Для всех ТП выключатели выбраны правильно.

Выбранное оборудование на ТП района проектирования указано на листе графической части №4.

7 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ В ЦЕНТРЕ ПИТАНИЯ

При расчете вариантов сети 6 кВ оптимальным оказался вариант подключения КЛ 6 кВ к ПС Заводская.

7.1 Выбор и проверка силовых трансформаторов в центре питания

Для проверки загрузки силовых трансформаторов ПС Заводская после подключения района проектирования необходимо определить суммарную нагрузку на шинах 6 кВ ПС Заводская.

Так как подключаемая резервируемая КЛ-6 кВ ПС - ТП 1-2-3-4-5 в районе проектирования единственная, то её расчётная нагрузка должна быть в полном объёме учтена на шинах ПС Заводская.

Расчётная нагрузка, подключаемая к ПС Заводская рассчитывается по имеющейся формуле:

$$P_{расч ЦП} = P_{макс} + P_{расч лин6кВ}; \quad (82)$$

$$P_{расч ЦП} = 9,31 + 4,446 = 13,756 \text{ МВт};$$

$$Q_{расч ЦП} = Q_{макс} + Q_{расч лин6кВ}; \quad (83)$$

$$Q_{расч ЦП} = 1,62 + 1,243 = 2,863 \text{ Мвар};$$

где $P_{макс}, Q_{макс}$ - замерная максимальная нагрузка на стороне 6 кВ ПС Заводская за 2024 год, $9,31 + 1,62i$ МВА [2];

$P_{расч лин6кВ}, Q_{расч лин6кВ}$ - ранее определенная нагрузка подключаемой КЛ-6 кВ к ПС Заводская, $4,446 + 1,243i$ МВА.

Коэффициент загрузки установленных на ПС Заводская силовых трансформаторов 6,3 МВА рассчитывается по имеющейся формуле:

$$K_{загр\ норм} = \frac{\sqrt{P_{расч\ ЦП}^2 + Q_{расч\ ЦП}^2}}{S_{ф\ СТ} \cdot n_T}; \quad (84)$$

$$K_{загр\ норм} = \frac{\sqrt{13,756^2 + 2,863^2}}{6300 \cdot 2} = 1,15.$$

Имеющиеся трансформаторы на ПС Заводская 2х6,3 МВА перегружены в нормальном режиме, необходима их замена для возможности подключения жилого комплекса Новый квартал в г. Артём.

Расчётная мощность трансформаторов 35/6 кВ для ПС Заводская рассчитывается по имеющейся формуле:

$$S_{р\ СТ} = \frac{\sqrt{P_{расч\ ЦП}^2 + Q_{расч\ ЦП}^2}}{n_T \cdot K_3^{ОПТ}}, \quad (85)$$

$$S_{р\ СТ} = \frac{\sqrt{13,756^2 + 2,863^2}}{0,7 \cdot 2} = 10 \text{ МВА},$$

где $K_3^{ОПТ}$ - коэффициент загрузки, 0,7 для трансформаторов 35/6 кВ.

Номинальная мощность трансформаторов 35/6 кВ для ПС Заводская выбирается по имеющейся формуле:

$$S_{р\ СТ} \leq S_{ном}, \quad (86)$$

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

где $S_{ном}$ - номинальная мощность трансформаторов 35/6 кВ для ПС Заводская, ближайшая большая величина составляет 10 МВА, марка ТМ (масляные).

Коэффициент загрузки для нормального режима работы двух трансформаторов 35/6 кВ для ПС Заводская рассчитывается по имеющейся формуле:

$$K_{\text{загр норм}} = \frac{\sqrt{P_{\text{расч ЦП}}^2 + Q_{\text{расч ЦП}}^2}}{S_{\text{ф СТ}} \cdot n_T}; \quad (87)$$

$$K_{\text{загр норм}} = \frac{\sqrt{13,756^2 + 2,863^2}}{10000 \cdot 2} = 0,7;$$

$$K_{\text{загр норм}} \leq K_{\text{загр доп}};$$

$$0,7 \leq 0,75.$$

Коэффициент загрузки для нормального режима работы двух трансформаторов 35/6 кВ для ПС Заводская не превышает 0,75, поэтому трансформаторы выбраны корректно.

Коэффициент загрузки для послеаварийного режима работы одного из трансформаторов 35/6 кВ для ПС Заводская рассчитывается по имеющейся формуле:

$$K_{\text{загр послеав}} = \frac{\sqrt{P_{\text{расч ЦП}}^2 + Q_{\text{расч ЦП}}^2}}{S_{\text{ф СТ}} \cdot (n_T - 1)},$$

$$K_{\text{загр послеав}} = \frac{\sqrt{13,756^2 + 2,863^2}}{10000 \cdot (2 - 1)} = 1,4.$$

$$K_{\text{загр послеав}} \leq K_{\text{загр доп}};$$

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

Коэффициент загрузки для послеаварийного режима работы одного из трансформаторов 35/6 кВ для ПС Заводская не превышает 1,4, поэтому трансформаторы выбраны корректно.

7.2 Компенсация реактивной мощности

Для увеличения пропускной способности питающих линий и уменьшения потерь электроэнергии рассчитаем необходимую мощность батарей конденсаторов:

$$Q_{\text{треб БК}} = Q_{\text{расч ЦП}} - P_{\text{расч ЦП}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{пред}}, \quad (88)$$

$$Q_{\text{треб БК}} = 2,863 - 13,756 \cdot 0,4 = -2,64 \text{ Мвар},$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{\text{пред}}$ - предельное значение коэффициента реактивной мощности при подключении потребителя к шинам 6 кВ ПС, 0,4 по [32].

Компенсация реактивной мощности для ПС Заводская не требуется.

7.3 Компенсация емкостных токов

Оценочно величина ёмкостного тока определяется по формуле:

$$I_c = \frac{1,35 \cdot U_{\text{ном}} \cdot L_{\text{лин}}}{10}, \quad (89)$$

$$I_c = \frac{1,35 \cdot 6 \cdot 7,7}{10} = 6,2 \text{ А},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, 6 кВ;

Необходимость компенсации емкостного тока для подключаемых КЛ-6 кВ к ПС Заводская проверяется по имеющейся формуле:

$$I_c \leq I_{c \text{ доп}}; \quad (90)$$

$$6,2 \text{ A} \leq 30 \text{ A}.$$

Установка дугогасящего реактора не требуется.

7.4 Выбор и проверка КРУ

На стороне 6 кВ ПС Заводская применяются КРУ D-12P (Таврида электрик) с учётом использования комплектов совместимости и ячейками другого типа выполнения [29].

Выбор ячеек КРУ и входящего в их состав оборудования (выключатели 6 кВ, трансформаторы тока 6 кВ, жесткая ошиновка 6 кВ, трансформаторы напряжения 6 кВ, ограничители перенапряжения 6 кВ, предохранители 6 кВ трансформаторов напряжения, опорные изоляторы 6 кВ) проводится по номинальному напряжению и току, показывается на примере линейных ячеек КРУ.

Выбор линейных ячеек КРУ по номинальному напряжению для КЛ-6 кВ выполняется по имеющейся формуле:

$$U_{ном} \leq U_{ном}, \quad (91)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Выбор линейных ячеек КРУ по номинальному току для КЛ-6 кВ выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{расч \text{ лин} 6 \text{ кВ}} \leq I_{ном}, \quad (92)$$

$$445 \text{ A} \leq 630 \text{ A},$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток линейных ячеек КРУ D-12P, 630 А.

Время воздействия тока КЗ на линейную ячейку КРУ рассчитывается по имеющейся формуле:

$$t_{\text{возд}} = t_{\text{отк}} + T_a + \Delta t ;$$

$$t_{\text{возд}} = 0,045 + 0,008 + 0,5 = 0,553 \text{ с};$$

где $t_{\text{отк}}$ - время отключения выключателя, 0,045 с;

T_a - постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ на стороне 6 кВ ТП-1, 0,008 с;

Δt - выдержка времени срабатывания защиты на головном участке КЛ-6 кВ, 0,5 с.

Расчётный тепловой импульс линейной ячейки КРУ рассчитывается по имеющейся формуле:

$$B_{\text{к расч}} = I_{\text{ПО}}^{(3)2} \cdot t_{\text{возд}}, \quad (93)$$

$$B_{\text{к расч}} = 8,19^2 \cdot 0,553 = 37,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $I_{\text{ПО}}^{(3)}$ - ток КЗ по стороне 6 кВ ТП-1, 8,19 кА.

Номинальный тепловой импульс линейной ячейки КРУ рассчитывается по имеющейся формуле:

$$B_{\text{к ном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}, \quad (94)$$

$$B_{\text{к ном}} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $I_{\text{терм}}$ - ток термической стойкости линейной ячейки КРУ, 20 кА;

$t_{\text{терм}}$ - время термической стойкости линейной ячейки КРУ, 1 с.

Проверка по термической стойкости линейной ячейки КРУ выполняется по имеющейся формуле:

$$B_{к\text{ расч}} \leq B_{к\text{ ном}}, \quad (95)$$

$$37,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Проверка по электродинамической стойкости линейной ячейки КРУ выполняется по имеющейся формуле:

$$i_{скв} \geq i_{уд},$$

$$51 \text{ кА} \geq 15,1 \text{ кА},$$

где $i_{скв}$ - ток динамической стойкости линейной ячейки КРУ, 51 кА;

Аналогичные расчёты по проверке линейной ячейки КРУ проводятся по показанному порядку, итоговые данные сводятся в таблицу 34.

Таблица 34 – Выбор и проверка КРУ 6 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 51 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 445 \text{ А}$ $i_{уд} = 15,1 \text{ кА}$ $B_{к.расч} = 37,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{уст} \geq U_{ном}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_{к}$

7.5 Выбор и проверка выключателей 6 кВ

Допустимое значение апериодической составляющей:

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{ном\text{ откл}}, \quad (96)$$

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

где β_n – номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе выключателя ВВ/Тел-6-20/630 - 40%;

$I_{\text{ном откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя ВВ/Тел-6-20/630, 20 кА.

Проверка по отключающей способности выключателя выполняется по имеющейся формуле:

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

$$20 \text{ кА} \geq 8,19 \text{ кА}.$$

Проверка по отключению апериодической составляющей тока КЗ выключателя выполняется по имеющейся формуле:

$$i_{a.\text{ном}} \geq i_{at}; \quad (97)$$

$$11,31 \text{ кА} \geq 8,19 \text{ кА}.$$

Проверка по отключению полного тока КЗ выключателя выполняется по имеющейся формуле:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{по}}^{(3)} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном отк}}^{(3)} \cdot (1 + \beta_{\text{н}}); \quad (98)$$

$$\sqrt{2} \cdot 8,19 + 8,19 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,4);$$

$$19,82 \leq 39,76 \text{ кА}.$$

Проверка по термической и электродинамической стойкости выключателей выполняются аналогично ячейкам КРУ.

Результат расчёта в таблице 35.

Таблица 35 – Выбор и проверка линейных выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 51 \text{ кА}$ $B_{\text{к.ном}} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{вкл}} = 20 \text{ кА}$ $I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА}$ $i_{\text{а.ном}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 445 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 15,1 \text{ кА}$ $B_{\text{к расч.}} = 37,8 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{по}} = 8,19 \text{ кА}$ $I_{\text{пт}} = 8,19 \text{ кА}$ $i_{\text{ат}} = 8,19 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} \geq U_{\text{ном}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}}$ $I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{пт}}$ $i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}$

Все выключатели проверку проходят.

7.6 Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ

Применяем трансформаторы тока ТОЛ-6-1, встраиваемые в КРУ.

Данные по вторичной нагрузке сводим в таблицу 36.

Таблица 36 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 6 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка, В*А, фазы		
		А	В	С
Амперметр	Щ-120		0.5	
Счетчик АЭ и РЭ	ЦЭ6850М Ш31	0.15		0.15
Ватметр	ЩВ-120-1	0.5		0.5
Варметр	ЩВ-120-1	0.5		0.5
Итого		1.15	0.5	1.15

Наиболее загружены трансформаторы тока фаз А и С.

Мощность вторичной обмотки $S_{2H}=12.5 \text{ ВА}$.

Определяем номинальное сопротивление вторичной обмотки:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}, \quad (99)$$

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

Общее сопротивление приборов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (100)$$

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

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

I_2 – вторичный номинальный ток прибора, равный 5 А.

Выбираем провод сечением $q=4 \text{ мм}^2$ АКРВГ с алюминиевыми жилами и удельным сопротивлением $\rho=0,0283$. Длину проводов примем $l=10 \text{ м}$.

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (101)$$

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

Выбираем провод сечением $q=4 \text{ мм}^2$ АКРВГ с алюминиевыми жилами и удельным сопротивлением $\rho=0,0283$. Длину проводов примем $l=10 \text{ м}$.

Вторичная нагрузка трансформаторов тока:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}};$$

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

где $r_{\text{конт}}$ – сопротивление контактов ($r_{\text{конт}} = 0.1 \text{ Ом}$).

Проверка по нагрузке вторичной обмотки проводится по формуле, [11]:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}, \quad (102)$$

$$0,216 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом};$$

Результаты проверки сведём в таблицу 37.

Таблица 37 – Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_{уст}$
$I_H = 500 \text{ А}$	$I_P = 445 \text{ А}$	$I_H \geq I_{pmax}$
$Z_{2H} = 0.5 \text{ Ом}$	$Z_{Нр} = 0.216 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{Нр}$
$B_{KH} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{кр} = 37,8 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{KH} \geq B_{кр}$
$I_{дин} = 51 \text{ кА}$	$I_{уд} = 15,1 \text{ кА}$	$I_{дин} \geq I_{уд}$
0,5	0,5	Класс точности

Все трансформаторы тока подходят по условиям проверки.

7.7 Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 кВ

Трансформаторы напряжения НАМИ-6 класс точности 0,5 выбираются аналогично трансформаторам тока.

Определяем расчетную нагрузку $S_{втор ТН}$ по таблице 38.

Таблица 38 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 6 кВ

Прибор	Марка	$P_{ном}$, ВА	$N_{кат}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$P_{втор ТН}$, Вт	$Q_{втор ТН}$, ВА
Вольтметр	Щ-120-1	2	1	1	0	2	-
Ваттметр	ЩВ-120-1	1,5	2	1	0	3	-
Счетчик АЭ	ЦЭ6850М Ш31	5 ВА	5	0.38	0.925	9,5	23
Счетчик РЭ	ЦЭ6850М Ш31	5 ВА	5	0.38	0.925	9,5	23
Итого	-	-	-	-	-	24	46

Вторичная нагрузка ТН:

$$S_{втор ТН} = \sqrt{P_{втор ТН}^2 + Q_{втор ТН}^2}, \quad (103)$$

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

Проверка по нагрузке вторичной обмотки проводится по формуле, [11]:

$$S_{\text{втор ТН}} \leq S_{\text{ном втор}}, \quad (104)$$

$$52 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА};$$

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

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

Трансформаторы напряжения устанавливаются в отсеке КРУ совместно с ОПН для питания обмоток приборов учета и контроля, аппаратов релейной защиты и подстанционной автоматики.

Результаты выбора и проверки приведены в таблице 39.

Таблица 39 – Выбор и проварка трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_H = 6 \text{ кВ}$ $S_P = 52 \text{ ВА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $S_H = 75 \text{ ВА}$	$U_H \geq U_{\text{уст}}$ $S_H \geq S_P$

На каждой секции шин выбранные ТН проходят проверку.

7.8 Выбор предохранителей для защиты ТН

Принимается предохранитель типа с током плавкой вставки 10А ПКТ101-10-6-20У1.

Выбор предохранителей производится по напряжению установки и длительному току

$$I_{\text{ТН макс}} = \frac{S_{\text{ТН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{ТН макс}} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 6} = 7,2 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном пред}} \geq I_{\text{ТН макс}};$$

$$10 \text{ А} \geq 7,2 \text{ А}.$$

Проверяют осуществляется по отключающей способности, согласно таблице 40.

Таблица 40 – Выбор предохранителей ТН

Справочные данные	Расчётные данные	Условия
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 10 \text{ А}$ $I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 7,2 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 12,5 \text{ кА}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{по}}$

Данный тип предохранителя подходит.

7.9 Выбор изоляторов

Выбираем опорные изоляторы марки ОНШП-6-20 УХЛ1 с $F_{\text{разр}} = 3000 \text{ Н}$.

Проверяем изоляторы на механическую прочность при изгибе:

Допустимая нагрузка на головку изолятора:

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \frac{i_{\text{уд}}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (105)$$

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \frac{15100^2 \cdot 0.9}{0.8} \cdot 10^{-7} = 45 \text{ Н},$$

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

l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, должна быть меньше 1,7 м условия недопустимости резонанса, в выбранном типе КРУ расстояние 0,9 м.

Допустимая нагрузка на головку изолятора определяется как:

$$F_{\text{дон}} = 0.6 \cdot F_{\text{разр}}, \quad (106)$$

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

Результаты выбора и проверки изоляторов приведены в таблице 41.

Таблица 41 – Выбор и проверка опорных изоляторов

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_p = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$
$F_{\text{расч}} = 45 \text{ Н}$	$F_{\text{доп}} = 2400 \text{ Н}$	$F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}$

Выбранные тип изоляторов проверку проходит.

7.10 Выбор и проверка токоведущих частей КРУ

Выбор жестких шин линейных ячеек КРУ по номинальному току выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{\text{расч лин6кВ}} \leq I_{\text{ном}} ,$$

$$445 \text{ А} \leq 1025 \text{ А},$$

где $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток шин АДО прямоугольного сечения $60 \times 10 \text{ мм}^2$, 1025 А.

Минимальное сечение по условию термической стойкости:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}, \quad (107)$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{37,8 \cdot 10^6}}{91} = 68 \text{ мм}^2.$$

Момент инерции и сопротивления шин;

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (108)$$

$$J = \frac{0,8 \cdot 6^3}{12} = 14,4 \text{ см}^4,$$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}; \quad (109)$$

$$W = \frac{0,8^2 \cdot 6}{6} = 0,64 \text{ см}^3.$$

Определяется пролёт l при условии, что частота собственных колебаний будет больше 200 Гц:

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad l \leq 1,2 \text{ м}. \quad (110)$$

где l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, должна быть меньше 1,2 м условия недопустимости резонанса, в выбранном типе КСО расстояние 0,9 м;

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

Напряжение в материале шины при воздействии изгибающего момента:

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (111)$$

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{15100^2 \cdot 0.9^2}{0.64 \cdot 0.45} = 11 \text{ МПа},$$

где a - расстояние между фазами, для выбранной КРУ равно 0,45 м ;

l - длина пролета между опорными изоляторами, м.

Шины механически прочны при следующих условиях:

$$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}, \quad (112)$$

$$11 < 75 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{доп}} \leq 0.7 \sigma_{\text{разр}}, \quad (113)$$

$$11 \leq 0.7 \cdot 130 = 91 \text{ МПа.}$$

Результаты выбора и проверки жестких шин приведены в таблице 42.

Таблица 42 – Выбор и проверка жестких шин

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{\text{max}} = 445 \text{ А}$	$I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}}$
$\sigma_{\text{расч}} = 11 \text{ МПа}$	$\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$	$\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{расч}}$
$q_{\text{min}} = 68 \text{ мм}^2$	$q = 480 \text{ мм}^2$	$q \geq q_{\text{min}}$

Выбранные жесткие шины проверку проходит.

7.11 Выбор и проверка ОПН

Энергия поглощения ОПН, кДж:

$$\mathcal{E} = \frac{U - U_{\text{ост}}}{z} \cdot U_{\text{ост}} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \quad (114)$$

$$\mathcal{E} = \frac{60 - 43}{485} \cdot 100 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 11 \text{ кВт.}$$

где U - величина неограниченного перенапряжения, определяемая в процентном соотношении от пятидесятипроцентного напряжения, принимается равной 60 кВ в соответствии с [14].

$U_{\text{ост}}$ - остающееся напряжение ОПН, 43 кВ в соответствии с каталожными данными;

z - волновое сопротивление провода, 100 Ом;

n - количество последовательных токовых импульсов;

Время распространения волны:

$$T = \frac{l}{v}, \quad (115)$$

$$T = \frac{2500}{3,15 \cdot 10^8} \cdot 10^6 = 7,94 \text{ мкс};$$

где l и v - длина защищенного подхода и скорость распространения волны соответственно.

В линейных ячейках КРУ ПС Заводская и на КТП приняты ОПН марки ОПН – РВ/TEL У1 с классом напряжения 6 кВ, для которых $U_{ост} = 43 \text{ кВ}$, $U = 60 \text{ кВ}$, далее по приводимой выше формуле рассчитывается энергия поглощения и удельная энергоёмкость ОПН 6 кВ:

Далее определяется удельная энергоёмкость ОПН:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{номОПН}}, \quad (116)$$

$$\mathcal{E}^* = \frac{11,3}{6} = 1,9 \text{ кВт/кВ}.$$

Выбирается ОПН-6 кВ с классом 2 энергоёмкости (до 2,3 кДж/кВ), [14].

7.12 Выбор и проверка трансформаторов тока нулевой последовательности 6 кВ

Выбор трансформаторов тока нулевой последовательности по номинальному напряжению выполняется по имеющейся формуле:

$$U_{ном} \leq U_{номТТНП}, \quad (117)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Выбор сопротивления резистора трансформаторов тока нулевой последовательности выполняется по имеющейся формуле:

$$R_N \leq \frac{U_{ном\ BH}}{\sqrt{3} \cdot I_C}, \quad (118)$$

$$R_N \leq \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 6,24} = 556 \text{ Ом};$$

Для селективного отключения цепи КЛ-6 кВ сопротивление резистора принимается не более 0,5 кОм

Проверка по электродинамической стойкости трансформаторов тока нулевой последовательности выполняется по имеющейся формуле:

$$I_{y\partial} \leq I_{дин},$$

$$15,1 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

где $I_{дин}$ - ток динамической стойкости трансформаторов тока нулевой последовательности ТЗЛК-НТЗ-0.66-100-30/1-У2, 20 кА.

Таблица 43 – Выбор трансформаторов тока нулевой последовательности

Справочные данные	Расчётные данные	Условия
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$I_{y\partial} = 15,1 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$	$I_{y\partial} \leq I_{дин}$
$R_{Nном} = 0,5 \text{ кОм}$	$R_N = 0,556 \text{ кОм}$	$R_{Nном} \leq R_N$

Выбранные трансформаторы тока нулевой последовательности проверку проходят.

Выбранное оборудование на ПС Заводская указано на листе графической части №6.

8 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Выбираем микропроцессорную защиту СИРИУС-2-Л, как наиболее надёжную и простую в обслуживании, гибкую в настройке [34].

8.1 Токовая отсечка без выдержки времени.

Коэффициент трансформации трансформаторов тока на головном участке КЛ определяется как:

$$n_T = \frac{I_{ТТ В}}{I_{ТТ Н}}, \quad (119)$$

$$n_T = \frac{500}{5} = 100,$$

где $I_{ТТ В}$ - номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока, 500 А;

$I_{ТТ Н}$ - номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока, 5 А.

Первичный ток срабатывания токовой отсечки:

$$I_{ср ТО} = I_{ПО макс}^{(3)} \cdot K_n, \quad (120)$$

$$I_{ср ТО} = 8,19 \cdot 1,1 = 9 \text{ кА},$$

где K_n - коэффициент надёжности, принимаемый равным 1,1;

$I_{ПО макс}^{(3)}$ - максимальный ток КЗ на шинах ТП-1.

Проверяем чувствительность защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{ПО макс}^{(2)}}{I_{ср ТО}}, \quad (121)$$

$$K_q = \frac{5.86}{9} = 0,65,$$

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

Вторичный ток срабатывания ТО:

$$I_{ср\ ТО\ реле} = k_{сх} \frac{I_{ср\ ТО}}{n_T}, \quad (122)$$

$$I_{ср\ ТО\ реле} = 1 \cdot \frac{9000}{100} = 90\text{ A},$$

где $k_{сх}$ - коэффициент схемы, принимается 1;

n_T - коэффициент трансформации при токе вторичной обмотки 5А.

Выдержка времени ТО с учётом недостаточной чувствительности отсечки без выдержки времени:

$$t_{ср\ ТО\ реле} = t_{ср\ ТО\ реле} + t_{ср\ РЗ}, \quad (123)$$

$$t_{ср\ ТО\ реле} = 0 + 0,5 = 0,5\text{ с}.$$

8.2 Максимальная токовая защита линий

Ток срабатывания защиты определяется по выражению [34]:

$$I_{ср\ МТЗ} = \frac{I_{р\ макс} \cdot K_n \cdot K_{с-з}}{K_g}, \quad (124)$$

$$I_{ср\ МТЗ} = \frac{463 \cdot 1,1 \cdot 1}{0,95} = 536\text{ A},$$

где K_n - коэффициент надежности, 1,1;

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

K_{θ} – коэффициент возврата, 0,95;

$I_{р макс}$ – максимальный рабочий ток защищаемой линии, для кабеля сечением 240 мм^2 – 536 А.

Ток срабатывания реле определяется по выражению:

$$I_{ср МТЗ реле} = k_{сх} \frac{I_{ср МТЗ}}{n_T}, \quad (125)$$

$$I_{ср МТЗ реле} = 1 \cdot \frac{536}{100} = 5,36 \text{ А}.$$

Чувствительность защиты определяется по выражению:

$$K_{\chi} = \frac{I_{ПО макс}^{(2)}}{I_{ср МТЗ}}, \quad (126)$$

$$K_{\chi} = \frac{5860}{536} = 11 \geq 1,5.$$

Чувствительность превышает 1,5, что удовлетворяют условию надёжного срабатывания защиты.

Таким образом, время срабатывания защиты определяется по выражению:

$$t_{ср МТЗ реле} = t_{ср ТО реле} + t_{ср РЗ} + \Delta t, \quad (127)$$

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

где $t_{ср РЗ}$ - время срабатывания релейной защиты 0,1 с;

Δt - выдержка времени МТЗ, 0,5 с.

8.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Ток замыкания на землю линии ПС - ТП 1-2-3-4-5:

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

$$I_{\text{повр лин}} = \frac{1,35 \cdot 6 \cdot 3,9}{10} = 3,1 \text{ A}.$$

Ток, протекающий через трансформатор тока нулевой последовательности, в сетях с изолированной нейтралью определяется по формуле:

$$I_{\text{ТНП повр лин}} = I_{\text{емк сумм}} - I_{\text{повр лин}}, \quad (128)$$

$$I_{\text{ТНП повр лин}} = 6,2 - 3,1 = 3,1 \text{ A},$$

Ток срабатывания защиты определяется по заданному коэффициенту чувствительности, который для КЛ равен 1,5 по выражению:

$$I_{\text{ср ЗНЗ}} = \frac{I_{\text{ТНП повр лин}}}{K_{\text{ч}}}, \quad (129)$$

$$I_{\text{ср ЗНЗ}} = \frac{3,1}{1,5} = 2,1 \text{ A}.$$

8.4 Устройства автоматического включения резерва

Устройства автоматического включения резерва (АВР) быстро восстанавливают электроснабжение потребителей при отключении рабочего источника питания, [30].

Выбираем напряжение срабатывания пусковых реле:

$$U_{с.з.}=(0,25\div 0,40)\cdot U_{ном} \quad (130)$$

$$U_{с.з.}=0,4\cdot 400=160 \text{ В.}$$

Таким образом, время срабатывания защиты определяется по выражению:

$$t_{ср \text{ АВР реле}} = t_{ср \text{ МТЗ реле}} + t_{ср \text{ РЗ}} + \Delta t \text{ ,} \quad (131)$$

$$t_{ср \text{ АВР реле}} = 1,1 + 0,1 + 0,5 = 1,7 \text{ с ,}$$

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

Δt - выдержка времени, 0,5 с.

Схемы выполнения защит КЛ-6 кВ и АВР на КТП приведены на листе графической части №5.

9 ЗАЗЕМЛЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Необходимо рассчитать заземление отдельно стоящего РУ 6 кВ, совмещенного с двухтрансформаторной подстанцией КТП 2х63 (6/0,4 кВ).

План двухтрансформаторной КТП 2х630 (6/0,4 кВ) приведён на листе графической части №4.

Расчет заземляющих устройств сводится к расчету заземлителя, так как заземляющие проводники в большинстве случаев принимают по условиям механической прочности и стойкости к коррозии по [13].

В соответствии с [13] устанавливается допустимое сопротивление заземляющего устройства. Если заземляющее устройство является общим для установок на различное напряжение, то расчетное сопротивление заземляющего устройства принимают наименьшее из допустимых.

В качестве вертикальных заземлителей принимаются стальные стержни диаметром 10 мм и длиной 2 м, которые погружают в грунт методом ввертывания. Верхние концы электродов располагают на глубине 0,7 м от поверхности земли. К ним приваривают горизонтальные электроды стержневого типа из той же стали, что и вертикальные электроды.

Определяем стационарное сопротивление одного вертикального электрода, Ом:

$$R_{эв} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (132)$$

$$R_{эв} = \frac{100}{\pi \cdot 2 \cdot 2} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 0,7 + 2)}{0,01 \cdot (4 \cdot 0,7 + 2)} \right] = 50 \text{ Ом},$$

где l_B - длина вертикального электрода, м;

h_3 - глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{\text{грунт}}$ - удельное сопротивление грунта, по [13] для неводоносных песков с примесью глины берём из диапазона 80-200 Ом·м (принимаем 100 Ом·м);

d - диаметр электродов, м.

Определяем длину горизонтальной полосы горизонтального электрода, Ом:

$$l = (A + B + 3) / 2 \quad (133)$$

$$l = (6,8 + 6,9 + 3) / 2 = 8,35 \text{ м}$$

где A - длина сооружения, м;

B - ширина сооружения, м.

Определяем стационарное сопротивление одного горизонтального электрода, Ом:

$$R_{\text{ЭГ}} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (134)$$

$$R_{\text{ЭГ}} = \frac{100}{\pi \cdot 2} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot 8,35}{\sqrt{2 \cdot 0,01 \cdot 0,7}} \right] = 9 \text{ Ом},$$

Общее стационарное сопротивление заземлителя, Ом:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_{\text{В}} \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_{\text{Г}} \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (135)$$

$$R = \frac{50 \cdot 9}{0,75 \cdot (6 \cdot 9 + 4 \cdot 50)} = 2,3.$$

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

n_B - число вертикальных электродов, 6 шт;

n_r - число горизонтальных электродов, 4 шт.

Эффективность стационарного сопротивления находится по выражению

$$R_{cm} \leq R_{cm \text{ доп}} ; \quad (136)$$

$$2,3 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}.$$

Стационарное сопротивление заземлителя не превышает нормируемое значение.

Импульсное сопротивление вертикального электрода, Ом:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭБ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (137)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 50}{0,75 \cdot 6} = 11 \text{ Ом}.$$

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

Удельная индуктивность горизонтального заземлителя, мкГн/м:

$$L_O = 0,2 \times \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (138)$$

$$L_O = 0,2 \times \left(\ln \frac{8,35}{0,01} - 0,31 \right) = 1,42 \text{ мкГн/м}.$$

Импульсный коэффициент протяженного заземлителя:

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{L_0 \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{ЭГ}}}, \quad (139)$$

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{1,42 \cdot 8,35}{3 \cdot 2 \cdot 9} = 1,22.$$

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

Импульсное сопротивление протяжного электрода, Ом:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{ЭГ}}, \quad (140)$$

$$R_{u\Gamma} = 1,22 \cdot 9 = 11 \text{ Ом}.$$

Общее импульсное сопротивление заземлителя, Ом:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}, \quad (141)$$

$$R_u = \frac{11 \cdot 11}{0,75 \cdot (6 \cdot 11 + 4 \cdot 11)} = 1,5 \text{ Ом}.$$

Эффективность импульсного сопротивления находится по выражению

$$R_u \leq R_{u \text{ доп}}; \quad (142)$$

$$1,5 \text{ Ом} \leq 9 \text{ Ом}.$$

Импульсное сопротивление заземлителя не превышает нормируемое значение.

10 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

При подключении проектируемого района города Артем к системе электроснабжения должны быть соблюдены меры безопасности при проведении различных работ в ЗРУ ПС Заводская. В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматриваются меры безопасности при работе с вакуумными выключателями 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская. За показатель экологичности работы принимается площадь земель, отвод которых планируется в постоянное пользование под размещение ТП-6/0,4 кВ, а также планируемый отвод земель во временное пользование под прокладку КЛ напряжением 6 и 0,4 кВ. Для предотвращения образования и развития чрезвычайной ситуации при работах в системе электроснабжения строящегося микрорайона «Новый квартал» города Артем перечисляются меры пожарной безопасности, включающие порядок действий персонала при возгорании на оборудовании ТП 6-0,4 кВ, порядок проведения пожарно-технического обследования для выявления опасных режимов работы оборудования напряжением 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» города Артем.

10.1 Безопасность

Так как в данной выпускной квалификационной работе предусматривается проведение работ в РУ-6 кВ ПС Заводская, связанных с монтажом вакуумных выключатели ВВ/TEL 6 кВ в имеющихся ячейках КРУ-6 кВ, то для безопасности занятого на работах в РУ-6 кВ ПС Заводская персонала, необходимо обеспечить соблюдение мер безопасности при работе с вакуумными выключателями ВВ/TEL 6 кВ [22].

В случае установки для подключения потребителей резервной ячейки КРУ с выкатным элементом выключателя ВВ/TEL 6 кВ перед тем, как произвести пробное включение, работники из числа бригады по производству работ на выключателе ВВ/TEL 6 кВ визуально осматривают выключатель, определяют его целостность, состояние изоляторов, исправность изоляционных тяг главной цепи.

Работники из числа бригады по производству работ на выключателе ВВ/TEL 6 кВ проверяют работоспособность выключателя 6 кВ выполняя 5 циклов «включение-отключение» в том числе с проверкой работы блокировки включенного положения выключателя с поданной командой на отключение.

Для выполнения ручного отключения выключателя ВВ/TEL 6 кВ работники из числа бригады по производству работ осуществляет механическое воздействие на кнопку, предназначенную для ручного отключения выключателя. Кнопка ручного отключения выключателя жестко связана с валом привода якорей электромагнитов, после чего происходит разрыв магнитной системы, удерживающей электромагниты. Для безопасности работников из числа бригады по производству работ на выключателе ВВ/TEL 6 кВ допускается использовать кнопку ручного отключения только в тех случаях, когда нет возможности физического отключения выключателя от его блока управления.

Для главной цепи выключателя ВВ/TEL 6 кВ выполняется проверка электрического сопротивления постоянному току главной цепи работниками из числа бригады по производству работ на выключателе ВВ/TEL 6 кВ для определения целостности и надёжности контактных соединений дугогасительной камеры [22].

Работники из числа бригады по производству работ на выключателе ВВ/TEL 6 кВ испытывают изоляцию выключателя ВВ/TEL 6 кВ при помощи подключения к источнику переменного одноминутного напряжения изоляции фаза – земля и междуфазная изоляция, а также продольная изоляция выключателя ВВ/TEL 6 кВ. После проведения испытаний изоляции работники из числа бригады по производству работ на выключателе ВВ/TEL 6 кВ приводят изоляцию в чистое состояние при помощи безворсового материала.

По окончании вышеуказанных подготовительных работ на выключателе ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская разрешается вводить выключатель в работу с учётом режима его дальнейшей работы.

Безопасное производство работ с выкатным элементом выключателя ВВ/TEL 6 кВ допускается при температуре окружающего воздуха в пределах от

минус 40 °С до плюс 55 °С и относительной влажности воздуха 100% при температуре 25 °С [22].

Отклонения от нормированных климатических показателей безопасной работы с выключателем ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская должны быть скорректированы при помощи устройств обогрева или охлаждения воздуха рабочего пространства. Безопасная работа с выключателем ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская возможна во невзрывоопасной окружающей среде, при этом наличие агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию в воздухе рабочего пространства не допускается.

Режим нормальной работы выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская характеризуется его работой в допустимых заводом-изготовителем параметрах [22]. Соблюдение условий нормальной работы выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская является основным условием его безопасного функционирования. Выкатной элемент, на котором располагается выключатель должен быть заземлен.

Для исключения повреждения изоляции выключателя, индуктивные нагрузки, малые индуктивные токи двигателей 6 кВ, токи холостого хода или токи ненагруженных трансформаторов 6 кВ могут коммутироваться выключателем ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская в случае, если ожидаемые величины таких токов указаны в инструкции по применению ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская [20].

Для обеспечения безопасности обслуживающего выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская персонала устанавливается периодичность проверки электрической плотности изоляции и переходного сопротивления контактов в дугогасительной камере один раз в пять лет.

Соответствие режима работы выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская их номинальным параметрам контролируется обслуживающим персоналом, в случае выхода за параметры нормального режима его работы выключателя проводится пересмотр его пригодности к работе на имеющемся присоединении 6 кВ ПС.

При возникновении механической неисправности в работе привода, защитного реле, неисправности в цепи отключения выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская обслуживаемым персоналом проводятся периодические контрольные проверки исправности привода выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская в рамках технического обслуживания выключателя. Неисправности в цепи отключения выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская обнаруживаются сигнализацией обрыва цепи отключения, при этом дежурный по ПС незамедлительно предпринимает меры по устранению неисправности при помощи соответствующего квалифицированного персонала.

Неустановленные неисправности выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская выявляются в рамках технического обслуживания выключателя обслуживаемым персоналом, при котором определяется характер предшествующих отключению событий. При отсутствии предшествующих отключению коротких замыканий на отходящих линиях 6 кВ или шинах 6 кВ ПС, ошибочных действий со стороны дежурного или обслуживающего персонала ПС проводится повторное включение выключателя в ручном режиме с контролем блок-контактов и состояния изоляции оперативной цепи выключателя ВВ/ TEL для безопасности персонала. Включение выключателя ВВ/ TEL на ПС в ручном режиме видимый разрыв обеспечивается переводом выкатной тележки в ремонтное положение. Вышеуказанные работы обслуживающий персонал ПС выполняет только на отключенном выключателе с разборкой схемы.

По истечении двухлетнего периода после ввода в работу выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская проверяется электрическая прочность изоляции и величина переходного сопротивления контактов. Периодичность проверок после двухлетнего периода работы выключателя устанавливается 1 раз в 5 лет. При проверках выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская опорная изоляция осматривается и очищается от пыли и посторонних элементов.

Техническое обслуживание выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская фиксируется в учетно-контрольной карте проводимых работ по

настройке, регулировке и ремонту оборудования РУ-6 кВ ПС Заводская, при этом обслуживающий персонал ПС выполняет осмотры с соблюдением правил техники безопасности, не приближается на опасное расстояние к токоведущим частям оборудования РУ-6 кВ ПС Заводская, находящимся под напряжением.

Работа по выводу в ремонт выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская и допуску на рабочее место должна выполняться оперативным персоналом с соблюдением [20].

Устройство и принцип действия выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская доводятся до обслуживающего персонала. Знание правил безопасного проведения работ по обслуживанию выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-10 кВ проверяется посредством контроля знаний инструкции по эксплуатации и нормативных документов [21].

Для обеспечения безопасности обслуживающего выключатели ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская персонала рама и привод выключателя должны быть надёжно заземлены с указанием мест заземления в наряде-допуске.

Запрещается проведение работ на выключателе ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская с неисправным заземлением или с заземлением, имеющим ненадёжный контакт с заземлителем.

Доступ обслуживающего персонала в зону расположения полюсов выключателя ВВ/TEL 6 кВ в РУ-10 кВ должен быть ограничен ввиду наличия опасности получения электротравм вследствие того, что полюсы выключателя находятся под высоким напряжением.

Для обеспечения безопасности персонала, обслуживающего выключатели ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская, их регулировка и ремонт, ревизия и проверка приводов, выполняются после проверки отсутствия напряжения на обоих выводах полюсов выключателей. Кроме того, остаточное напряжение на экране дугогасительной камеры выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская должно быть снято. Дополнительно обеспечивается отключенное состояние вспомогательных цепей, при этом рабочая пружина привода приводится в незаведенное положение.

Испытания изоляции дугогасительной камеры выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская проводятся в соответствии с утвержденным порядком таких испытаний. После проведения испытаний при помощи разрядной штанги, подключенной к заземлителю, должно быть снято остаточное напряжение с наружного кольца центрального изолирующего экрана вследствие того, что накопленный электрический заряд может иметь существенную величину.

Для обеспечения безопасности обслуживающего выключатели ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская персонала используются защитные средства и материалы, целостность и исправность которых проверена заблаговременно, не обладающие бирками о проведении испытаний защитные средства и материалы не допускаются к использованию обслуживающим персоналом. Каждый работник, занятый на работах по монтажу выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская, должен иметь личный комплект средств индивидуальной защиты, при этом старшим из бригады работников должно быть проконтролировано наличие дополнительного комплекта средств индивидуальной защиты в зависимости от численности бригады и сложности проводимых работ. Наличие изоляционных штанг, переносных комплектов заземляющих ножей, указателей напряжения должно соответствовать технологической карты проводимых работ по монтажу выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская с учетом наличия резервных комплектов [21].

Не допускается при монтаже выключателей ВВ/TEL 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская проведение дополнительных работ, расширяющих рабочее место без согласия работника, выдавшего наряд-допуск на проведение работ. До внесения изменений в наряд-допуск работы на новом рабочем месте запрещены.

10.2 Экологичность

Расчёт площади земель, которые подлежат отводу в постоянное и временное пользование для сооружения системы электроснабжения напряжением 6 и 0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» города Артем выполняется по порядку [23].

Временное использование земель строящегося микрорайона «Новый квартал» города Артем предусматривается на время прокладки КЛ 6-0,4 кВ. Постоянное пользование земель предусматривается для установки ТП 6/0,4 кВ. На примере ТП-1 показываются границы отводимых земель на участке сооружения КЛ-6 кВ ПС Заводская – ТП 1, рисунок 9.

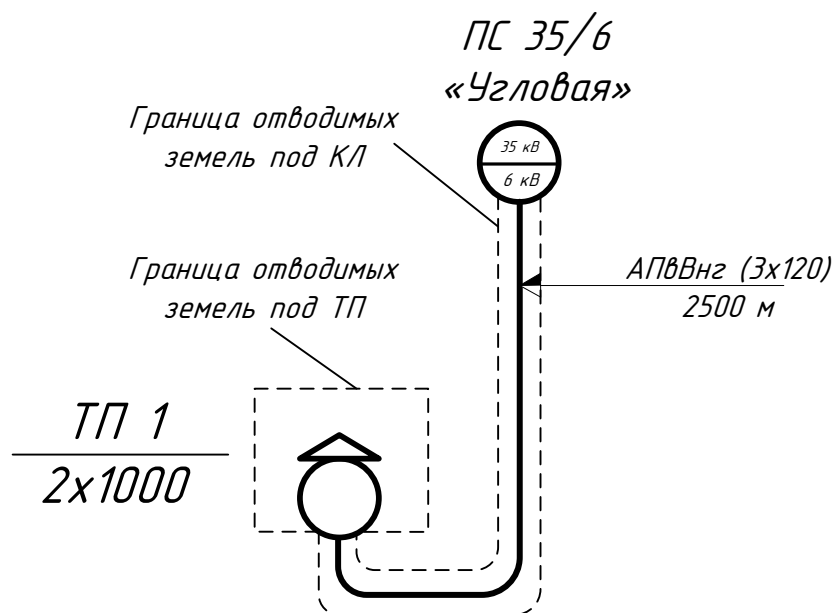


Рисунок 9 – Границы отводимых земель для участка КЛ-6 кВ ПС Заводская – ТП 1 и ТП 1 6/0,4 кВ

При расчётах площади отводимых земель по проектируемой системе электроснабжения в целом по полученным проектным данным учитываются следующие показатели: количество ТП 6/0,4 кВ на два силовых трансформатора – 5 шт, протяженность трассы КЛ-6 кВ – 2,7 км, протяженность трассы КЛ-0,4 кВ – 3,9 км.

Используется следующая расчётная формула для нахождения площади земельных участков, отводимых в постоянное пользование для размещения ТП 6/0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал»:

$$S_{ТПП} = S_{ТП2} \cdot n_{ТП2}, \quad (143)$$

$$S_{ТП} = 80 \cdot 5 = 400 \text{ м}^2,$$

где $S_{ТП2}$ - площадь земельного участка, подлежащего отводу в постоянное пользование под ТП 6/0,4 кВ с двумя силовыми трансформаторами, принимается по [24] 80 м^2 ;

$n_{ТП2}$ - расчётное число ТП 6/0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал», 5 шт.

При прокладке КЛ-6-0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения напряжением 6 и 0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» города Артем будет проводится отвод полосы земель во временное пользование вдоль трассы КЛ, при этом наибольшая ширина отводимой земли составляет 6 м вдоль трассы прокладки КЛ.

Используется следующая расчётная формула для нахождения суммарной протяженности трассы КЛ системы электроснабжения строящегося микрорайона «Новый квартал»:

$$L_{КЛ} = L_{КЛ\ 6кВ} + L_{КЛ\ 04кВ}, \quad (144)$$

$$L_{КЛ} = 2,7 + 3,9 = 6,6 \text{ м},$$

где $L_{КЛ\ 6кВ}$ - суммарная длина трассы проектируемых КЛ-6 кВ микрорайона «Новый квартал», 2,7 км;

$L_{КЛ\ 04кВ}$ - суммарная длина трассы проектируемых КЛ-0,4 кВ микрорайона «Новый квартал», 3,9 км;

Используется следующая расчётная формула для нахождения площади земельных участков, отводимых во временное пользование для прокладки КЛ-6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал»:

$$S_{\text{КЛ}} = L_{\text{КЛ}} \cdot L_{\text{полосы}} \cdot 10^3, \quad (145)$$

$$S_{\text{КЛ}} = 6,6 \cdot 6 \cdot 10^3 = 39600 \text{ м}^2,$$

где $L_{\text{полосы}}$ - наибольшая ширина полосы земель вдоль трассы прохождения КЛ-6-0,4 кВ микрорайона «Новый квартал» [24].

В результате расчётов были получены данные по планируемой величине отводимых земель в постоянное пользование для размещения ТП 6/0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» - 400 м², в то же время во временное пользование для прокладки КЛ-6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» - 39600 м².

10.3 Чрезвычайные ситуации

В случае пожара на объектах проектируемых электрических сетей напряжением 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» в городе Артем следует рассматривать действия персонала по обслуживанию системы электрообеспечения как действия при чрезвычайной ситуации. Наиболее распространёнными причинами возгораний являются аварийные режимы работы оборудования и короткие замыкания, что влечет за собой чрезмерное термическое воздействие электрической дуги, повреждающей электрооборудования ТП 6/0,4 кВ, КЛ-6 кВ и КЛ-0,4 кВ. Посредством соблюдения мер пожарной безопасности при вводе в работу проектируемого оборудования можно предотвратить негативные последствия чрезвычайных ситуаций, связанных с пожаром в электроустановках. Кроме того, персоналу электрических сетей следует придерживаться порядка действия при возгорании на оборудовании ТП 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал», а также необходимо соблюдение порядка проведения пожарно-технического обследования, при котором должны выявляться опасные режимы работы оборудования напряжением 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» [25].

Условия для возникновения возгорания в электроустановках характери-

зуются наличием горючего вещества или материала в зоне горения. В электроустановках строящегося микрорайона «Новый квартал» использованы кабели с поливинилхлоридной и полиэтиленовой изоляцией, трансформаторы с масляной изоляцией, поэтому потенциально горючие материалы присутствуют в системе электроснабжения строящегося микрорайона «Новый квартал». Кроме того, при нарушении изоляции или в результате внешнего воздействия возможно образование источника зажигания в виде теплового нагрева и выделения тепла от закороченных проводников без существенной величины сопротивления между ними. В связи с тем, что в известной мере доступ воздуха возможен как в бак трансформатора, так и в траншеях КЛ-6 кВ и КЛ-0,4 кВ нет герметичности по всей протяженности трассы КЛ, то все условия для возникновения горения присутствуют [25].

Обеспечение мер пожарной безопасности достигается проведением противопожарных инструктажей для персонала, занятого на сооружении системы электроснабжения жилого комплекса и дальнейшем её обслуживании. Для обучения персонала по обслуживанию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» применяется комплекс практических и теоретических мероприятий, входящих в программу противопожарных инструктажей.

Первичные и повторные противопожарные инструктажи организуются проводятся для того, чтобы персонал по обслуживанию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» мог своими действиями в случае возникновения пожара и возгораний предотвратить развитие пожаров и снизить риск поражения сотрудников пламенем, продуктами горения.

Эффективно использовать навыки обеспечения пожарной безопасности при возникновении пожаров и возгораний возможно при соблюдении планов и графиков проведения противопожарных инструктажей.

Для проведения первичного противопожарного инструктажа перед выполнением работ по монтажу системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося

микрорайона «Новый квартал» назначается место его проведения на рабочем месте со всеми работниками.

Вводный противопожарный инструктаж может быть совмещен с первичным противопожарным инструктажем на рабочем месте для персонала по обслуживанию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» в случаях, когда программа инструктажей позволяет такое совмещение с учетом согласия ответственного руководителя работ за противопожарный режим.

Повторный противопожарный инструктаж может быть назначен не реже 1 раза в год для персонала по обслуживанию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» в случаях, если персонал прошел вводный противопожарный инструктаж и первичный противопожарный инструктаж на рабочем месте.

После прохождения первичного и повторного противопожарных инструктажей для персонала по обслуживанию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» организуется проверка соответствия знаний и умений противопожарным мерам тем ответственным сотрудником, который осуществлял соответствующий противопожарный инструктаж. При выявлении неудовлетворительных результатов проверки знаний и умений противопожарным мерам допуск к работам в системе электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» не предоставляется до получения положительного результата проверки знаний и умений [25].

Записи в журнале учета противопожарных инструктажей для персонала по обслуживанию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» ведутся после проведения первичного и повторного противопожарных инструктажей совместно с проведенными проверками знаний и умений противопожарным мерам.

Для персонала по обслуживанию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» предусматриваются обучающие мероприятия по способам применения первичных средств пожаротушения,

оснащение которыми предусмотрено для ТП 6/0,4 кВ и РУ-6 кВ центра питания сетей 6 кВ ПС Заводская района проектирования - переносные огнетушители; пожарный инвентарь; покрывала для изоляции очага возгорания. В помещениях ТП 6/0,4 кВ расположены порошковые огнетушители ОП-4 и углекислотные огнетушители ОУ-5. Область применения данных огнетушителей допускает их использование для тушения пожаров на ошиновке, изоляторах, кабелей, трансформаторного масла, электроустановок под напряжением до 10 кВ с безопасного расстояния.

Тушение пожаров в ТП 6/0,4 кВ и РУ-6 кВ центра питания сетей 6 кВ района проектирования на ошиновке, изоляторах, кабелей допускается водой с компактными струями воды, а также сухим просеянным песком. Допускается также применение асбестового полотна, грубошерстной ткани или войлока, покрывал из негорючего материала, которые позволяют изолировать проникновение воздуха в зону горения при небольших очагах возгораний.

Для персонала по обслуживанию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» при работах по подключению КЛ-6 кВ в РУ-6 кВ ТП и центре питания предусмотрены и указываются планы эвакуации с эвакуационными путями и выходами, места размещения первичных средств и приспособлений противопожарной защиты, спасательных и медицинских средств, средств связи при их наличии.

После обнаружения возгорания в системе электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» или признаков горения в виде задымления, запаха гари, повышенной температуры воздуха и прочих, обнаруживший работник немедленно сообщает об этом по телефону в пожарную охрану, к сообщению о месте возгорания называется адрес объекта, фамилия. Далее с учётом характера возгорания и его площади при отсутствии угрозы жизни и здоровью обнаружившего возгорание сотрудника допускается приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения [25].

Обеспечение пожарной безопасности в системе электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» достигается проведением по-

жарно-технического обследования, в результате которого могут быть выявлены нарушения требований пожарной безопасности, что потенциально может привести к пожару, а также определены наиболее вероятные причины его возникновения и совместно с этим пути его устранения.

Выполнить обследование электрооборудования в системе электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» надзорными организациями необходимо с целью определения технического состояния электрохозяйства объекта в целом и отдельных его элементов. Кроме того, при обследовании электрооборудования находятся параметры и условия соответствия электрооборудования стандартам, ПУЭ. При выявлении пожароопасных мест в электрооборудовании системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» разрабатываются и предлагаются противопожарные мероприятия.

Пожарно-техническое обследование системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» производится в 3 этапа, включающими подготовку к обследованию, само обследование и завершающий этап, на котором оформляются необходимые документы.

При подготовке к пожарно-техническому обследованию системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» инспекторами проверяющих организаций сопоставляются фактические показатели электрооборудования системы электроснабжения с проектными, проверяются факты пожаров в системе электроснабжения, инструкции по проведению огневых и электросварочных работ.

Во время пожарно-технического обследования системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» все необходимые операции с электрооборудованием по включению-отключению выключателей нагрузки, автоматических выключателей, использование токовых зажимов для замеров нагрузочного тока производятся обслуживающим персоналом собственника системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал», инспекторами проверяющих организаций допускается проводить

только визуальный осмотр электрического оборудования [25].

При обследовании РУ-0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ устанавливается категория по взрывопожарной и пожарной опасности и класс зоны по ПУЭ, проверяется его обозначение на дверях помещений. Также осматриваются кабельные вводы, переходы между кабельными каналами, контур заземления, места подключения контура заземления к внешним вертикальным заземлителям. В ходе выборочных проверок сечений проводов и кабелей по нагреву проверяется достаточность сечения проводов и кабелей по тепловому расчёту для их фактической нагрузки.

Во время пожарно-технического обследования проверяется количество и своевременность проведенных инструктажей по знанию правил пожарной безопасности среди персонала системы электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал», актуальность графиков планово-предупредительных ремонтов и профилактических осмотров электрооборудования и полнота их выполнения.

В РУ-6 кВ центра питания ПС Заводская и РУ-6 кВ ТП района проектирования при выполнении внешнего осмотра проверяется состояние конструктивных элементов ячеек КРУ, целостность, антикоррозийного покрытия, исправность элементов РУ, наличие блокировки на дверцах РУ, уплотнители кабельных переходов, пожаростойкость уплотнителей кабельных переходов и их достаточность. Надежность болтовых соединений ошиновки РУ-6 кВ, креплений оборудования 6 кВ, контактные соединений выкатных элементов 6 кВ также подлежит проверке визуальным осмотром в связи с протеканием электрического тока промышленной частоты 50 Гц [26].

Во избежание ошибочных операций по включению и отключению выключателей КРУ-6 кВ ПС Заводская и, как следствие, для предотвращения возникновения коротких замыканий, приводящих к возгоранию на электрооборудовании, в объём проверки входят диспетчерские наименования и обозначения ячеек КРУ-6 кВ, проверяется их читаемость и полнота, надписи на приводах выключателей «включено» и «отключено».

Проверка пожарной безопасности трансформаторов 6/0,4 кВ осуществляется путём проверки наличия предохранителей 6 кВ для защиты трансформатора от внутренних повреждений, датчиков температуры масла внутри бака трансформаторов для своевременного обнаружения и исключения режима повышенных нагрузок трансформаторов, датчиков уровня масла для отслеживания герметичности системы охлаждения обмоток трансформаторным салом внутри бака трансформаторов. Кроме того, проводится проверка конструктивного исполнения маслоприёмников для трансформаторов мощностью 630-1000 кВА, масса трансформаторного масла в которых по [27] более значений, при которых масло приёмные устройства не должны быть предусмотрены.

По итогам пожарно-технического обследования составляется предписание, в котором указываются технически выполнимые и экономически целесообразные мероприятия по повышению пожарной безопасности в системе электроснабжения 6-0,4 кВ строящегося микрорайона «Новый квартал» на основании действующих правил и норм пожарной безопасности на электроэнергетическом оборудовании, формулировки предлагаемых мероприятий не должны допускать их нечёткого и свободного трактования, должно быть разделение рекомендательных и обязательных к выполнению противопожарных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных расчётов по объекту разработки в виде распределительных электрических сетей 6-0,4 кВ города Артём были получены характеристики вводимого в работу оборудования 6-0,4 кВ жилого комплекса Новый квартал в городе Артём. По итогам проектирования системы электроснабжения выбранного района города определены рабочие токи и токи короткого замыкания, в соответствии с которыми произведен выбор силовых трансформаторов и основного электротехнического оборудования. Используются современные микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики для защиты силового оборудования системы электроснабжения объектов жилого комплекса Новый квартал в городе Артём. Результаты расчётов в дальнейшем можно использовать как сравнительные при проектировании с учётом окончательных планировочных решений жилого комплекса Новый квартал.

При подключении проектируемого района города Артем к системе электроснабжения обеспечиваются меры безопасности при работе с вакуумными выключателями 6 кВ в РУ-6 кВ ПС Заводская. За показатель экологичности работы принята площадь земель, отвод которых планируется в постоянное пользование под размещение ТП-6/0,4 кВ, а также планируемый отвод земель во временное пользование под прокладку КЛ напряжением 6 и 0,4 кВ. Перечислены меры пожарной безопасности, включающие порядок действий персонала при возгорании на оборудовании ТП 6-0,4 кВ, порядок проведения пожарно-технического обследования для выявления опасных режимов работы оборудования напряжением 6-0,4 кВ микрорайона «Новый квартал» города Артем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Официальный сайт Правительства Приморского края [Электронный ресурс]. – URL: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/departament-proektov/pilotnye-proekty-dlya-aprobatsii-proektnogo-upravleniya/.php> (дата обращения: 15.04.2025).
- 2 Отчёт по производственной преддипломной практике Бондарева К.Д.
- 3 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.
- 4 РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. – М., 1999. 32 с.
- 5 Интеллектуальные системы электроснабжения [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб.-практ. занятиям / Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 82 с. https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7473.pdf
- 6 Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014 - ., Ч. 1. - 2014. - 106 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7123.pdf (дата обращения: 10.04.2025).
- 7 Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : сб.-учеб. метод. материалов для направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост.: Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 182 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9662.pdf (дата обращения: 10.04.2025).

8 Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : метод. указания к курс. проектированию для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Ю. В. Мясоедов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 100 с. Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7475.pdf (дата обращения: 10.04.2025).

9 Анчарова Т.В., Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий. [Электронный ресурс] : справ. / Анчарова Т.В., Бодрухина С.С., Буре А.Б.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2010. — 745 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72291>

10 Мясоедов, Ю. В. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf (дата обращения: 10.04.2025).

11 Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию [Текст] : учеб. пособие для вузов / Алиев И.И. - 2-е изд., доп. - М. : Высш. шк., 2015. - 256 с. -

12 Савина Н. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс дисц. для спец. 140211.65 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. В. Савина . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 124 с. – Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6056.pdf (дата обращения: 10.05.2025).

13 Савина Н. В. Техника высоких напряжений. Грозовые перенапряжения и защита от них [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 191 с. - Режим доступа:

http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7361.pdf (дата обращения: 10.05.2025).

14 Бочаров Ю. Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. Н. Бочаров, С. М. Дудкин, В. В. Титков. - СПб. : С.-Петерб. политех. ун-т Петра Великого, 2013. - 265 с. - Б. ц. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976> (дата обращения: 24.05.2024).

15 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0-20.527-98, М.: Издательство НЦ ЭНАС., 2002.

16 ГОСТ Р 50736-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока КЗ (вводится с 01.07.2008 взамен ГОСТ Р 50254 – 92).

17 Официальный сайт ОАО «Электрощит» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.electroshield.ru/catalog/properties/3/689/> (доступ от 25.04.2025)

18 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая ред.)/Мин. экономики РФ, Мин. финансов РФ, Г К по р-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. коллект. Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. ~М.: ОАО «НПО»; Экономика, 2020.-421 с.

19 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.

20 «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (утв. приказом Минэнерго РФ от 04.10.2022 № 1070);

21 Приказ Министерства труда и социальной защиты российской федерации от 15 декабря 2020 года N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

22 Руководство по эксплуатации вакуумного выключателя ВВ/Tel-6 версия 2.0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teks.nt-rt.ru/images/manuals/bb-tel-manual.pdf> 20.05.2025 г.

23 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.

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

25 Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

26 Постановление Правительства российской федерации от 16 сентября 2020 года N 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» (с изменениями на 21 мая 2021 года)

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

28 Официальный сайт АО «ДРСК» - Тариф покупки потерь электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.drsk.ru/](http://www.drsk.ru/) (дата обращения: 10.05.2025).

29 Официальный сайт «Таврида-электрик» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.tavrida.ru.ru/](http://www.tavrida.ru.ru/) (дата обращения: 24.05.2025).

30 Микропроцессорная релейная защита и автоматика [Электронный ресурс]: офиц. сайт.– 27.05.2024.– режим доступа: <http://www.printsip.ru/cgi/shop/item/Sirius-2-L> – (дата обращения: 15.04.2025).

31 Руководство по эксплуатации вакуумного выключателя ВВ/TEL Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tavrida.com/upload/iblock/923/TER_CBdoc_UG_13.pdf (дата обращения: 14.04.2025).

32 Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.

33 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.

34 Козлов А. Н. Микропроцессорные средства управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника". Ч. 1 . Построение основных функций цифровых релейных защит / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Н. Козлов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 54 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7739.pdf (дата обращения: 24.05.2025).

35 Схемы и подстанции электроснабжения [Текст] : справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 . - ISBN 5-8199-0254-8 (в пер.). - ISBN 5-16-002581-2