

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

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Зав.кафедрой  
\_\_\_\_\_ Н.В. Савина  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ се-  
ла Петропавловка Амурской области

Исполнитель  
студент группы 842узб

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

И.В. Мосягин

Руководитель  
канд.техн.наук, доцент

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.Н. Козлов

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

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль  
ст. преподаватель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2022

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

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.В. Савина  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**З А Д А Н И Е**

К выпускной квалификационной работе студента И.В. Мосягин

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области  
(утверждена приказом от \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.2022г. № \_\_\_\_\_)

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

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: поопорная схема 0,4 кВ села Петропавловка, поопорная схема 10 кВ села Петропавловка, однолинейная схема ПС Петропавловка, контрольный замер Ивановского РЭС Амурских электрических сетей декабря 2021 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): энергоэкономическая характеристика района электроснабжения, исходные данные для анализа нагрузок и их расчёт, выбор уровней номинального напряжения, низковольтное электроснабжение, выбор числа и мощности трансформаторов на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ, выбор схемы подключения трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, компенсация реактивной мощности, токи короткого замыкания, выбор и проверка оборудования напряжением до 1 кВ, выбор и проверка оборудования напряжением выше 1 кВ, компенсация емкостных токов замыкания на землю, релейная защита и автоматика, заземление трансформаторной подстанции, безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план села с указанием линий 0,4 кВ, варианты выполнения сети 10 кВ, микропроцессорная автоматика в сети 10 кВ, однолинейная схема и параметры сети 10 кВ, однолинейная схема столбовой ТП и токи короткого замыкания, микропроцессорная защита линий 10 кВ.

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

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель выпускной квалификационной работы: \_\_\_\_\_

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

Задание принял к исполнению (дата): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 114 с, 11 рисунков, 45 таблиц, 38 использованных источников.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, РАСЧЕТНАЯ АКТИВНАЯ НАГРУЗКА, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, БЫТОВАЯ НАГРУЗКА, КОЭФФИЦИЕНТ ОДНОВРЕМЕННОСТИ, ТРЁХФАЗНОЕ КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ, РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЗАЩИТЫ, НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, РАСЧЁТНЫЙ ТОК.

Сети 0,4-10 кВ села Петропавловка находятся в неудовлетворительном состоянии. Для повышения надёжности, качества электроснабжения производится реконструкция сетей 0,4-10 кВ, определяются параметры сети после реконструкции.

В работе проводится реконструкция системы электроснабжения села Петропавловка для повышения надёжности сети и снижения технических/коммерческих потерь электроэнергии.

Определены уровни токов КЗ в сети 0,4-10 кВ при помощи приближенного приведения в именованных единицах. Выбраны уставки средств РЗА трансформаторов и линий 0,4-10 кВ.

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Энергоэкономическая характеристика района электроснабжения	9
2 Исходные данные для анализа нагрузок и их расчёт	13
2.1 Расчёт нагрузок потребителей 0,4 кВ	13
2.2 Расчёт нагрузки уличного освещения	16
3 Выбор уровней номинального напряжения	17
4 Низковольтное электроснабжение	18
4.1 Расчёт электрических нагрузок линий 0,4 кВ, выбор и проверка проводников распределительной сети	18
4.2 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ трансформаторных подстанций	22
5 Выбор числа и мощности трансформаторов на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ	24
6 Выбор схемы подключения трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ	29
6.1 Определение потерь мощности в трансформаторах 10/0,4 кВ	29
6.2 Приведенная нагрузка к стороне 10 кВ трансформаторов 10/0,4 кВ	30
6.3 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ	31
6.4 Технико-экономическое сравнение вариантов сети 10 кВ	38
6.5 Расчёт электрических нагрузок на шинах 10 кВ подстанции «Петропавловка»	41
7 Компенсация реактивной мощности	42
8 Токи короткого замыкания	44
8.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	44
8.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ	47
9 Выбор и проверка оборудования напряжением до 1 кВ	55
9.1 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ	55
9.2 Выбор трансформаторов тока 0,4 кВ	58

10	Выбор и проверка оборудования напряжением выше 1 кВ	64
10.1	Выбор предохранителей для защиты трансформаторов 10/0,4 кВ	64
10.2	Проверка линий 10 кВ на термическую стойкость	65
10.3	Выбор трансформаторов тока 10 кВ	66
10.4	Выбор трансформатора напряжения 10 кВ	71
10.5	Выбор выключателей нагрузки 10 кВ	73
10.6	Выбор выключателей 10 кВ	75
10.7	Выбор комплектного распределительного устройства 10 кВ	79
10.8	Выбор изоляторов 10 кВ	81
10.9	Выбор ограничителей перенапряжения 10 кВ	83
11	Компенсация емкостных токов замыкания на землю	86
12	Релейная защита и автоматика	87
12.1	Токовая отсечка без выдержки времени.	87
12.2	Максимальная токовая защита линий	89
12.3	Защита от однофазных замыканий на землю	91
12.3	Устройства автоматического включения резерва	92
13	Заземление трансформаторной подстанции	94
14	Безопасность и экологичность	99
14.1	Безопасность	99
14.2	Экологичность	102
14.3	Чрезвычайные ситуации	106
	Заключение	110
	Библиографический список	111

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;

АЭС – Амурские электрические сети;

АО – акционерное общество;

ВВ – вакуумный выключатель;

ВЛ - воздушная линия;

ДРСК – Дальневосточная распределительная сетевая компания;

КЗ – короткое замыкание;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

ЛЭП – линия электропередачи;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ПС - подстанция;

РЗ - релейная защита;

РЭС – район энергоснабжения;

СИП – самонесущий изолированный провод;

СП – структурное подразделение;

ТО – токовая отсечка;

ТП – трансформаторная подстанция;

ФЗ – федеральный закон;

ЦЭС – центральные электрические сети.

## ВВЕДЕНИЕ

В течении 2021 года на территории Амурской области произошел рост электропотребления на величину 1% относительно 2020 года. За 2022 года наблюдается рост электропотребления на величину 1,9%, что является показателем развития инфраструктуры городских и сельских потребителей, деятельности производственных предприятий [17].

Оборудование электрических сетей села Петропавловка Амурской области находятся в зоне ответственности АО «ДРСК» филиала «Амурские электрические сети», структурное подразделение «Центральные сети», Ивановский РЭС.

Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области вызвана потребностью повышения эффективности функционирования системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Петропавловка.

Анализ электропотребления за 2021-2022 год показывает, что на систему электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области потенциально возрастает нагрузка в условиях текущей эксплуатации.

В результате для того, чтобы снизить аварийность функционирования электрических питающих сетей напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области предстоит предусмотреть замену проводов, эффективную загрузку трансформаторов ТП, оптимальную схему соединения сети 10 кВ.

Эффективность функционирования электрических распределительных сетей напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области выражается в том числе количественным показателем величины потерь электроэнергии в ходе электроснабжения потребителей, поэтому средняя величина 40% потерь электроэнергии должна быть сокращена до приемлемых величин 8-9%, [7].

Цель выпускной квалификационной работы – разработка проекта системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской

области для повышения эффективности функционирования системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Петропавловка.

Задачи реконструкции системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области:

- замена деревянных опор на железобетонные;
- замена провода марки А, АС на изолированный марки СИП-2;
- замена КТП позволит увеличить срок службы оборудования;
- повышение пропускной способности ВЛ 0,4-10 кВ,
- снижение коммерческих потерь и эксплуатационных затрат, затрат на ремонт, повышение качества электроэнергии;
- сокращение числа ремонтов за счёт применения современного оборудования – проводов СИП, комплектных ТП, вакуумных выключателей ВВТел,

Пути решения поставленных задач:

1. Выполняется оценка уровня потерь электроэнергии в существующих сетях 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области;
2. Выполняется расчёт нагрузок бытовых потребителей 0,4 кВ села Петропавловка Амурской области;
3. Выполняется расчёт токов КЗ в сети 0,4-10 кВ села Петропавловка Амурской области;
4. Применяются рекомендуемые коэффициенты загрузки трансформаторов 10/0,4 кВ села Петропавловка Амурской области;
5. Выполняется расчёт параметров аппаратов в сети 0,4-10 кВ села Петропавловка Амурской области;
6. Выполняется расчёт уставок срабатывания средств микропроцессорной РЗиА в сети 10 кВ села Петропавловка Амурской области;

Практическая значимость проекта заключается в том, что его реализация приведёт к снижению потерь в сетях 0,4-10 кВ села Петропавловка, повысит надёжность сетей, обеспечит соблюдение качества по ГОСТ 32144-2013. При проектировании использовались следующие программные продукты: MS Office Word; MS Office Excel; MS Visio; Mathcad.



# 1 ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Согласно [19], Ивановский район Амурской области территориально находится на юго-западе Амурской области, занимаемая площадь 2672 км<sup>2</sup>. Площадь сельскохозяйственных угодий Ивановского района Амурской области составляет 103 тыс. га.

Ивановский район Амурской области имеет границу с Благовещенским, Тамбовским, Октябрьским, Ромненским, Белогорским районами. На территории Ивановского района Амурской области проходят железная дорога, автомагистрали Белогорск-Благовещенск, Белогорск-Райчихинск.

Удобное географическое положение, близость к городу Благовещенск создают условия для эффективного решения экономических и социальных проблем развития.

Центр – село Ивановка, удаленность от г. Благовещенска составляет 34 км.

Территория Ивановского района Амурской области расположена в юго-западной части Зейско-Бурейской равнины и имеет общее понижение с северо-востока на юго-запад.

Ивановский район Амурской области сосредотачивает в себе различные полезные ископаемые, которые представлены топливными ресурсами и сырьем для строительной индустрии.

Примерами обеспеченности полезными ископаемыми района являются Ерковецкое бурогольное месторождение, которое расположено на востоке района и продолжается в Октябрьском районе и Ивановское месторождение кирпичных глин, которое расположено на юге и юго-западе с. Ивановки. А также Среднебельское месторождение глин, которое находится в 2 км от села Среднебелая.

В соответствии с рисунком 1, к западу села Петропавловка расположены земли принадлежащие к категории кормовые угодья, к востоку – пашни.



Рисунок 1 – Сельхозугодья района

В соответствии с рисунком 2, село Петропавловка расположено в зоне благоприятности для осуществления строительной деятельности. В непосредственной близости к селу расположена подстанция 35/10 кВ «Петропавловка».

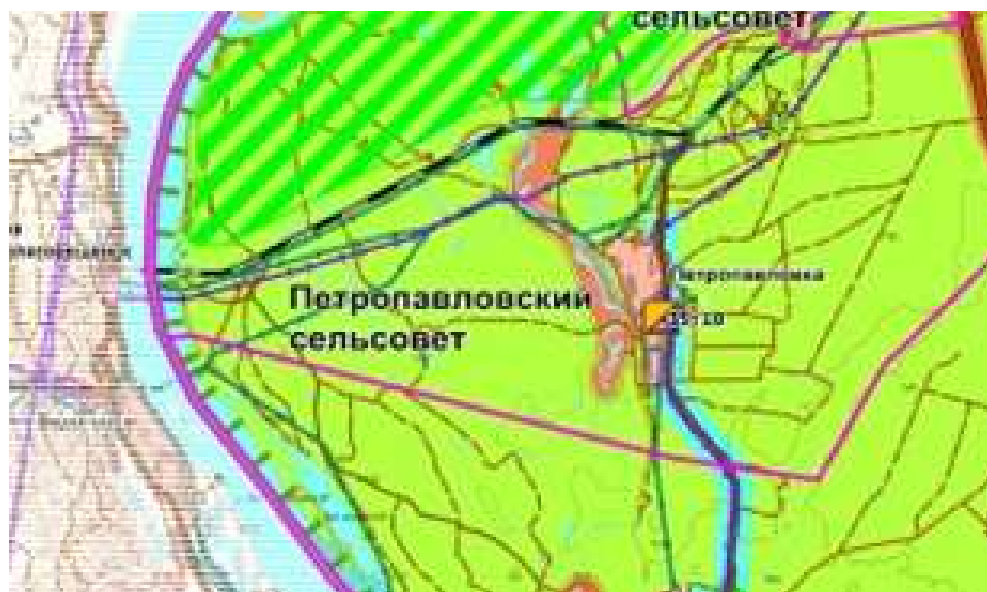


Рисунок 2 – Схема развития района

Распределительные сети 10 кВ села Петропавловка представлены 3 фидерами 10 кВ - №1 (село Петропавловка, Богородское), №3 (село Петропавловка), №6 (село Петропавловка, ведомственный потребитель). Анализ величины величины потерь электроэнергии по фидерам ПС «Петропавловка» Ивановского РЭС выполняется по графикам на рисунках 3 – 4, где указаны данные за 2022 год с разделением по питающим фидерам 10 кВ [17].

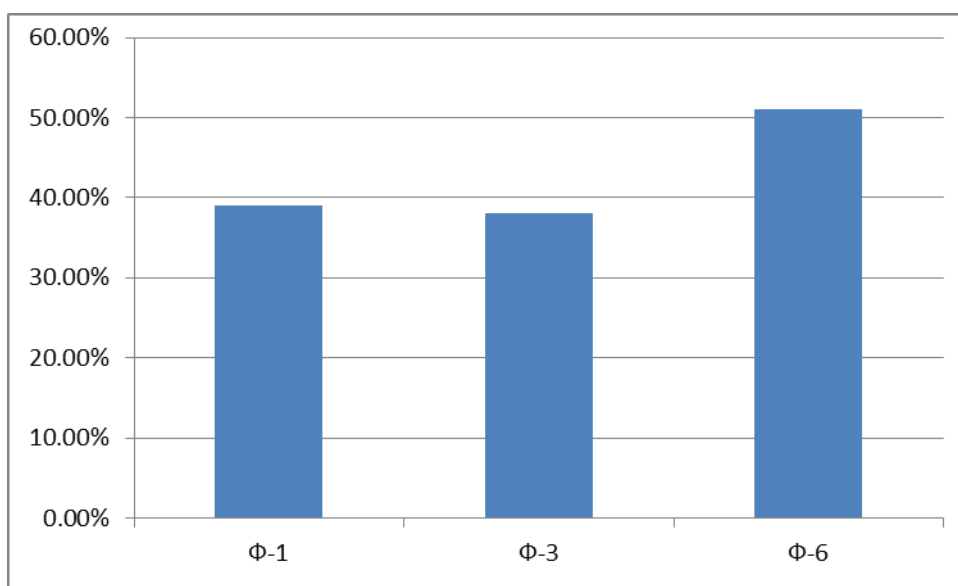


Рисунок 3 - Коммерческие потери по фидерам ПС «Петропавловка» за 2022 год [17]

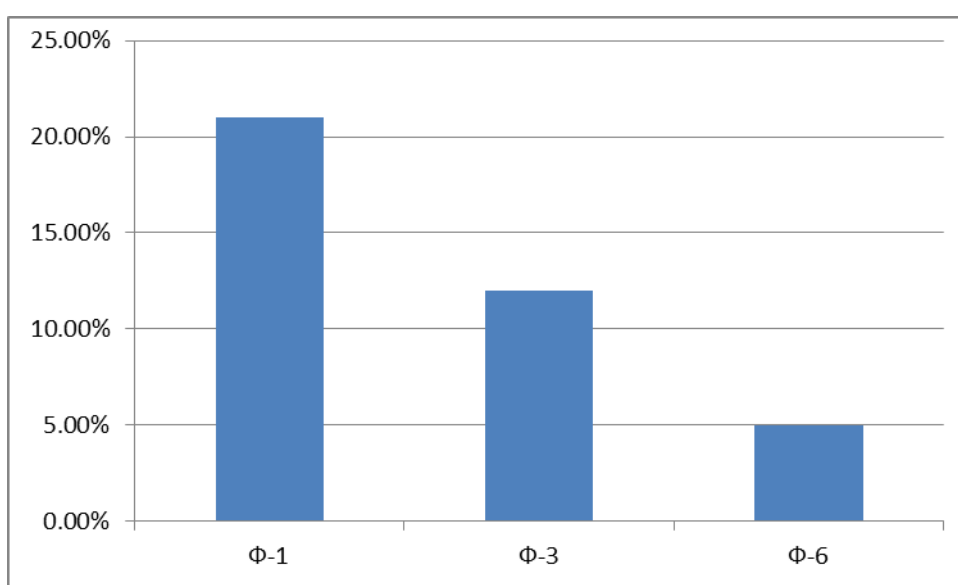


Рисунок 4 - Технические потери по фидерам ПС «Петропавловка» за 2022 год [17]

На основе данных, указанных на рисунках 3 и 4 делается вывод о том, что величина коммерческих потерь в среднем составляет 40%, минимально 38%, максимум 51%. Предпринять действия по сокращению коммерческих потерь обосновано, так как потери являются упущенной выгодой для распределительной сетевой компании (ДРСК). Также видно средний уровень технических потерь 12%, что показывает неэффективную работу сетей 0,4 – 10 кВ. Таким образом, необходимо реконструировать сеть 0,4 – 10 кВ села Петропавловка.

## 2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АНАЛИЗА НАГРУЗОК И ИХ РАСЧЁТ

### 2.1 Расчёт нагрузок потребителей 0,4 кВ

Расчетная нагрузка на вводе сельского жилого дома принимается по [38, т. 54.4]. Формирование экспликации района села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по разным потребителям, таблица 1.

Таблица 1 – Экспликация села Петропавловка

Объект	Кол-во объектов	Категорийность по надёжности электроснабжения
Одноквартирный дом (электроплита)	194	3
Двухквартирный дом (электроплита)	28	3
больница/ветучилище	2	2
контора	6	3
коровник	2	3
водонап.башня, пилорама	2	2
клуб	1	3
овощехранилище	2	3
гараж	6	3
магазин	4	3
мастерская	4	3
Склад, рыбхоз	2	3
магазин	9	3
пекарня,пельменный цех	1	3
зернохранилище	10	3
нефтебаза/азс	1	3
котельная	2	2
Школа, садик	2	2
баня	5	3

Дальнейшие математические вычисления параметров дневного и вечернего максимума нагрузки на вводе в двухквартирный дом проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$S_B = \frac{K_{yB} \cdot P_P}{\cos \varphi_B}, \quad (1)$$

$$S_B = \frac{1 \cdot 12}{1} = 12 \text{ кВА},$$

$$S_D = \frac{K_{уд} \cdot P_P}{\cos \varphi_D}, \quad (2)$$

$$S_D = \frac{0,5 \cdot 12}{1} = 6 \text{ кВА}.$$

где  $K_{уд}$ ,  $K_{вв}$  - коэффициенты участия в дневном и вечернем максимуме нагрузок;

$\cos \varphi_D$ ;  $\cos \varphi_B$  - коэффициентов мощности нагрузки дневного и вечернего потребления;

$P_P$  - расчетная активная нагрузка на вводе по [38].

Формирование итогов вычисления нагрузки потребителей на 2022 год в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по разным потребителям села Петропавловка, таблица 2.

Таблица 2 – Расчётные нагрузки потребителей на 2022 год

Объект	Кол-во объектов	Рв, кВт	Qв, кВар	Рд, кВт	Qд, кВар	cosφ
Одноквартирный дом (электроплита)	149	6.0	0.0	3.0	0.0	1.00
Двухквартирный дом (электроплита)	18	12.0	0.0	6.0	0.0	1.00
больница/ветучилище	1	50	35	50	35	0.82
контора	1	2	1	5	3	0.86
коровник	5	10	8	10	8	0.78
водонап.башня, пилорама	5	20	10	20	10	0.89
клуб	2	32	20	10	6	0.85
овощехранилище	1	60	60	65	60	0.68
гараж	6	5	4	10	8.5	0.76
магазин	4	10	5	10	5	0.89
мастерская	1	5	4	10	7	0.82
Склад, рыбхоз	1	1	1	20	12	0.86
магазин	9	10	5	10	5	0.89
пекарня, пельменный цех	1	28	8	28	8	1.00
зернохранилище	10	10	5	25	25	0.71
нефтебаза/азс	1	10	5	10	5	0.89
котельная	2	18	13	18	13	0.89
Школа, садик	2	12	8	21	8.1	0.93
баня	5	14	4	14	4	0.96

Дальнейшие математические вычисления прогнозируемой нагрузки на 2032 год для двухквартирных домов проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$P_{\text{прогн}}^{2032} = P_p^{2022} \cdot \left(1 + \frac{\Sigma}{100}\right)^{10}, \quad (3)$$

$$P_{\text{прогн}}^{2032} = 12 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right)^{10} = 14,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{прогн}}^{2032} = Q_p^{2022} \cdot \left(1 + \frac{\Sigma}{100}\right)^{10}, \quad (4)$$

$$Q_{\text{прогн}}^{2032} = 0 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right)^{10} = 0 \text{ кВар},$$

где  $\Sigma$  - прирост нагрузки, принимается 2% [17].

Формирование итогов вычисления нагрузки потребителей села Петропавловка на 2032 год в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по потребителям, таблица 3.

Таблица 3 – Расчётные нагрузки потребителей на 2032 год

Объект	Расчётная нагрузка		Sp, кВА	cosφ	Категория по надёжности
	P, кВт	Q, кВАр			
2	3	4	5	6	7
Одноквартирный дом (электроплита)	7.3	0.0	7	1.00	3
Двухквартирный дом (электроплита)	14.6	0.0	15	1.00	3
больница/ветучилище	61.0	42.7	74	0.82	2
контора	6.1	3.7	7	0.86	3
коровник	12.2	9.8	16	0.78	3
водонап.башня, пилорама	24.4	12.2	27	0.89	2
клуб	39.0	24.4	46	0.85	3
овоцехранилище	73.2	73.2	108	0.68	3
гараж	12.2	10.4	16	0.76	3
магазин	12.2	6.1	14	0.89	3
мастерская	6.1	4.9	15	0.82	3
Склад, рыбхоз	24.4	14.6	28	0.86	3

2	3	4	5	6	7
магазин	12.2	6.1	14	0.89	3
пекарня, пельменный цех	34.2	9.8	36	1.00	3
зернохранилище	30.5	30.5	43	0.71	3
нефтебаза/азс	12.2	6.1	14	0.89	3
котельная	22.0	15.9	27	0.89	2
Школа, садик	25.6	9.9	27	0.93	2
баня	17.1	4.9	18	0.96	3

Вывод – общий прирост нагрузки на 2032 год составляет 18%, поэтому необходимо вести расчёт с учётом данного прироста.

## 2.2 Расчёт нагрузки уличного освещения

Дальнейшие математические вычисления нагрузки уличного освещения ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$P_{oc} = P_{oc,уд} \cdot l, \quad (5)$$

$$P_{oc} = 8 \cdot 1,98 = 15,84 \text{ кВт.}$$

где  $P_{oc,уд}$  – удельная мощность, для освещения улиц по [38] принимаем 8 кВт/км.

$l$  – длина, км.

Формирование итогов вычисления нагрузки освещения ТП села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 4.

Таблица 4 – Нагрузка уличного освещения

ТП	Нагрузка освещения улиц, кВт	Длина участка, км
ТП 09-8	15.84	1.98
ТП 09-14	11.52	1.44
ТП 09-1	7.8	0.98
ТП 09-4	15.84	1.98
ТП 09-19	8.4	1.05
ТП 09-5	5.52	0.69
ТП 09-3	18.24	2.28



### 3 ВЫБОР УРОВНЕЙ НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Для центра питания ПС Петропавловка предусмотрено наличие силовых трансформаторов ТМН 4000/35/10 и ТМ -1800/35/10 со вторичным номинальным напряжением 10 кВ. Первичное напряжение трансформаторов ТП на уровне 10 кВ для всех ТП села Петропавловка. Поэтому переход на какой-либо другой уровень напряжения для распределительных сетей питания ТП не производится.

Напряжение распределительных сетей для подключения всех низковольтных потребителей – 0,4 кВ.

Вывод – при реконструкции системы электроснабжения села Петропавловка Амурской области проводятся проектные и эксплуатационные работы с напряжением 10-0,4 кВ.

## 4 НИЗКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

### 4.1 Расчёт электрических нагрузок линий 0,4 кВ, выбор и проверка проводников распределительной сети

Дальнейшие математические вычисления нагрузки линии 1 ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$S_P = K_o \cdot S_i, \quad (6)$$

$$S_P = 0.35 \cdot 176 = 61 \text{ кВА.}$$

где  $K_o$  - коэффициент одновременности, [38].

Дальнейшие математические вычисления расчётного тока линии 1 ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (7)$$

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{61}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 89 \text{ А.}$$

Учитывая большую протяженность линии, принимаем СИП сечением жил  $95 \text{ мм}^2$  СИП 2А 3x95+1x50 с длительно допустимым током 290 А, [9].

Дальнейшие математические вычисления потери напряжения по линии 1 ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \frac{100}{400} \cdot (r_{уд} \cdot \cos(\varphi) + x_{уд} \cdot \sin(\varphi)), \quad (8)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 89 \cdot 720 \cdot \frac{100}{400} \cdot (0,32 \cdot 1 + 0,09 \cdot 0) = 9,3\%.$$

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

$l$  – длина линии 0,4 кВ, м;

$I_p$  – расчетный ток в линии 0,4 кВ, А.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки на потерю напряжения по линии 1 ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$\Delta U < \Delta U_{дон}, \quad (9)$$

$$9,3\% < 10\%,$$

где  $\Delta U_{дон}$  – величина допустимого медленного изменения напряжения по ГОСТ 32144-2013 - 10% [5].

По условию проверки делается вывод о том, что потеря напряжения не превышает 10%, поэтому качество электроэнергии после реконструкции сетей 0,4 кВ села Петропавловка соответствует ГОСТ 32144-2013. В итоге аналогичные вычисления нагрузок проводятся в объёме данной работы по всем линиям 0,4 кВ.

Формирование итогов вычисления суммарной нагрузки линий 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 5.

Формирование итогов вычисления расчётной нагрузки линий 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 6.

Таблица 5 – Суммарные нагрузки в сетях 0,4 кВ

№	Потребители	$P_{\text{сумм}}, \text{кВт}$	$S_{\text{сумм}}, \text{кВА}$	$K_0$
ТП 09-8	нагрузка физ.лиц	175.68	176	0.35
	нагрузка физ.лиц	419.68	424	0.28
	нагрузка физ.лиц	258.64	263	0.31
ТП 09-14	преобл. нагрузка физ.лиц	100.04	101	0.38
	нагрузка физ.лиц	109.8	110	0.35
	нагрузка физ.лиц	114.68	117	0.37
	нагрузка предприятий	36.6	44.7	0.8
ТП 09-1	нагрузка предприятий	305	431	0.65
	нагрузка предприятий	274.5	388	0.67
	нагрузка предприятий	175.68	190	0.61
ТП 09-4	преобл. нагрузка физ.лиц	180.56	188	0.34
	нагрузка физ.лиц	161.04	161	0.29
	нагрузка физ.лиц	153.72	154	0.29
ТП 09-19	нагрузка физ.лиц	230.58	247	0.32
	преобл. нагрузка физ.лиц	263.52	276	0.27
ТП 09-5	нагрузка предприятий	145.18	174	0.65
	нагрузка физ.лиц	65.88	66	0.4
ТП 09-3	нагрузка физ.лиц	102.48	102	0.33
	нагрузка физ.лиц	109.8	110	0.32
	нагрузка физ.лиц	102.48	102	0.35
	нагрузка физ.лиц	92.72	94	0.38

Таблица 6 – Расчётные нагрузки в сетях 0,4 кВ

№	Потребители	$P_p, \text{кВт}$	$S_p, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$
ТП 09-8	нагрузка физ.лиц	61	61	89
	нагрузка физ.лиц	118	119	170
	нагрузка физ.лиц	80	81	116
ТП 09-14	преобл. нагрузка физ.лиц	38	39	55
	нагрузка физ.лиц	38	38	56
	нагрузка физ.лиц	42	43	61
	нагрузка предприятий	29	36	42
ТП 09-1	нагрузка предприятий	198	280	286
	нагрузка предприятий	184	260	266
	нагрузка предприятий	107	116	155
ТП 09-4	преобл. нагрузка физ.лиц	61	64	89
	нагрузка физ.лиц	47	47	67
	нагрузка физ.лиц	45	45	64
ТП 09-19	нагрузка физ.лиц	74	79	107
	преобл. нагрузка физ.лиц	71	75	103
ТП 09-5	нагрузка предприятий	94	113	136
	нагрузка физ.лиц	26	26	38
ТП 09-3	нагрузка физ.лиц	34	34	49
	нагрузка физ.лиц	35	35	51
	нагрузка физ.лиц	36	36	52
	нагрузка физ.лиц	35	36	51

Значения  $\cos\phi$  для каждой линии определены как средние из значений  $\cos\phi$  по потребителям данной линии 0,4 кВ. Длина каждой линии определена исходя из подробной поопорной схемы сети 0,4 кВ села Петропавловка при условии, что длина пролёта составляет 30 м. Данное допущение сделано ввиду разницы величины каждого из пролетов 25-35 м, в зависимости от типа опор пролёта (анкерные, промежуточные, поворотные).

Формирование итогов вычисления параметров линий 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 7.

Таблица 7 –Параметры линий 0,4 кВ

№	Потребители	$I_p$ , А	$I_{доп}$ , А	$F_{\text{пров/каб}}$ , мм <sup>2</sup>	$N_{\text{прол}}$	L, км	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$
ТП 09-8	нагрузка физ.лиц	89	290	95	24	0.72	1.00	0.00
	нагрузка физ.лиц	170	344	150	20	0.6	0.99	0.14
	нагрузка физ.лиц	116	340	120	22	0.66	0.98	0.18
ТП 09-14	преобл. нагрузка физ.лиц	55	160	35	14	0.42	0.99	0.16
	нагрузка физ.лиц	56	161	35	15	0.45	1.00	0.00
	нагрузка физ.лиц	61	161	35	11	0.33	0.98	0.19
	нагрузка предприятий	42	132	25	8	0.24	0.82	0.57
ТП 09-1	нагрузка предприятий	286	240	70	6	0.18	0.71	0.71
	нагрузка предприятий	266	290	95	9	0.27	0.71	0.71
	нагрузка предприятий	155	293	95	14	0.42	0.9	0.38
ТП 09-4	преобл. нагрузка физ.лиц	89	290	95	23	0.69	0.96	0.28
	нагрузка физ.лиц	67	240	70	23	0.69	1.00	0.00
	нагрузка физ.лиц	64	586	70	20	0.6	1.00	0.00
ТП 09-19	нагрузка физ.лиц	107	240	70	14	0.42	0.93	0.36
	преобл. нагрузка физ.лиц	103	290	95	21	0.63	0.95	0.30
ТП 09-5	нагрузка предприятий	136	240	70	12	0.36	0.84	0.55
	нагрузка физ.лиц	38	130	25	11	0.33	1.00	0.00
ТП 09-3	нагрузка физ.лиц	49	195	50	21	0.63	1.00	0.00
	нагрузка физ.лиц	51	195	50	17	0.51	1.00	0.00
	нагрузка физ.лиц	52	195	50	19	0.57	1.00	0.00
	нагрузка физ.лиц	51	195	50	19	0.57	0.98	0.17

Формирование итогов вычисления падения напряжения для линий 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 8.

Таблица 8 – Потери напряжения в сетях 0,4 кВ

№	Потребители	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔU, %
ТП 09-8	нагрузка физ.лиц	0.32	0.09	9.3
	нагрузка физ.лиц	0.206	0.09	10.0
	нагрузка физ.лиц	0.253	0.09	9.2
ТП 09-14	преобл. нагрузка физ.лиц	0.87	0.09	9.2
	нагрузка физ.лиц	0.87	0.09	9.9
	нагрузка физ.лиц	0.87	0.09	8.0
	нагрузка предприятий	1.2	0.09	4.8
ТП 09-1	нагрузка предприятий	0.44	0.09	8.8
	нагрузка предприятий	0.32	0.09	9.5
	нагрузка предприятий	0.32	0.09	9.8
ТП 09-4	преобл. нагрузка физ.лиц	0.32	0.09	9.3
	нагрузка физ.лиц	0.44	0.09	9.3
	нагрузка физ.лиц	0.44	0.09	7.7
ТП 09-19	нагрузка физ.лиц	0.44	0.09	9.0
	преобл. нагрузка физ.лиц	0.32	0.09	9.8
ТП 09-5	нагрузка предприятий	0.44	0.09	9.3
	нагрузка физ.лиц	1.2	0.09	6.9
ТП 09-3	нагрузка физ.лиц	0.64	0.09	9.0
	нагрузка физ.лиц	0.64	0.09	7.5
	нагрузка физ.лиц	0.64	0.09	8.6
	нагрузка физ.лиц	0.64	0.09	8.5

По данным таблицы проводится сравнение с показателем медленное изменения напряжения по ГОСТ 32144-2013. Значение данного показателя определено как 10%.

#### 4.2 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ трансформаторных подстанций

Расчёт нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП выполняется по аналогии с расчётом нагрузки линий 0,4 кВ, но с иным подходом к суммированию активной мощности головных участков линий 0,4 кВ.

Дальнейшие математические вычисления активной нагрузки на шинах НН ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$P_P = P_{P_{наиб}} + \Delta P_{наим\ i} + P_{осе}, \quad (10)$$

$$P_{PТП09-8} = 118 + 41,7 + 55 + 15,84 = 230,1 \text{ кВт},$$

где  $P_{P_{\text{наиб}}}$  - наибольшая нагрузка линии 2, 118 кВт;

$\Delta P_{\text{наим } i}$  - добавочная мощность линии 1 расчётной мощностью 61 кВт - 41,7 кВт, для линии 2 расчётной мощностью 80 кВт - 55 кВт;

$P_{\text{осв}}$  - нагрузка освещения, таблица 4,

Дальнейшие математические вычисления полной нагрузки на шинах НН ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$S_P = \frac{P_P}{\cos \varphi}, \quad (11)$$

$$S_{PТП09-8} = \frac{230,1}{0,99} = 232 \text{ кВА},$$

где  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности для нагрузки ТП, 0,99.

Формирование итогов вычисления полной нагрузки на шинах НН ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 9.

Таблица 9 – Нагрузки ТП на стороне 0,4 кВ

№	Расчётная нагрузка, кВА	Расчётная активная нагрузка, кВт	Расчётная реактивная нагрузка, кВар
ТП 09-8	232.0	230.1	29.9
ТП 09-14	129.2	122.4	41.5
ТП 09-1	531.9	415.1	332.6
ТП 09-4	141.2	139.2	23.3
ТП 09-19	139.5	131.6	46.4
ТП 09-5	126.7	116.3	50.4
ТП 09-3	122.2	121.7	10.7

## 5 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЯХ 10/0,4 кВ

Количество трансформаторов на ТП села Петропавловка определяется категорией по надёжности электроснабжения потребителей в соответствии с заявками на технологическое присоединения и актом технологического присоединения заявленных потребителей.

Вторая категория по надёжности 2 используется для потребителя, подключенного к ТП 09-1, поэтому для данной ТП предусмотрено 2 трансформатора с подключением к разным центрам питания.

Дальнейшие математические вычисления мощности силовых трансформаторов ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$S_{PT} = \frac{S_{ТП}}{n_T \cdot K_C}, \quad (12)$$

$$S_{PT} = \frac{232}{1 \cdot 0,8} = 290 \text{ кВА},$$

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

$n_T$  - число трансформаторов, по категории бесперебойности электроснабжения потребителям ТП 09-1 требуется установка двух трансформаторов;

$K_C$  - коэффициент допустимой систематической нагрузки, принимаемый в зависимости от вида потребителей по таблице 13, [38].

Номинальная мощность трансформатора ТП 09-1 выбирается 400 кВА, тип трансформатора ТМ-400 кВА для удешевления затрат на реконструкцию системы электроснабжения села Петропавловка.



Дальнейшие математические вычисления загрузки в нормальном режиме силовых трансформаторов ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{S_P}{S_{\text{НОМТР}} \cdot N_{\text{ТР}}}, \quad (13)$$

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{290}{400} = 0,58 \geq 0,5.$$

Дальнейшие математические вычисления загрузки в послеаварийном режиме силовых трансформаторов ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$K_{3\text{ на}} = \frac{S_P}{S_{\text{НОМТР}} \cdot (N_{\text{ТР}} - 1)}, \quad (14)$$

$$K_{3\text{ на}} = \frac{290}{400} = 0,58 \leq 0,87.$$

Формирование итогов вычисления мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 10.

Таблица 10 – Выбор трансформаторов

№ ТП	ТП 09-8	ТП 09-14	ТП 09-1	ТП 09-4	ТП 09-19	ТП 09-5	ТП 09-3
S <sub>p</sub> , кВА	232.0	129.2	531.9	141.2	139.5	126.7	122.2
P <sub>p</sub> , кВт	230.1	122.4	415.1	139.2	131.6	116.3	121.7
Q <sub>p</sub> , кВАр	29.9	41.5	332.6	23.3	46.4	50.4	10.7
N <sub>тр</sub>	1	1	2	1	1	1	1
K <sub>загр</sub>	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
S <sub>расч</sub> , кВА	290	161	380	176	174	158	153
S <sub>ном</sub> , кВА	400	160	400	250	250	160	160

Формирование итогов вычисления загрузки трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 11.

Таблица 11 – Проверка трансформаторов

№ ТП	Фактический коэффициент загрузки $K_z$	Коэффициент допустимой аварийной перегрузки $K_a$
ТП 09-8	0.58	0.58
ТП 09-14	0.81	0.81
ТП 09-1	0.66	1.33
ТП 09-4	0.56	0.56
ТП 09-19	0.56	0.56
ТП 09-5	0.79	0.79
ТП 09-3	0.76	0.76

Из таблицы 11 видно, трансформаторы оптимально загружены на каждой ТП.

При реконструкции сети 10 кВ села Петропавловка необходимо рассмотреть вопрос разукрупнения существующих ТП.

Согласно существующему плану села (рисунок 10), ТП 09-6, ТП 09-11, ТП 09-9, ТП 09-7 разукрупнены, подключаемая к ним нагрузка переключена на другие близкорасположенные ТП, тем самым сокращены потери в сети на величину холостого хода и нагрузочных потерь короткого замыкания в демонтированных ТП.

ТП 09-4 перенесена на 200 м в северо-восточном направлении (перекрёсток переулок Юбилейный – переулок Новый) с целью оптимального подключения удаленных потребителей.

ТП 09-1 на территории зернового двора из мачтового типа преобразуется в комплектный тип и дополнительно по 2 категории надежности докомплектуется вторым трансформатором.

Расположение трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе показано в графическом виде, рисунок 5.

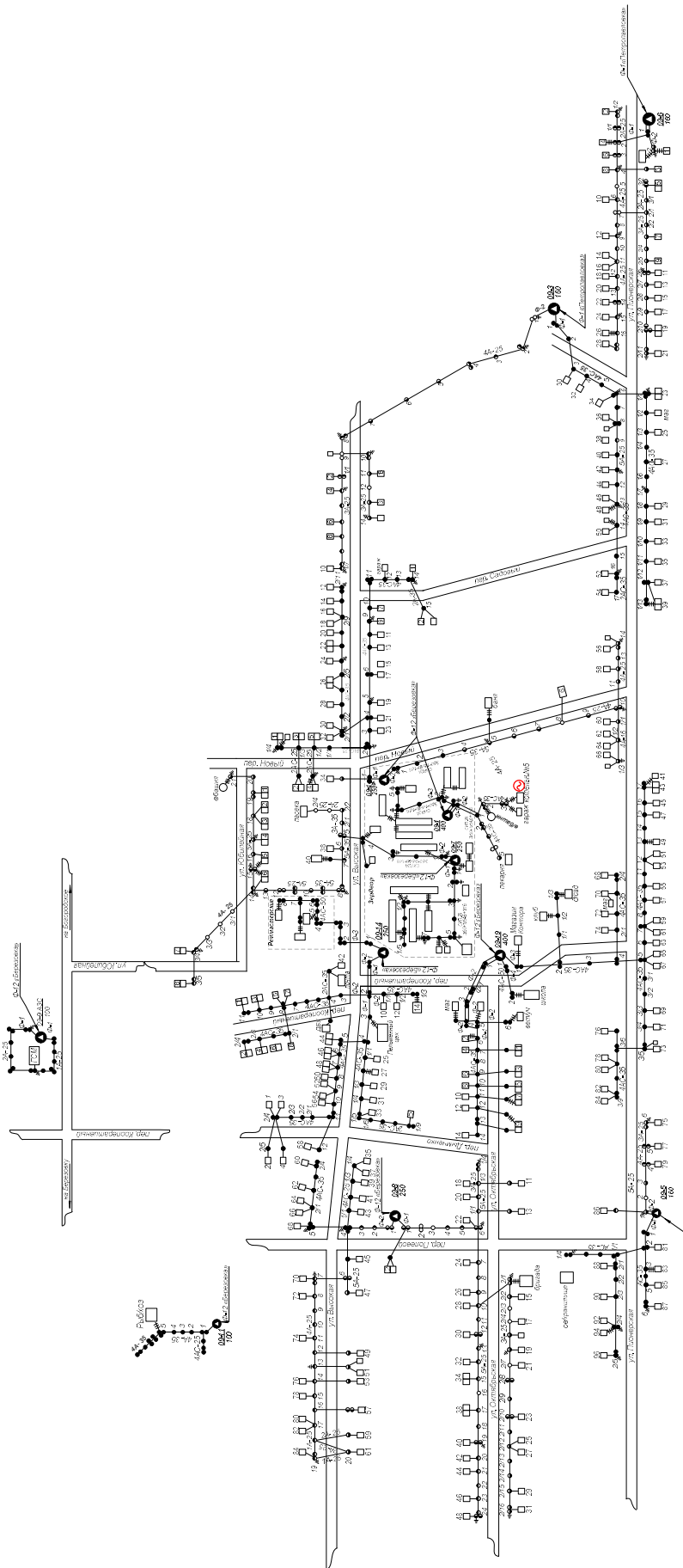


Рисунок 5 – Существующая схема сети 10-0,4 кВ села Петропавловка

Формирование итогов сравнения загрузки установленных трансформаторов с устанавливаемыми трансформаторами ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 12.

Таблица 12 – Величина загрузки трансформаторов до и после реконструкции

№ ТП	$S_p$ , кВА	$S_{ном}$ , кВА	$K_{загр}$	$S_{ном\ факт}$ , кВА	$K_{загр\ факт}$
	расчётные величины			фактические показатели	
ТП 09-8	232.0	400	0.58	250	0.93
ТП 09-14	129.2	160	0.81	250	0.52
ТП 09-1	531.9	400	0.66	900	0.59
ТП 09-4	141.2	250	0.56	250	0.56
ТП 09-19	139.5	250	0.56	400	0.35
ТП 09-5	126.7	160	0.79	160	0.79
ТП 09-3	122.2	160	0.76	160	0.76

По данным таблицы 12, трансформаторы на ТП 09-8 перегружены, на ТП 09-14, ТП 09-19 недогружены. Таким образом, проводится замена трансформаторов по данным ТП.

## 6 ВЫБОР СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10/0,4 кВ

### 6.1 Определение потерь мощности в трансформаторах 10/0,4 кВ

Дальнейшие математические вычисления полных активных потерь в силовом трансформаторе ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для приведения нагрузки:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K, \quad (15)$$

$$\Delta P_T = 1,05 + 0,58^2 \cdot 5,5 = 2,9 \text{ кВт},$$

где  $\Delta P_X$  - активные потери холостого хода в трансформаторе ТП 09-8, [1];  
 $\Delta P_K$  - активные потери короткого замыкания в трансформаторе ТП 09-8, [1].

Дальнейшие математические вычисления реактивных потерь холостого хода в силовом трансформаторе ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для приведения нагрузки:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \quad (16)$$

$$\Delta Q_X = 400 \cdot \frac{2,1}{100} = 8,4 \text{ кВАр},$$

где  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора ТП 09-8, 400 кВА;  
 $I_x$  - ток холостого хода в силовом трансформаторе ТП 09-8, [1].

Дальнейшие математические вычисления реактивных потерь короткого замыкания в силовом трансформаторе ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для приведения нагрузки:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_K}{100}, \quad (17)$$

$$\Delta Q_K = 400 \cdot \frac{4,5}{100} = 18 \text{ кВАр},$$

где  $U_K$  - напряжение короткого замыкания в силовом трансформаторе ТП 09-8, [1].

Дальнейшие математические вычисления полных реактивных потерь в силовом трансформаторе ТП 09-8 проводятся с применением исходных данных по выражению для приведения нагрузки:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (18)$$

$$\Delta Q_T = 8,4 + 0,58^2 \cdot 18 = 14,5 \text{ кВАр}.$$

Формирование итогов вычисления потерь мощности в трансформаторах ТП 10/0,4 кВ В села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 13.

Таблица 13 – Определение потерь мощности в трансформаторах ТП

№ ТП	Кз	$\Delta P_X$ , кВт	$\Delta P_K$ , кВт	$U_K$ , %	$I_X$ , %	$\Delta P_T$ , кВт	$\Delta Q_T$ , кВт
ТП 09-8	0.58	1.05	5.5	4.5	2.1	2.9	14.5
ТП 09-14	0.81	0.56	2.65	4.5	2.4	2.3	8.5
ТП 09-1	0.66	1.05	5.5	4.5	2.1	3.5	16.4
ТП 09-4	0.56	0.82	3.7	4.5	2.3	2.0	9.3
ТП 09-19	0.56	0.82	3.7	4.5	2.3	2.0	9.3
ТП 09-5	0.79	0.56	2.65	4.5	2.4	2.2	8.4
ТП 09-3	0.76	0.56	2.65	4.5	2.4	2.1	8.0

## 6.2 Приведенная нагрузка к стороне 10 кВ трансформаторов 10/0,4 кВ

Дальнейшие математические вычисления нагрузки трансформаторов ТП 09-8 на стороне 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта нагрузки линий 10 кВ:

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(P_{ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + \Delta Q_{ТП})^2}, \quad (19)$$

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(230,1 + 2,9)^2 + (29,9 + 14,5)^2} = 237 \text{ кВА.}$$

Формирование итогов вычисления нагрузки трансформаторов ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 14.

Таблица 14 - Нагрузка ТП на стороне 10 кВ ТП

№ ТП	$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta P_k$ , кВт	$\Delta P_T$ , кВт	$\Delta Q_T$ , кВт	Активная, кВт	Реактивная, кВАр	Полная, кВА
ТП 09-8	1.05	5.5	2.9	14.5	233	44	237
ТП 09-14	0.56	2.65	2.3	8.5	125	50	134
ТП 09-1	1.05	5.5	3.5	16.4	422	365	558
ТП 09-4	0.82	3.7	2.0	9.3	141	33	145
ТП 09-19	0.82	3.7	2.0	9.3	134	56	145
ТП 09-5	0.56	2.65	2.2	8.4	119	59	132
ТП 09-3	0.56	2.65	2.1	8.0	124	19	125

### 6.3 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ

2 варианта схемы соединения ТП села Петропавловка составляются на основе географического расположения села, руководствуясь требованиями к надёжности электроснабжения потребителей.

ВЛ 10 кВ села Петропавловка для повышения надёжности электроснабжения выполняем проводом САХ-(3х35), [9].

Дальнейшие математические вычисления нагрузки линии 10 кВ питания ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5 по варианту 1 проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$P_{P \text{ ЛИН}} = \kappa_O \cdot \sum_{i=1}^n P_{P \text{ ТП}i}, \quad (20)$$

$$P_{P \text{ ЛИН}} = 0,9 \cdot 617 = 559 \text{ кВт,}$$

$$Q_{P\text{ ЛИН}} = \kappa_0 \cdot \sum_{i=1}^n Q_{P\text{ ТП}i}, \quad (21)$$

$$Q_{P\text{ ЛИН}} = 0,9 \cdot 186 = 167 \text{ кВар},$$

$$S_{P\text{ ЛИН}} = \sqrt{P_{P\text{ ЛИН}}^2 + Q_{P\text{ ЛИН}}^2}, \quad (22)$$

$$S_{P\text{ ЛИН}} = \sqrt{556^2 + 167^2} = 580 \text{ кВА}.$$

где  $\kappa_0$  - коэффициент одновременности, 0,9 [38].

Дальнейшие математические вычисления токовой нагрузки линии 10 кВ питания ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5 по варианту 1 проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_{P\text{ ЛИН}} = \frac{S_{P\text{ ЛИН}}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (19)$$

$$I_{P\text{ ЛИН}} = \frac{580}{\sqrt{3} \cdot 10} = 33,5 \text{ А}.$$

Дальнейшие математические вычисления по выбору проводов линии 10 кВ питания ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5 по варианту 1 проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_{P\text{ ЛИН}} \leq I_{\text{доп ЛИН}},$$

$$33,5 \text{ А} \leq 200 \text{ А},$$

где  $I_{\text{доп ЛИН}}$  - допустимый ток провода SAХ-(3х35), 200 А [9].



Дальнейшие математические вычисления потери напряжения по линии 10 кВ питания ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5 по варианту 1 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \frac{100}{400} \cdot (r_{уд} \cdot \cos(\varphi) + x_{уд} \cdot \sin(\varphi)), \quad (23)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 33,5 \cdot 1750 \cdot \frac{100}{400} \cdot (0,96 \cdot 1 + 0,1 \cdot 0,29) = 1\%.$$

где  $\cos(\varphi)$  и  $\sin(\varphi)$  – коэффициенты мощности по линии 10 кВ;

$l$  – длина линии 10 кВ, м;

$I_p$  – расчетный ток в линии 10 кВ, А.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки на потерю напряжения по линии 10 кВ питания ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5 по варианту 1 проводятся с применением исходных данных по выражению для конкретной задачи работы:

$$\Delta U < \Delta U_{дон}, \quad (24)$$

$$1\% < 10\%.$$

где  $\Delta U_{дон}$  – величина допустимого медленного изменения напряжения по ГОСТ 32144-2013 - 10%.

Провод SAХ-(3х35) проходит проверку в нормальном режиме работы сети 10 кВ, для послеаварийного режима проверка выполняется идентично.

Формирование итогов вычисления нагрузки линий 10 кВ по варианту 1 села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 15.

Таблица 15 – Параметры сети 10 кВ по варианту 1

Линия	ТП 09-3	ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5	ТП 09-1 - ТП 09- 19	аварийный обрыв головного участка
Рсум, кВт	124	617	556	1173
Qсум, кВАр	19	186	421	607
Scум, кВА	125	645	697	1320
Ко	1	0,9	0,9	0.9
Рр, кВт	124	556	500	1056
Qр, кВАр	19	167	379	546
Sp, кВА	125	580	627	1188
Ir, А	7.2	33.5	36.3	68.7
Идоп, А	200	200	200	200
Сечение СИП-3, мм <sup>2</sup>	35	35	35	35
L, км	0.5	1.75	1	2.65
пц	1	1	1	1
Рл, Ом/км	0.986	0.986	0.986	0.986
Хл, Ом/км	0.0986	0.0986	0.0986	0.099
ΔWл, кВтч	677	50880	33993	#####
ΔУл, %	0.06	0.99	0.53	2.90

Преимущественно используем петлевую схему при использовании секционирующего разъединителя. Каждая полупетля может питать четыре – пять ТП трансформаторами мощностью до 630 кВА, согласно [8].

По второму варианту предполагается подключить двухтрансформаторную КТП 2х400 по двухлучевой схеме к шинам 10 кВ ПС Петропавловка, оставшиеся ТП подключаются по однолучевой схеме к ПС Петропавловка.

На рисунке 6 представлен вариант 1 сети 10 кВ села Петропавловка по петлевой схеме, с учётом расположения ТП, их количества.

Расположение центра питания ПС Петропавловка показано на плане, учтены существующие поопорные планы расстановки опор линий 10 кВ. Участки сети 10 кВ с деревянными опорами заменяются на железобетонные опоры 10 кВ при реконструкции сети 10 кВ села Петропавловка, голый провод марки АС и А заменяется на изолированный провод 10 кВ марки SAХ (аналог СИП-3).

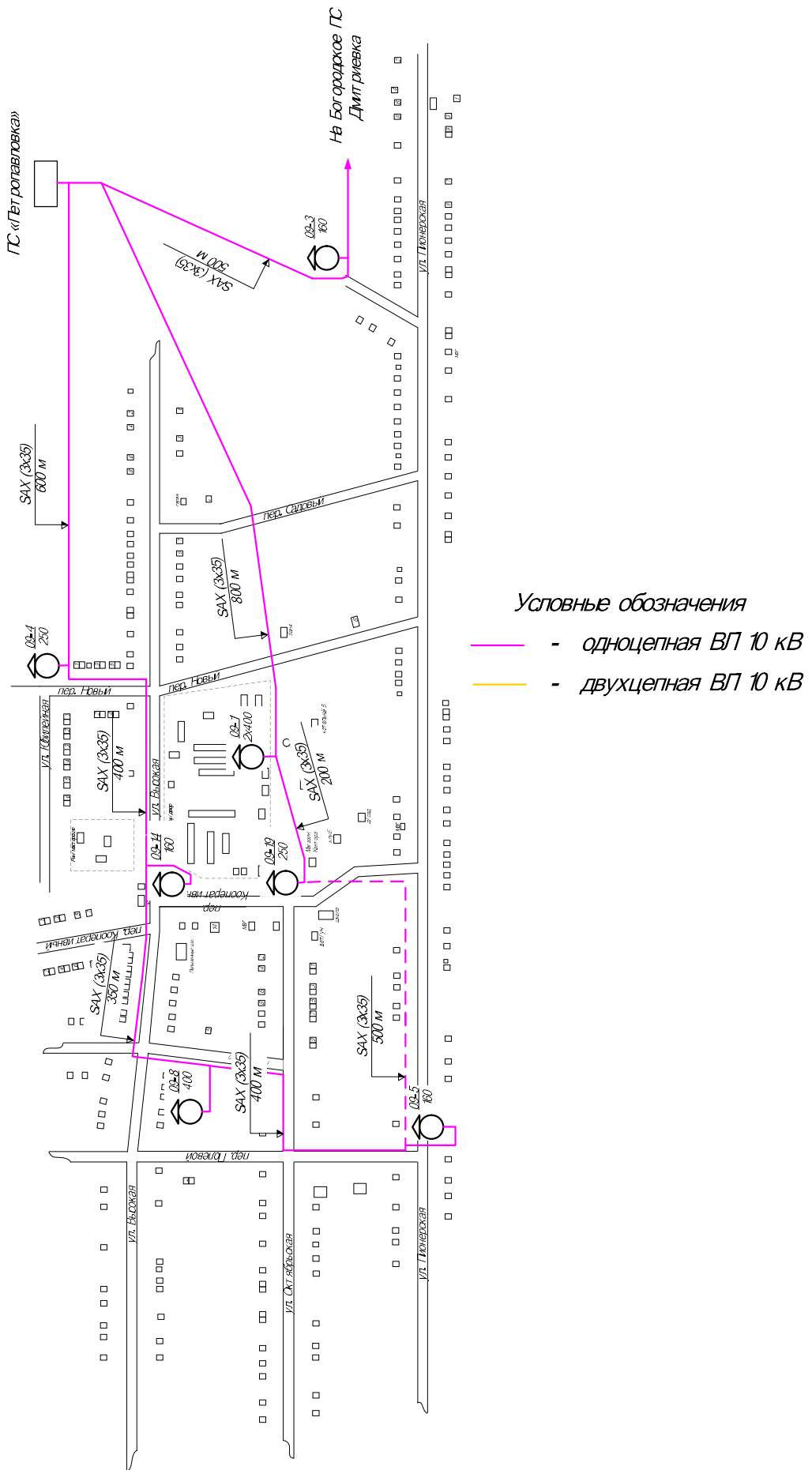


Рисунок 6 – Вариант 1 сети 10 кВ села Петропавловка

Формирование итогов вычисления нагрузки линий 10 кВ по варианту 2 села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 16.

Таблица 16 – Параметры сети 10 кВ по варианту 2

Линия	ТП 09-1	ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-19 - ТП 09-8 - ТП 09-5
Рсум, кВт	422	751
Qсум, кВАр	365	241
Sсум, кВА	558.1713	788.71255
Ко	1	0.9
Рр, кВт	422	676
Qр, кВАр	365	217
Sр, кВА	558	710
Ir, А	32.26424	41.0312887
Идоп, А	200	200
Сечение СИП-3, мм <sup>2</sup>	35	35
L, км	0.85	1.8
пц	2	1
Rл, Ом/км	0.986	0.986
Xл, Ом/км	0.0986	0.0986
$\Delta W_{л}$ , кВтч	11437	78339
$\Delta U_{л}$ , %	0.19	1.24

На рисунке 7 представлен вариант 2 сети 10 кВ села Петропавловка по петлевой и двухлучевой схеме, с учётом расположения ТП, их количества.

Использование двухлучевой схемы по условию соблюдения категории надежности и бесперебойности электроснабжения 2 для ТП 09-1, оборудованной двумя силовыми трансформаторами 10/0,4 кВ ТМ-400 является допустимым. Кроме того, выделение ТП 09-1 из общей схемы питания на отдельный двухлучевой участок создаёт условия для дальнейшего развития схемы по двухлучевой схеме без использования протяженных одноцепных плеч петлевой схемы. Подключение ТП с двумя трансформаторами по двухлучевой схеме проводится для ответственных потребителей с возможностью перевода схемы питания с резервированием по стороне 0,4 кВ для потребителей 1 категории

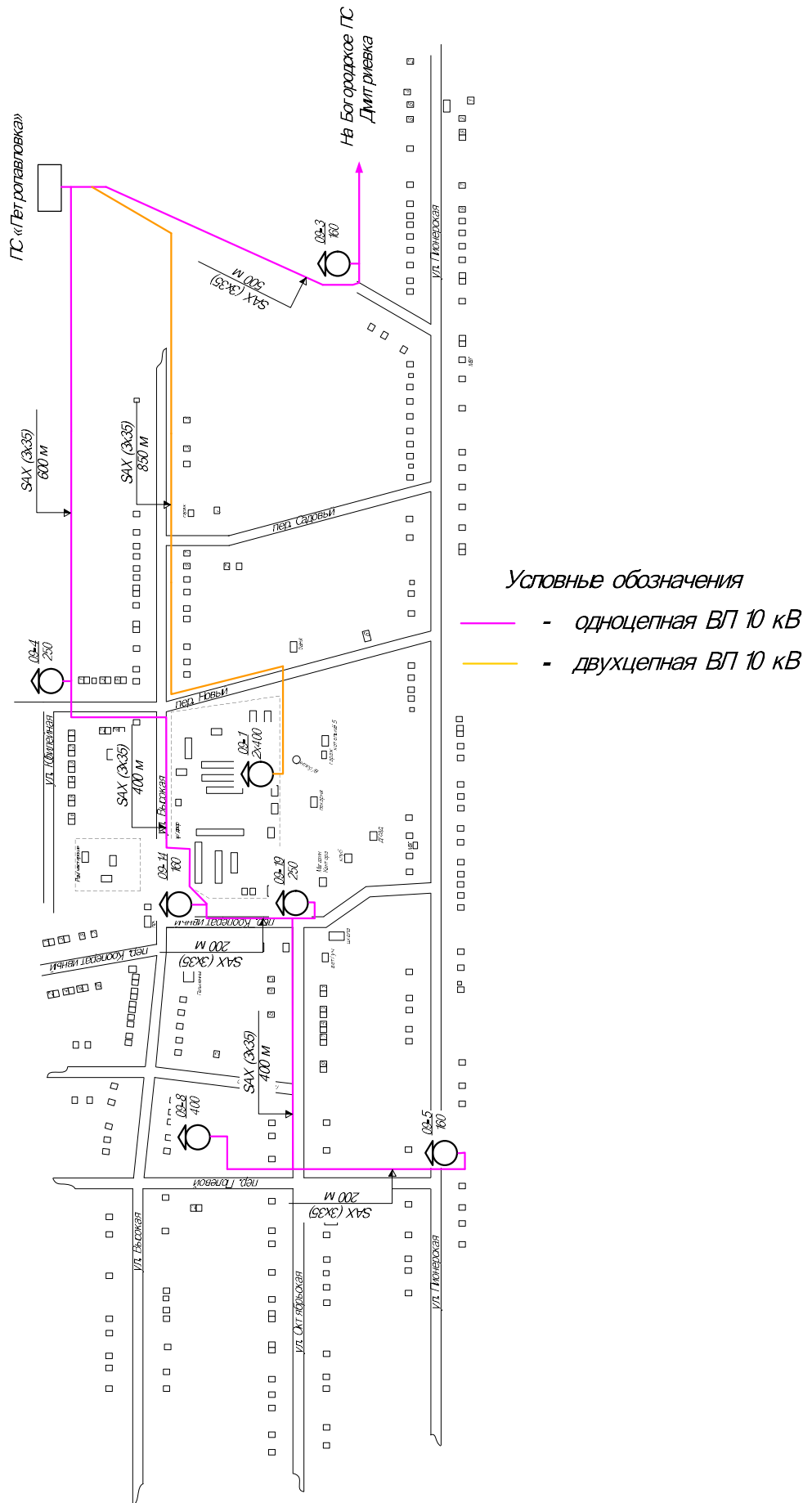


Рисунок 7 – Вариант 2 сети 10 кВ села Петропавловка

#### 6.4 Технико-экономическое сравнение вариантов сети 10 кВ

Дальнейшие математические вычисления соблюдения приведенных затрат для вариантов сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для выбора оптимального варианта сети 10 кВ по минимуму затрат:

$$Z = E_H \cdot K + И = E_H \cdot (K_{ВЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{ВЛ} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot (\Delta W_{ВЛ}) \cdot 10^{-3}, \quad (25)$$

$$Z_1 = 0,31 \cdot (378 + 296) + (0,005 \cdot 296 + 0,059 \cdot 378) + 1,9 \cdot (677 + 50880 + 33993) / 1000 = 428 \text{ тыс.руб.},$$

$$Z_2 = 0,31 \cdot (378 + 319) + (0,005 \cdot 319 + 0,059 \cdot 378) + 1,9 \cdot (677 + 11437 + 78339) / 1000 = 445 \text{ тыс.руб.},$$

где  $E_H$  - норматив дисконтирования, 0,31 [16].

$K_{ВЛ}$  и  $K_{ВЫКЛ}$  - стоимость ВЛ и выключателей соответственно, [9];

$C_0 = 1,9$  руб/кВт\*ч – удельная стоимость потерь электроэнергии, по Приказу №276-пр/э от 20.12.2021г [25].

$A$  - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание

$$a_{ам.выкл} = 5,9\%, a_{ам.ВЛЭП} = 0,5\%;$$

$\Delta W_{ВЛ}$  - потери электроэнергии в ВЛ.

Дальнейшие математические вычисления затрат на выключатели 10 кВ для вариантов сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для выбора оптимального варианта сети 10 кВ по минимуму затрат:

$$K_{ВЫКЛ} = N_{ВЫКЛ} \cdot C_{ВЫКЛ}; \quad (26)$$

$$K_{ВЫКЛ1} = 3 \cdot 126 = 378 \text{ тыс.руб.};$$

$$K_{\text{ВЫКЛ}2} = 3 \cdot 126 = 378 \text{ тыс.руб.};$$

где  $N_{\text{ВЫКЛ}}$  - количество вакуумных выключателей 10 кВ, принимается согласно варианту сети 10 кВ,

$C_{\text{ВЫКЛ}}$  - стоимость выключателей, принимается в натуральной величине по [9], тыс.руб.

Дальнейшие математические вычисления затрат на провода 10 кВ для вариантов сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для выбора оптимального варианта сети 10 кВ по минимуму затрат:

$$K_{\text{ВЛ}} = L_{\text{ВЛ}} \cdot C_{\text{ВЛ}}; \quad (27)$$

$$K_{\text{ВЛ}1} = 3,25 \cdot 91 = 296 \text{ тыс.руб.};$$

$$K_{\text{ВЛ}2} = 3,5 \cdot 91 = 319 \text{ тыс.руб.};$$

где  $L_{\text{ВЛ}}$  - протяженность ВЛ-10 кВ, принимается согласно принятого масштаба по листу графической части №2, км;

$C_{\text{ВЛ}}$  - стоимость 1 км линии 10 кВ, принимается в натуральной величине по [8], тыс.руб.

Дальнейшие математические вычисления потерь энергии в линиях 10 кВ для вариантов сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для выбора оптимального варианта сети 10 кВ по минимуму затрат:

$$\Delta W_{\text{Л}} = \sum \frac{(P_{\text{Л}})^2 + (Q_{\text{Л}})^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot (R) \cdot T, \quad (28)$$

$$\Delta W_{\text{Л}09-3} = \frac{(124)^2 + (19)^2}{10^2} \cdot (0,986 \cdot 0,5) \cdot 8760 = 677 \text{ кВтч},$$

$$\Delta W_{Л09-4} = \frac{(556)^2 + (167)^2}{10^2} \cdot (0,986 \cdot 1,75) \cdot 8760 = 50880 \text{ кВтч},$$

$$\Delta W_{Л09-1} = \frac{(500)^2 + (379)^2}{10^2} \cdot (0,986 \cdot 1) \cdot 8760 = 33993 \text{ кВтч},$$

$$\Delta W_{Л09-3} = \frac{(124)^2 + (19)^2}{10^2} \cdot (0,986 \cdot 0,5) \cdot 8760 = 677 \text{ кВтч},$$

$$\Delta W_{Л09-1} = \frac{(422)^2 + (365)^2}{10^2} \cdot (0,986 \cdot 0,9/2) \cdot 8760 = 11437 \text{ кВтч},$$

$$\Delta W_{Л09-4} = \frac{(676)^2 + (217)^2}{10^2} \cdot (0,986 \cdot 1,8) \cdot 8760 = 78339 \text{ кВтч},$$

где  $P_L$  – потоки активной мощности по линии, кВт;

$Q_L$  – потоки реактивной мощности по линии, кВАр;

$R$  – активное сопротивление линии, Ом;

$T$  – число часов.

Проводим сравнение вариантов по меняющимся частям, поэтому капиталовложения в ТП не учитываем, т.к. количество и мощность ТП для обоих вариантов одинаковы.

Формирование итогов сравнения вариантов сети 10 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 17.

Таблица 17 – Сравнение вариантов сети 10 кВ

Вар	$N_{\text{выкл}}$ , шт	$C_{\text{выкл}}$ , тыс руб	$K_{\text{выкл}}$ , тыс руб	$L$ , км	$C_{\text{СИП}}$	$K_{\text{линии}}$ , тыс руб	$I_{\text{экс}}$ , тыс руб	$I_{\text{экс}}^{\text{выкл}}$ , тыс руб	$I_{\text{ам}}$ , тыс руб	$\Delta W$ , кВт*ч	$C_p$ руб/кВ т*ч	$I_p$ , тыс руб	$Z$ , тыс руб
1	3	126	378	3.25	91	296	1	22	34	84873	1.9	161	428
2	3	126	378	3.5	91	319	2	22	35	89775	1.9	171	445



В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что вариант 1 дешевле на 4%, таким образом варианты равноэкономичны. По минимальным потерям электроэнергии выбирается вариант 1.

### **6.5 Расчёт электрических нагрузок на шинах 10 кВ подстанции «Петропавловка»**

Формирование итогов расчёт нагрузки на центре питания села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 18.

Таблица 18 – Нагрузка на шинах ПС «Петропавловка»

Линия	Суммарная нагрузка, кВА	cosφ	Суммарная активная нагрузка, кВт	Суммарная реактивная нагрузка, кВар
ТП 09-3	125	0.90	113	53
ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5	645	0.90	580	282
ТП 09-1 - ТП 09-19	697	0.90	627	304
на шинах ПС	1141	0.90	1027	497

## 7 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Дальнейшие математические вычисления допустимой реактивной мощности на шинах центра питания 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для компенсации реактивной мощности:

$$Q_э = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (29)$$

$$Q_э = 1027 \cdot 0,4 = 410 \text{ квар.}$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_n$  – нормативный базовый коэффициент мощности,  $\operatorname{tg} \varphi_n = 0,4$  [21].

Дальнейшие математические вычисления необходимой мощности компенсирующих устройств на шинах центра питания 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для компенсации реактивной мощности:

$$Q_{ку} = Q_p - Q_э; \quad (30)$$

$$Q_{ку} = 497 - 410 = 87 \text{ квар.}$$

Используемые комплектные конденсаторные установки марки УКЛ(П) – 10 обладают техническими характеристиками по ёмкости батарей мощностью от 300 квар. Расчётное значение требуемой мощности батарей более чем в 3 раза меньше ближайшего стандартного номинала мощности батарей, поэтому проводить компенсацию реактивной мощности на ПС Петропавловка нецелесообразно.

Фактическая установленная мощность КУ:

$$Q_{\text{факт}} = 0 \text{ квар.}$$

Дальнейшие математические вычисления фактической реактивной мощности на шинах центра питания 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для компенсации реактивной мощности:

$$Q_3 = Q_p - Q_{\text{факт}}; \quad (31)$$

$$Q_3 = 497 - 0 = 497 \text{ квар.}$$

## 8 ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Расчеты токов КЗ производятся для выбора или проверки параметров электрооборудования, а также для выбора и проверки уставок релейной защиты и автоматики, [30].

### 8.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Для оценки значения токов КЗ в сети в целом, рассчитываем токи КЗ в характерных точках сети 10 кВ на ближней и дальней ТП на каждом луче.

На рисунке 8 представлена схема замещения сети 10 кВ села Петропавловка для расчёта токов КЗ.

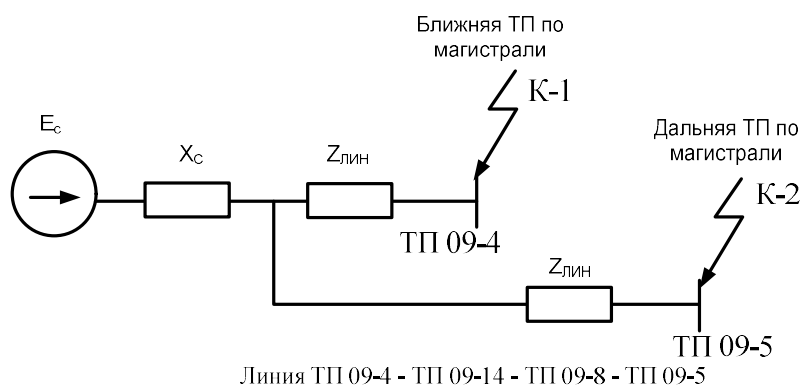


Рисунок 8 - Схема замещения участка сети 10 кВ

Дальнейшие математические вычисления сопротивления системы проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта токов КЗ:

$$x_c = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{Кз}^{(3)}}, \quad (32)$$

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 0,486 \text{ Ом},$$

где  $U_H$  - напряжение системы, кВ;

$I_{Kc}^{(3)}$  - отключающая способность устанавливаемого выключателя на ПС Петропавловка, 12,5 кА, [30].

Дальнейшие математические вычисления сопротивления участков линий 10 кВ до ТП 09-4 проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта токов КЗ:

$$R_{ЛПП} = r_{уд} \cdot L, \quad (33)$$

$$R_{ЛПП09-4} = 0,986 \cdot 0,6 = 0,59 \text{ Ом},$$

$$X_{ЛПП} = x_{уд} \cdot L. \quad (34)$$

$$X_{ЛПП09-4} = 0,01 \cdot 0,6 = 0,06 \text{ Ом}.$$

Формирование итогов расчёта сопротивлений участков сети 10 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 19.

Таблица 19 – Сопротивления участков сети 10 кВ

ТП	L, км	R <sub>экв</sub> , Ом	Z <sub>экв</sub> , Ом
09-4 ближняя	0.60	0.59	0.80
09-5 дальняя	1.75	1.73	1.85
09-1 ближняя	0.80	0.79	0.97
09-19 дальняя	1.00	0.99	1.15
09-3 ближняя (кольцо с другим центром питания)	0.50	0.49	0.73

Дальнейшие математические вычисления тока трехфазного короткого замыкания в сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_{no} = \frac{U_{CPHH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K}^2 + X_{\Sigma K}^2}}, \quad (35)$$

$$I_{noIII09-4} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,59^2 + (0,485 + 0,06)^2}} = 7,19 \text{ кА.}$$

Дальнейшие математические вычисления тока двухфазного короткого замыкания в сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{no}^{(3)}, \quad (36)$$

$$I_{noIII09-4}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,19 = 6,26 \text{ кА.}$$

Дальнейшие математические вычисления постоянной времени тока короткого замыкания в сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта токов КЗ:

$$T_{III} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (37)$$

$$T_{III09-4} = \frac{0,485 + 0,06}{0,59 \cdot 314} = 0,003 \text{ с.}$$

Дальнейшие математические вычисления коэффициента затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания в сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта токов КЗ:

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

$$K_{y\partial TП09-4} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,003}} = 1,02.$$

Дальнейшие математические вычисления ударного тока короткого замыкания в сети 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{no}, \quad (39)$$

$$i_{y\partial TП09-4} = 1,02 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,19 = 10,4 \text{ кА.}$$

Формирование итогов расчёта токов короткого замыкания сети 10 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 20.

Таблица 20 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

Линия	$I_{по}^{(3)}$ , кА	$I_{по}^{(2)}$ , кА	T, с	$K_{уд}$	$I_{уд}$ , кА
09-4 ближняя	7.19	6.26	0.003	1.02	10.4
09-5 дальняя	3.13	2.72	0.001	1.00	4.4
09-1 ближняя	5.96	5.19	0.002	1.01	8.5
09-19 дальняя	5.04	4.39	0.002	1.00	7.1
09-3 ближняя	7.95	6.92	0.003	1.04	11.7
09-4 ближняя	7.19	6.26	0.003	1.02	10.4

## 8.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ

Расчёт выполняется в именованных единицах для электрически ближайших и удалённых ВРУ-0,4 кВ потребителей сети 0,4 кВ. Для вычисления сопротивления системы используются расчётные величины токов КЗ на высокой стороне ТП. За расчётные точки КЗ принимаются 3 характерные положения – шины 0,4 кВ ТП, ВРУ с минимальным током КЗ и ВРУ потребителей с максимальным током КЗ.

На рисунке 9 представлена схема замещения сети 0,4 кВ села Петропавловка для расчёта токов КЗ.

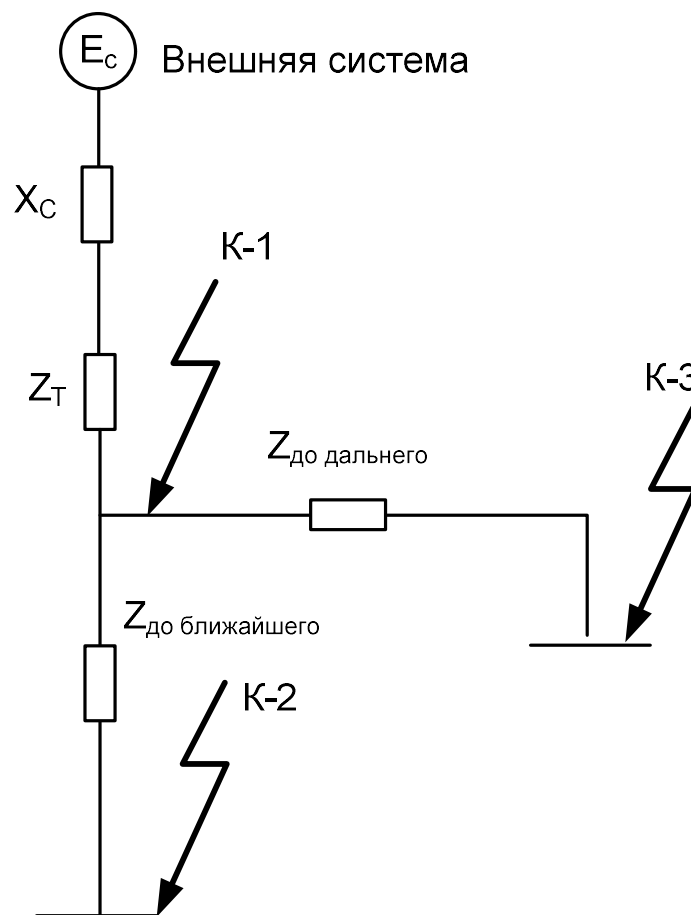


Рисунок 9 - Схема замещения сети 0,4 кВ

Дальнейшие математические вычисления сопротивления системы в сети 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта токов КЗ:

$$x_C = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot I_{Кз}^{(3)}}, \quad (40)$$

$$x_C = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 7,19} = 0,0032 \text{ Ом},$$

где  $U_{НН}$  - напряжение НН ТП, 0,4 кВ;

$I_{Кз}^{(3)}$  - расчётная величина тока трехфазного КЗ на стороне 10 кВ ТП.



Дальнейшие математические вычисления сопротивления участков линий 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта токов КЗ:

$$X_{Л\text{ дальний}} = x_{уд} \cdot L, \quad (41)$$

$$X_{Л\text{ дальний}} = 0,09 \cdot 0,69 = 0,062 \text{ Ом},$$

$$R_{Л\text{ дальний}} = r_{уд} \cdot L, \quad (42)$$

$$R_{Л\text{ дальний}} = 0,69 \cdot 0,44 = 0,303 \text{ Ом},$$

$$X_{Л\text{ ближний}} = 0,09 \cdot 0,69 = 0,062 \text{ Ом},$$

$$R_{Л\text{ ближний}} = 0,32 \cdot 0,69 = 0,22 \text{ Ом},$$

где  $r_{уд}, x_{уд}$  - удельное активное и реактивное сопротивление провода, Ом/км;

$L$  – длина участка, км.

Сопротивление трансформатора на ТП09-4 ТМ-250:  
 $R_T = 0,0094, X_T = 0,038 \text{ Ом}.$

Дальнейшие математические вычисления тока трехфазного короткого замыкания на стороне 0,4 кВ ТП09-4 проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_{ПО} = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T)^2 + (X_T + x_C)^2}}; \quad (43)$$

$$I_{\text{ПО К-1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0094)^2 + (0,0032 + 0,038)^2}} = 5,44 \text{ кА}$$

$$I_{\text{ПО К-2}} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T + R_{\text{Л ближний}})^2 + (X_T + x_C + X_{\text{Л ближний}})^2}};$$

$$I_{\text{ПО К-2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0094 + 0,22)^2 + (0,0032 + 0,038 + 0,062)^2}} = 0,9 \text{ кА}$$

$$I_{\text{ПО К-3}} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T + R_{\text{Л дальний}})^2 + (X_T + x_C + X_{\text{Л дальний}})^2}};$$

$$I_{\text{ПО К-3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0094 + 0,303)^2 + (0,0032 + 0,038 + 0,062)^2}} = 0,7 \text{ кА}$$

Дальнейшие математические вычисления постоянной времени тока короткого замыкания в сети 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта токов КЗ:

$$T = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (44)$$

$$T_{\text{К-1}} = \frac{(0,0032 + 0,038)}{0,0094 \cdot 314} = 0,014 \text{ с},$$

$$T_{\text{К-2}} = \frac{(0,0032 + 0,038 + 0,062)}{(0,0094 + 0,22) \cdot 314} = 0,001 \text{ с},$$

$$T_{\text{К-3}} = \frac{(0,0032 + 0,038 + 0,062)}{(0,0094 + 0,303) \cdot 314} = 0,0001 \text{ с}.$$

Дальнейшие математические вычисления коэффициента затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания в сети 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для расчёта токов КЗ:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{K-1}}}, \quad (45)$$

$$K_{y\partial K-1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,014}} = 1,49,$$

$$K_{y\partial K-2} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,001}} = 1,$$

$$K_{y\partial K-3} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0001}} = 1.$$

Дальнейшие математические вычисления ударного тока короткого замыкания в сети 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ПО}, \quad (46)$$

$$i_{y\partial K-1} = 1,49 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,44 = 11,48 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial K-2} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,9 = 1,2 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial K-3} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,7 = 0,9 \text{ кА}.$$

Дальнейшие математические вычисления тока однофазного короткого замыкания в сети 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_{\text{ПО } K-1}^{(1)} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (47)$$

$$I_{\text{ПО } K-1}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0094 + 0,0094 + 0,0094)^2 + (0,038 + 0,038 + 0,038)^2}} = 1,96 \text{ кА},$$

$$I_{\text{ПО } K-2}^{(1)} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2 + Z_{\text{шиныТП}}^2}},$$

$$I_{\text{ПО } K-2}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(4 \cdot 0,22)^2 + (10 \cdot 0,062)^2 + 0,042}} = 0,21 \text{ кА},$$

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

$$I_{\text{ПО } K-3}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(4 \cdot 0,303)^2 + (10 \cdot 0,062)^2 + 0,042}} = 0,16 \text{ кА},$$

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

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

$R_{0\Sigma}, X_{0\Sigma}$  - сопротивления нулевой последовательности, для системы равняется нулю; для линий принимаются  $X_{0,l} = 3 - 5 \cdot X_{1,l}, R_{0,l} = 10 \cdot R_{1,l}$ , [9].

Формирование итогов расчёта сопротивлений на шинах ТП 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 21.

Таблица 21 – Результаты расчетов сопротивлений на шинах ТП 0,4 кВ

ТП	$S_{ном Т}$ , кВА	$X_T$ , мОм	$R_T$ , мОм	$X_c$ , мОм	$Z_{\Sigma}$ , мОм
09-4 ближняя	250	38.2	9.4	3.2	42.47
09-5 дальняя	160	52.7	16.6	7.4	62.34
09-1 ближняя	400	28.1	5.9	3.9	32.52
09-19 дальняя	250	38.2	9.4	4.6	43.80
09-3 ближняя	160	52.7	16.6	2.9	58.03

Формирование итогов расчёта сопротивлений линий 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 22.

Таблица 22 – Результаты расчетов сопротивлений на линиях 0,4 кВ

точка кз	L, км	R, Ом/км	X, Ом/км	$R_l$ , мОм	$X_l$ , мОм	$Z_{\Sigma}$ , мОм
ТП 09-8 дальний ЭП	0.72	0.32	0.09	230.4	64.8	239.3
ТП 09-8 ближний ЭП	0.6	0.206	0.09	123.6	54.0	134.9
ТП 09-14 дальний ЭП	0.45	0.87	0.09	391.5	40.5	393.6
ТП 09-14 ближний ЭП	0.33	0.87	0.09	287.1	29.7	288.6
ТП 09-1 дальний ЭП	0.18	0.44	0.09	79.2	16.2	80.8
ТП 09-1 ближний ЭП	0,42	0.32	0.09	134.4	37.8	139.6
ТП 09-4 ближний ЭП	0.69	0.32	0.09	220.8	62.1	229.4
ТП 09-4 дальний ЭП	0.69	0.44	0.09	303.6	62.1	309.9
ТП 09-19 ближний ЭП	0.42	0.44	0.09	184.8	37.8	188.6
ТП 09-19 дальний ЭП	0.63	0.32	0.09	201.6	56.7	209.4
ТП 09-5 ближний ЭП	0.36	0.44	0.09	158.4	32.4	161.7
ТП 09-5 дальний ЭП	0.33	1.2	0.09	396.0	29.7	397.1
ТП 09-3 дальний ЭП	0.63	0.64	0.09	403.2	56.7	407.2
ТП 09-3 ближний ЭП	0.51	0.64	0.09	326.4	45.9	329.6

Формирование итогов расчёта токов КЗ на шинах ТП 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 23.

Таблица 23 – Результаты расчетов токов КЗ на шинах ТП 0,4 кВ

Подстанция	$I^{(3)}_{по}$ , кА	$I^{(1)}_{по}$ , кА	T, с	Куд	$I_{уд}$ , кА
09-4 ближняя	5.44	1.96	0.014	1.49	11.475
09-5 дальняя	3.71	1.39	0.012	1.42	7.449
09-1 ближняя	7.11	2.68	0.017	1.56	15.689
09-19 дальняя	5.28	1.96	0.014	1.50	11.209
09-3 ближняя	3.98	1.39	0.011	1.39	7.841

Формирование итогов расчёта токов КЗ на линиях 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 24.

Таблица 24 – Результаты расчетов токов КЗ на линиях 0,4 кВ

точка кз	$I^{(3)}_{по}$ , кА	$I^{(1)}_{по}$ , кА	T, с	Куд	$I_{уд}$ , кА
ТП 09-8 дальний ЭП	0.8	0.19	0.001	1.0	1.1
ТП 09-8 ближний ЭП	1.2	0.29	0.001	1.0	1.7
ТП 09-14 дальний ЭП	0.5	0.14	0.000	1.0	0.7
ТП 09-14 ближний ЭП	0.7	0.19	0.000	1.0	1.0
ТП 09-1 дальний ЭП	2.0	0.60	0.001	1.0	2.9
ТП 09-1 ближний ЭП	1.3	0.34	0.001	1.0	1.9
ТП 09-4 ближний ЭП	0.9	0.21	0.001	1.0	1.2
ТП 09-4 дальний ЭП	0.7	0.16	0.001	1.0	0.9
ТП 09-19 ближний ЭП	1.0	0.26	0.001	1.0	1.4
ТП 09-19 дальний ЭП	0.9	0.22	0.001	1.0	1.3
ТП 09-5 ближний ЭП	1.0	0.30	0.001	1.0	1.5
ТП 09-5 дальний ЭП	0.5	0.14	0.000	1.0	0.7
ТП 09-3 дальний ЭП	0.5	0.13	0.000	1.0	0.7
ТП 09-3 ближний ЭП	0.6	0.16	0.000	1.0	0.8

## 9 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

### 9.1 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

Применяются автоматические выключатели для защиты линий 0,4 кВ марки АЕ-2063, [10].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора автоматических выключателей по расчетному току проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_p, \quad (48)$$

$$250 \text{ A} \geq 204 \text{ A}$$

где  $I_p$  – максимальный рабочий ток;

$I_{\text{ном. расц}}$  – ток электромагнитного расцепителя, 250 А.

Формирование итогов выбора автоматических выключателей 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 25.

Таблица 25 - Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ на вводе ТП

№ ТП	$I_p$ АВТ, А	$I_{\text{ном. расц}}$ , А	Марка выключателя
ТП 09-8	335	400	ВА 04-36
ТП 09-14	186	250	АЕ-2063
ТП 09-1	384	400	ВА 04-36
ТП 09-4	204	250	АЕ-2063
ТП 09-19	201	250	АЕ-2063
ТП 09-5	183	250	АЕ-2063
ТП 09-3	176	250	АЕ-2063

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки автоматических выключателей по отстройке от пиковых токов проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$I_{сррасц} \geq I_{ник} = 1,5 \cdot I_p,$$

$$1500 \geq 1,5 \cdot 250,$$

$$1500 A \geq 375 A.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки автоматических выключателей по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$I_{но}^{(3)} \leq I_{отк},$$

$$5,44 \leq 10 \text{ кА},$$

где  $I_{отк}$  - предельный ток отключения короткого замыкания, 10 кА,

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки автоматических выключателей по чувствительности к токам КЗ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$I_{но}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{сррасц},$$

$$1960 \geq 1,25 \cdot 1500;$$

$$1960 \geq 1875.$$

Формирование итогов проверки автоматических выключателей 0,4 кВ на вводах ТП села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 26.



Таблица 26 - Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ на вводе ТП

№ ТП	По отстройке от пиковых токов		По разрушающему действию трёхфазных токов КЗ		По чувствительности к токам КЗ	
	$I_{\text{ср расц}}, \text{ А}$	$1,5 \cdot I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	$I_{\text{по}}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{\text{отк}}, \text{ кА}$	$I_{\text{по}}^{(1)}, \text{ А}$	$1,25 \cdot I_{\text{ср расц}}, \text{ А}$
09-4 ближняя	1500	375	5,44	10	1959	1875
09-5 дальняя	1000	375	3,71	10	1395	1250
09-1 ближняя	1600	600	7,11	10	2684	2000
09-19 дальняя	1500	375	5,28	10	1959	1875
09-3 ближняя	1000	375	3,98	10	1395	1250

Формирование итогов выбора автоматических выключателей 0,4 кВ на линиях 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 27.

Таблица 27 – Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ на линиях

Подстанция	$I_{\text{р авт}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	Марка выключателя
ТП 09-8			
ф-1	89	100	АЕ-2053
ф-2	170	200	АЕ-2063
ф-3	116	160	АЕ-2063
ТП 09-14			
ф-1	55	80	АЕ-2053
ф-2	56	80	АЕ-2053
ф-3	61	80	АЕ-2053
ф-4	42	50	АЕ-2053
ТП 09-1			
ф-1	286	400	АЕ-2063
ф-2	266	400	АЕ-2063
ф-3	155	160	АЕ-2063
ТП 09-4			
ф-1	89	100	АЕ-2053
ф-2	67	100	АЕ-2053
ф-3	64	100	АЕ-2053
ТП 09-19			
ф-1	107	160	АЕ-2063
ф-2	103	160	АЕ-2063
ТП 09-5			
ф-1	136	160	АЕ-2063
ф-2	38	63	АЕ-2053
ТП 09-3			
ф-1	49	63	АЕ-2053
ф-2	51	63	АЕ-2053
ф-3	52	63	АЕ-2053
ф-2	51	63	АЕ-2053

Формирование итогов проверки автоматических выключателей 0,4 кВ на линиях 0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 28.

Таблица 28 - Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ на линиях

Подстанция	По разрушающему действию трёхфазных токов КЗ		По чувствительности к токам КЗ				
	$I^{(3)}_{по}$ , кА	$I_{отк}$ , кА	$I^{(1)}_{по}$ , А	К	$1,25 \cdot I_{ср}$ расц, А	$I_{расц}$	$I_{ср}$ расц
ТП 09-8 дальний ЭП	0,8	5,0	194	1	125	100	100
ТП 09-8 ближний ЭП	1,2	6,0	291	1	250	200	200
ТП 09-14 дальний ЭП	0,5	6,0	138	1	100	80	80
ТП 09-14 ближний ЭП	0,7	7,0	185	1	100	80	80
ТП 09-1 дальний ЭП	2,0	5,0	595	1	500	400	400
ТП 09-1 ближний ЭП	1,3	5,0	335	1	200	160	160
ТП 09-4 ближний ЭП	0,9	10,0	206	1	125	100	100
ТП 09-4 дальний ЭП	0,7	11,0	164	1	125	100	100
ТП 09-19 ближний ЭП	1,0	10,0	265	1	200	160	160
ТП 09-19 дальний ЭП	0,9	11,0	225	1	200	160	160
ТП 09-5 ближний ЭП	1,0	9,0	299	1	200	160	160
ТП 09-5 дальний ЭП	0,5	10,0	138	1	79	63	63
ТП 09-3 дальний ЭП	0,5	10,0	131	1	79	63	63
ТП 09-3 ближний ЭП	0,6	11,0	160	2	158	63	126

Вводные и линейные выключатели 0,4 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки.

## 9.2 Выбор трансформаторов тока 0,4 кВ

Применяются трансформаторы тока для подключения цепей измерения и защиты марки ТШП-0,66-1, [11].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП по напряжению установки проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-8:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (49)$$

$$0,4 \text{ кВ} \leq 0,66 \text{ кВ}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП по расчётному току проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-8:

$$I_{норм} \leq I_{1ном}, \quad (50)$$

$$335 \text{ А} \leq 400 \text{ А}.$$

Дальнейшие математические вычисления номинального сопротивления вторичной обмотки трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-8:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}, \quad (51)$$

$$Z_{2H} = \frac{12,5}{5^2} = 0,5 \text{ Ом},$$

где  $S_{2H}$  - вторичная номинальная нагрузка трансформаторов тока для класса точности 0,5, 12,5 ВА [10].

Дальнейшие математические вычисления сопротивления проводов вторичных цепей трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-8:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (52)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0.0283 \cdot 5}{6} = 0.025 \text{ Ом},$$

где  $q$  – сечение проводов вторичных цепей, 6 мм<sup>2</sup>;

$l$  – протяженность проводов вторичных цепей, 5 м;

$\rho$  – удельное сопротивление проводов АПРТО на единицу площади сечения, 0,0283 Ом\*м/мм<sup>2</sup>.

Дальнейшие математические вычисления сопротивления приборов вторичных цепей трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-8:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (53)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1.25}{5^2} = 0.05 \text{ Ом},$$

где  $S_{\text{приб}}$  – мощность, потребляемая приборами, таблица 31;

$I_2$  – вторичный номинальный ток прибора, 5 А.

Формирование итогов расчёта сопротивления приборов вторичных цепей трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по фазам, таблица 29.

Таблица 29 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 0,4 кВ

Прибор		Амперметр	ПУ электро- энергии	Ваттметр	Варметр	Итог
Тип		АЩ-5	СЕ306	ВЩ-5	ВаЩ-5	
Нагрузка, В*А, фазы	А		0.45	0.4	0.4	1,25
	В	0,6				0.6
	С		0.45	0.4	0.4	1,25

Фазы загружены неравномерно, для фазы А выполняется расчёт нагрузки приборов.

Дальнейшие математические вычисления сопротивления вторичных цепей трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-8:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}, \quad (54)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.025 + 0.05 = 0.175 \text{ Ом},$$

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

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП по вторичной нагрузке проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-8:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}, \quad (55)$$

$$0,175 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом},$$

где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока 0,4 кВ;

$Z_{2\text{НОМ}}$  – номинальная нагрузка трансформатора тока 0,4 кВ.

Дальнейшие математические вычисления расчётного и номинального теплового импульса трансформаторов тока 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-8:

$$B_K = I_{n.o.ТП}^2 \cdot (t_{омк} + \Delta t), \quad (56)$$

$$B_K = 5,44^2 \cdot (0,1 + 0,5) = 17,8 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T, \quad (57)$$

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

где  $I_{n.o.ТП}$  - максимальный ток трёхфазного КЗ на шинах 0,4 кВ ТП 09-8;

$t_{омк}$  - время отключения выключателя нагрузки, 0,1с;

$\Delta t$  - время селективности защиты 0,5с;

$I_T$  - ток термической стойкости трансформаторов тока ТШП-0,66-1, 5 кА,

[10];

$t_T$  - время термической стойкости трансформаторов тока ТШП-0,66-1, [10],

3с.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия термической стойкости трансформаторов тока 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-8:

$$B_{Kном} \geq B_{K расч}; \quad (58)$$

$$75 \text{ кА}^2\text{с} \geq 17,8 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия динамической стойкости трансформаторов тока 0,4 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-8:

$$I_{уд} \leq I_{дин}, \quad (59)$$

$$11,8 \text{ кА} \leq 18 \text{ кА}.$$

Формирование итогов выбора и проверки трансформаторов тока 0,4 кВ на ТП 09-8 в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по условиям, таблица 30.

Таблица 30 – Выбор и проверка трансформатора тока 0,4 кВ на ТП 09-8

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 0,66 \text{ кВ}$	$U_H = 0,4 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_{P \text{ ТП } 09-8} = 335 \text{ А}$	$I_H \geq I_{P_{\max}}$
$Z_{2H} = 0,5 \text{ Ом}$ (для класса точности 0.5)	$Z_{H_P} = 0,175 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{H_P}$
$B_{KH} = 75 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{K_P} = 17,8 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{KH} \geq B_{K_P}$
$I_{\text{дин}} = 18 \text{ кА}$	$I_{\text{уд}} = 11,8 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$

Формирование итогов выбора и проверки трансформаторов тока 0,4 кВ на остальных ТП села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 31.

Таблица 31 – Трансформаторы тока 0,4 кВ на ТП

№ ТП	N <sub>ТП</sub>	S <sub>T</sub> , кВА	I <sub>P ТП</sub> , А	I <sub>H</sub> , А	B <sub>K<sub>P</sub></sub> , кА <sup>2</sup> с	B <sub>K<sub>H</sub></sub> , кА <sup>2</sup> с	I <sub>уд</sub> , кА	I <sub>дин</sub> , кА
ТП 09-8	1	400	335	400	17,8	75	11,8	18
ТП 09-14	1	160	186	250	17,8	75	11,8	18
ТП 09-1	2	400	384	400	30,3	75	15,7	18
ТП 09-4	1	250	204	250	17,8	75	11,5	18
ТП 09-19	1	250	201	250	16,7	75	11,2	18
ТП 09-5	1	160	183	250	8,3	75	7,4	18
ТП 09-3	1	160	176	250	9,5	75	7,8	18

Трансформаторы тока 0,4 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки.

## 10 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

### 10.1 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов 10/0,4 кВ

Применяются предохранители для защиты трансформаторов 10/0,4 кВ марки ПК1 – 10У1, [12].

Дальнейшие математические вычисления расчетного тока ВН ТП проводятся с применением исходных данных по выражению для выбора предохранителей на ТП 09-8:

$$I_{РАСЧ} = \frac{S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (60)$$

$$I_{РАСЧ} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23 \text{ А}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора предохранителей ВН ТП проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-8:

$$I_{РАСЧ} \leq I_{ВСТ}; \quad (61)$$

$$23 \text{ А} \leq 40 \text{ А};$$

$$I_{РАСЧ} \leq I_{НОМПР}; \quad (62)$$

$$23 \text{ А} \leq 40 \text{ А};$$

где  $I_{ВСТ}$  - ток плавкой вставки предохранителя ПК1 – 10У1, 40 А, [12];

$I_{НОМПР}$  - ток предохранителя ПК1 – 10У1, 40 А, [12].



Формирование итогов выбора предохранителей 10 кВ на ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 32.

Таблица 32 – Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП

№ ТП	Количество тр-ов ТП	Номинальная мощность трансформатора(ов) ТП, кВА	$I_{расч}$ , А	$I_{номпр}$ , А	$I_{вст}$ , А	Тип предохранителя
ТП 09-8	1	400	23	40	40	ПКТ101 – 10У1
ТП 09-14	1	160	9	20	10	ПКТ101 – 10У1
ТП 09-1	2	400	23	40	40	ПКТ101 – 10У1
ТП 09-4	1	250	14	20	16	ПКТ101 – 10У1
ТП 09-19	1	250	14	20	16	ПКТ101 – 10У1
ТП 09-5	1	160	9	20	10	ПКТ101 – 10У1
ТП 09-3	1	160	9	20	10	ПКТ101 – 10У1

### 10.2 Проверка линий 10 кВ на термическую стойкость

Дальнейшие математические вычисления расчётного и номинального теплового импульса проводов ВЛ-10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-4:

$$B_{K\text{ расч}} = I_{K3}^2 \cdot t_{II}, \quad (63)$$

$$t_{II} = t_{P3} + \Delta t_{P3}, \quad (64)$$

$$t_{II} = 0,055 + 0,5 = 0,555 \text{ с},$$

$$B_{K\text{ расч}} = 7,19^2 \cdot (0,055 + 0,5) = 28,4 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{K\text{ ном}} = I_T^2 \cdot t_T, \quad (65)$$

$$B_{K\text{ ном}} = 3,2^2 \cdot 4 = 41 \text{ кА}^2\text{с},$$

где  $I_{K3}$  - наибольшее значение тока КЗ;

$t_{P3}$  - время срабатывания пусковых реле, 0,055 с;

$\Delta t_{P3}$  - выдержка на срабатывание пусковых реле, 0,5 с;

$I_T$  - ток термической стойкости провода SАХ-35, 3,2 кА;

$t_T$  - время термической стойкости провода SАХ-35, 4 с;

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия термической стойкости проводов ВЛ-10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-4:

$$B_{K_{ном}} \geq B_{K_{расч}}; \quad (66)$$

$$41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 28,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Формирование итогов проверки проводов ВЛ 10 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по ТП, таблица 33.

Таблица 33 – Проверка сечений линий 10 кВ

Линия	$I^{(3)}$ по, кА	$B_{к \text{ расч}}$ , кА*с	$B_{к \text{ ном}}$ , кА*с
09-4 ближняя	7,19	28,4	41
09-5 дальняя	3,13	20,1	41
09-1 ближняя	5,96	19,5	41
09-19 дальняя	5,04	26,7	41
09-3 ближняя	7,95	34,8	41

Провода воздушных линий 10 кВ села Петропавловка всех участках проходят проверку по термической стойкости и отвечают всем условиям эксплуатации.

### 10.3 Выбор трансформаторов тока 10 кВ

Применяются трансформаторы тока в ячейках КРУ ПС Петропавловка для подключения цепей измерения и защиты марки ТОЛ-10-1, [12].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора трансформаторов тока 10 кВ по напряжению установки проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (43)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора трансформаторов тока 10 кВ по расчётному току проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$I_{р макс} \leq I_{1ном} , \quad (67)$$

$$7 \text{ А} \leq 50 \text{ А}.$$

Дальнейшие математические вычисления номинального сопротивления вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2},$$

$$Z_{2H} = \frac{15}{5^2} = 0.6 \text{ Ом},$$

где  $S_{2H}$  - вторичная номинальная нагрузка трансформаторов тока для класса точности 0,5, 15 ВА [10].

Дальнейшие математические вычисления сопротивления проводов вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$r_{пр} = \frac{\rho \cdot l}{q},$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0.0283 \cdot 10}{6} = 0.05 \text{ Ом},$$

где  $q$  – сечение проводов вторичных цепей, 6 мм<sup>2</sup>;

$l$  – протяженность проводов вторичных цепей, 10 м;

$\rho$  – удельное сопротивление проводов АПРТО на единицу площади сечения, 0,0283 Ом\*м/мм<sup>2</sup>.

Дальнейшие математические вычисления сопротивления приборов вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2},$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1.65}{5^2} = 0.07 \text{ Ом},$$

где  $S_{\text{приб}}$  – мощность, потребляемая приборами, таблица 31;

$I_2$  – вторичный номинальный ток прибора, 5 А.

Формирование итогов расчёта сопротивления приборов вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по фазам, таблица 34.

Таблица 34 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 0,4 кВ

Прибор		Амперметр	ПУ электро- энергии	Ваттметр	Варметр	Итог
Тип		АЩ-5	СЕ606	ВЩ-5	ВаЩ-5	
Нагрузка, В*А, фазы	А		0.85	0.4	0.4	1,65
	В	0,6				0.6
	С		0.85	0.4	0.4	1,65

Фазы загружены неравномерно, для фазы А выполняется расчёт нагрузки приборов.

Дальнейшие математические вычисления сопротивления вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

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

$$r_2 = 0.1 + 0.05 + 0.07 = 0.22 \text{ Ом},$$

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

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора трансформаторов тока 10 кВ по вторичной нагрузке проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}, \quad (68)$$

$$0,22 \text{ Ом} \leq 0,6 \text{ Ом},$$

где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока 10 кВ;

$Z_{2\text{НОМ}}$  – номинальная нагрузка трансформатора тока 10 кВ.

Дальнейшие математические вычисления расчётного и номинального теплового импульса трансформаторов тока 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$B_K = I_{\text{но}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + \Delta t), \quad (69)$$

$$B_K = 12,5^2 \cdot (0.045 + 0,01 + 1,0) = 164 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{НК}} = I_T^2 \cdot t_T,$$

$$B_{HK} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2\text{с},$$

где  $I_{н.о}$  - ток трёхфазного КЗ на шинах 10 кВ ПС, принимается предельное значение 12,5 кА для вакуумного выключателя ВВУ-СЭЩ-10;

$t_{отк}$  - время отключения выключателя на шинах ЦП, для выключателя  $0,045\text{с} + 0,01\text{с} = 0,055\text{с}$ ;

$\Delta t$  - время селективности защиты 1,0 с;

$I_T$  - ток термической стойкости трансформаторов тока ТОЛ-10-1, 10 кА, [12];

$t_T$  - время термической стойкости трансформаторов тока ТОЛ-10-1, [12], 3с.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$B_{Kном} \geq B_{K расч};$$

$$300 \text{ кА}^2\text{с} \geq 164 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия динамической стойкости трансформаторов тока 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$I_{уд} \leq I_{дин}, \tag{70}$$

$$11,7 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА}.$$

Формирование итогов выбора и проверки трансформаторов тока 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по условиям, таблица 35.

Таблица 35 – Выбор и проверка трансформатора тока 10 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 50 \text{ А}$ $I_H = 50 \text{ А}$ $I_H = 50 \text{ А}$	$I_{P_{\max}} \text{ ТП 09-3} = 7 \text{ А}$ $I_{P_{\max}} \text{ ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5} = 34 \text{ А}$ $I_{P_{\max}} \text{ ТП 09-1 - ТП 09-19} = 36 \text{ А}$	$I_H \geq I_{P_{\max}}$
$Z_{2H} = 0.6 \text{ Ом}$ (для класса точности 0.5)	$Z_{HP} = 0.22 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{HP}$
$V_{KH} = 300 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{KP} = 164 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{KH} \geq V_{KP}$
$I_{дин} = 25 \text{ кА}$	$I_{уд} = 11,7 \text{ кА}$	$I_{дин} \geq I_{уд}$

Трансформаторы тока 10 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки.

#### 10.4 Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Применяются трансформаторы напряжения в ячейках КРУ ПС Петропавловка для подключения цепей измерения и защиты марки НАЛИ-10-1, [20].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора трансформаторов напряжения 10 кВ по напряжению установки проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (71)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Дальнейшие математические вычисления нагрузки приборов вторичных цепей трансформаторов напряжения 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}, \quad (72)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{32^2 + 35^2} = 47,4 \text{ ВА},$$

где  $P_{\text{ПРИБ}}$  – активная мощность, потребляемая приборами, таблица 33;

$Q_{\text{ПРИБ}}$  – реактивная мощность, потребляемая приборами, таблица 33.

Формирование итогов расчёта сопротивления приборов вторичных цепей трансформаторов напряжения 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по типам приборов, таблица 36.

Таблица 36 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор		Вольтметр	Ваттметр	ПУ электроэнергетики	Итого
Тип		ВЩ-15	ВЩ-5	СЕ606	-
Нагрузка катушки		15	3	7,5	-
Число катушек		1	1	5	-
Cos φ		1	1	0,38	-
Sin φ		0	0	0,925	-
Общая потребляемая мощность	P, Вт	15	3	14,3	32
	Q, Вар	-	-	34,7	35

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора трансформаторов напряжения 10 кВ по вторичной нагрузке проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{НОМ}}, \quad (73)$$

$$47,4 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА},$$

где  $S_{\text{НОМ}}$  – номинальная нагрузка трансформатора напряжения 10 кВ;

$S_{2\Sigma}$  - вторичная нагрузка трансформатора напряжения 10 кВ.

Формирование итогов выбора и проверки трансформаторов напряжения 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по условиям, таблица 37.



Таблица 37 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $S_P = 47,4 \text{ ВА}$ (для класса точности 0,5)	$U_{HT} = 10 \text{ кВ}$ $S_H = 75 \text{ ВА}$	$U_{HT} \geq U_H$ $S_H \geq S_P$

Трансформаторы напряжения 10 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки.

### 10.5 Выбор выключателей нагрузки 10 кВ

Применяются выключатели нагрузки ВНП-10/400 на ТП села Петропавловка для защиты трансформаторов ТП, [20].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора выключателей нагрузки 10 кВ по напряжению установки проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (74)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора выключателей нагрузки 10 кВ по расчётному току проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$I_p \leq I_{ном}, \quad (75)$$

$$14 \text{ А} \leq 400 \text{ А}.$$

Дальнейшие математические вычисления расчётного и номинального теплового импульса выключателей нагрузки 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$B_K = I_{no}^2 \cdot (t_{отк} + \Delta t),$$

$$B_K = 7,19^2 \cdot (0,1 + 0,5) = 31,1 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

$$B_{Кном} = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{n.o}$  - ток трёхфазного КЗ на шинах ТП 09-4;

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

$\Delta t$  - время селективности защиты 0,5 с;

$I_{терм}$  - ток термической стойкости выключателя нагрузки ВМП-10/400, 10 кА, [20];

$t_{терм}$  - время термической стойкости выключателя нагрузки ВМП-10/400, [20], 4с.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия термической стойкости выключателей нагрузки 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$B_{Кном} \geq B_K;$$

$$400 \text{ кА}^2\text{с} \geq 31,1 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия динамической стойкости выключателей нагрузки 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-4:

$$I_{уд} \leq I_{дин},$$

$$10,39 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА}.$$

Формирование итогов выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по условиям для ТП 09-4, таблица 38.

Таблица 38 – Выбор выключателей нагрузки на ТП 09-4

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $i_{скв} = 25 \text{ кА}$ $V_{к.ном} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$ $I_{pmax} = 14 \text{ А}$ $i_{уд \text{ ТП}09-4} = 10,4 \text{ кА}$ $V_{к.} = 31,1 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_H \geq U_P$ $I_H \geq I_{pmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $V_{к.ном} \geq V_{к.}$

Формирование итогов выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по условиям для всех ТП села Петропавловка, таблица 39.

Таблица 39 - Выбор выключателей нагрузки села Петропавловка

№ ТП	$I_P \text{ ТП, А}$	$I_H, \text{ А}$	$V_{кр}, \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{кн}, \text{ кА}^2\text{с}$	$i_{уд}, \text{ кА}$	$I_{дин}, \text{ кА}$
ТП 09-8	23	400	82,8	400	10,39	25
ТП 09-14	9	400	56,9	400	10,39	25
ТП 09-1	23	400	21,4	400	8,48	25
ТП 09-4	14	400	31,1	400	10,39	25
ТП 09-19	14	400	28,0	400	7,15	25
ТП 09-5	9	400	20,6	400	4,43	25
ТП 09-3	9	400	38,0	400	11,71	25

Выключатели нагрузки 10 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки.

### 10.6 Выбор выключателей 10 кВ

Применяются выключатели ВВУ-СЭЩ-10/1000 в КРУ ПС Петропавловка для защиты от коротких замыканий линий 10 кВ, [20].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора выключателей 10 кВ по напряжению установки проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора выключателей 10 кВ по расчётному току проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$I_p \leq I_{ном},$$

$$7 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора выключателей 10 кВ по отключающей способности периодической составляющей проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$I_{по} \leq I_{откл ном};$$

$$12,5 \text{ кА} \leq 12,5 \text{ кА}.$$

где  $I_{откл ном}$  - отключающая способность выключателя ВВУ-СЭЩ-10/1000, 12,5 кА, [20];

Дальнейшие математические вычисления расчётного и номинального теплового импульса выключателей 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-3:

$$B_K = I_{н.о}^2 \cdot (t_{отк} + \Delta t),$$

$$B_K = 12,5^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 164 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

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

где  $I_{\text{н.о}}$  - ток трёхфазного КЗ на шинах ПС Петропавловка;

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

$\Delta t$  - время селективности защиты 1,0 с;

$I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости выключателя ВВУ-СЭЩ-10/1000, 20 кА,

[20];

$t_{\text{терм}}$  - время термической стойкости выключателя ВВУ-СЭЩ-10/1000, [20],

4с.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки выключателей 10 кВ по термической стойкости проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-3:

$$B_{\text{КНОМ}} \geq B_K;$$

$$1600 \text{ кА}^2\text{с} \geq 164 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки выключателей 10 кВ по отключающей способности аperiodической составляющей проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$i_{\text{а.НОМ}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{Н}} \cdot I_{\text{откл.НОМ}}, \quad (76)$$

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot 0.4 \cdot 12,5 = 7,1 \text{ кА},$$

$$i_{a.t} \leq i_{a.ном}; \quad (77)$$

$$7,1 \text{ кА} \leq 7,1 \text{ кА}.$$

где  $\beta_H$  – доля апериодической составляющей выключателя ВВУ-СЭЩ-10/1000, 40%, [20].

$I_{откл\ ном}$  - отключающая способность выключателя ВВУ-СЭЩ-10/1000, 12,5 кА, [20];

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки выключателей 10 кВ по отключающей способности полного тока КЗ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$\sqrt{2} \cdot I_{но.ПС}^{(3)} + i_{атПС} \leq \sqrt{2} \cdot I_{номотк} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right), \quad (78)$$

$$\sqrt{2} \cdot 12,5 + 12,5 \cdot 0,54 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0.40}{100}\right),$$

$$24,6 \leq 39.59 \text{ кА}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия динамической стойкости выключателей 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-3:

$$I_{уд} \leq I_{скв}, \quad (79)$$

$$22,8 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА}.$$

Формирование итогов выбора и проверки выключателей 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по условиям для линий 10 кВ села Петропавловка, таблица 40.

Таблица 40 – Выбор выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $В_{к.ном} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{вкл} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{а.ном} = 7,1 \text{ кА}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} \text{ ТП 09-3} = 7 \text{ А}$ $I_{рmax} \text{ ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5} = 34 \text{ А}$ $I_{рmax} \text{ ТП 09-1 - ТП 09-19} = 36 \text{ А}$ $i_{уд} = 22,8 \text{ кА}$ $В_{к.} = 164 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{пт} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{ат} = 7,1 \text{ кА}$	$U_{уст} \geq U_{ном}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$  $i_{скв} \geq i_{уд}$ $В_{к.ном} \geq В_{к}$ $I_{вкл} \geq I_{по}$ $I_{откл} \geq I_{пт}$ $i_{а.ном} \geq i_{ат}$

Выключатели 10 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки.

### 10.7 Выбор комплектного распределительного устройства 10 кВ

Применяются КРУ СЭЦ-70-10 в РУ-10 кВ ПС Петропавловка для компоновки оборудования, [20].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора КРУ 10 кВ по напряжению установки проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора КРУ 10 кВ по расчётному току проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$I_p \leq I_{ном},$$

$$7 \text{ A} \leq 1000 \text{ A}.$$

Дальнейшие математические вычисления расчётного и номинального теплового импульса КРУ 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-3:

$$B_K = I_{н.о}^2 \cdot (t_{отк} + \Delta t),$$

$$B_K = 12,5^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 164 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

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

где  $I_{н.о}$  - ток трёхфазного КЗ на шинах ПС Петропавловка;

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

$\Delta t$  - время селективности защиты 1,0 с;

$I_{терм}$  - ток термической стойкости КРУ СЭЦ-70-10, 20 кА, [20];

$t_{терм}$  - время термической стойкости КРУ СЭЦ-70-10, [20], 4с.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки КРУ 10 кВ по термической стойкости проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-3:

$$B_{Кном} \geq B_K;$$

$$1600 \text{ кА}^2\text{с} \geq 164 \text{ кА}^2\text{с}.$$



Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия динамической стойкости КРУ 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на ТП 09-3:

$$I_{уд} \leq I_{скв},$$

$$22,8 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА}.$$

Формирование итогов выбора и проверки КРУ 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по условиям для линий 10 кВ села Петропавловка, таблица 41.

Таблица 41 – Выбор КРУ 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $W_{к.ном} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} \text{ ТП 09-3} = 7 \text{ А}$ $I_{рmax} \text{ ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5} = 34 \text{ А}$ $I_{рmax} \text{ ТП 09-1 - ТП 09-19} = 36 \text{ А}$ $i_{уд} = 22,8 \text{ кА}$ $W_{к.} = 164 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} \geq U_{ном}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$  $i_{скв} \geq i_{уд}$ $W_{к.ном} \geq W_{к.}$

КРУ 10 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки.

### 10.8 Выбор изоляторов 10 кВ

Применяются опорные изоляторы ИО-10-3,75 УЗ в РУ-10 кВ ПС Петропавловка для крепления шин, [20].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора изоляторов 10 кВ по напряжению установки проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Дальнейшие математические вычисления допустимой и расчётной нагрузки на изолятор 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

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

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{22800^2 \cdot 0.9}{0.8} = 101 \text{ Н},$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разр} ,$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 3750 = 2250 \text{ Н}.$$

где  $l$  - длина пролёта между изоляторами КРУ СЭЩ-70-10, 0,9 м;

$a$  – межфазное расстояние между изоляторами КРУ СЭЩ-70-10, 0,8 м;

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия проверки изоляторов 10 кВ по нагрузке проводятся с применением исходных данных по выражению на линии питания ТП 09-3:

$$F_{доп} \geq F_{расч};$$

$$2250 \text{ Н} \geq 101 \text{ Н}.$$

Формирование итогов выбора и проверки изоляторов 10 кВ в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по условиям для линий 10 кВ села Петропавловка, таблица 42.

Таблица 42 – Выбор опорных изоляторов 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$F_{расч} = 101 \text{ Н}$	$F_{доп} = 2250 \text{ Н}$	$F_{доп} \geq F_{расч}$

Изоляторы 10 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки.

### 10.9 Выбор ограничителей перенапряжения 10 кВ

Применяются ограничители перенапряжения ОПН-10/Тел в РУ-10 кВ ПС Петропавловка для защиты от волн перенапряжения, [20].

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора ОПН 10 кВ по длительно допустимому рабочему напряжению проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$U_{НРО} \geq (1,02 - 1,05) \cdot U_{НС}, \quad (80)$$

$$1,05 \cdot U_{НС} = 12,6 \text{ кВ.}$$

где  $U_{НРО}$  - длительно допустимое рабочее напряжение ОПН, кВ;

$U_{НС}$  - наибольшее рабочее напряжение сети, кВ.

Выбираем ОПН-10/Тел с  $U_{НРО} = 12,7$  кВ.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора ОПН 10 кВ по взрывобезопасности проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_{ВБ} \geq (1,15 - 1,2) \cdot I_{КЗ}, \quad (81)$$

$$20 \text{ кА} > 1,2 \cdot 12,5 = 15 \text{ кА} - \text{условие выполняется.}$$

где  $I_{ВБ}$  - ток взрывобезопасности ОПН,  $I_{ВБ} = 20$  кА;

$I_{КЗ}$  - наибольший из токов КЗ,  $I_{КЗ} = 12,5$  кА.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора ОПН 10 кВ по ограничению коммутации при грозовом импульсе проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$U_{OCT.GP} < U_{OCT.PB}, \quad (82)$$

37,2 кВ < 45 кВ – условие выполняется

где  $U_{OCT.GP}$  – остающееся напряжение на ОПН при воздействии грозových импульсов тока 8/20 мкс с амплитудой 10 кА, 37,2 кВ;

$U_{OCT.PB}$  – остающееся напряжение на разряднике при воздействии грозových импульсов тока 8/20 мкс с амплитудой 10 кА, 45 кВ.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора ОПН 10 кВ по ограничению коммутационных перенапряжений проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$U_{OCT} \leq U_{KI} / (1,15-1,20), \quad (83)$$

29,5 кВ < 54,1/1,2 = 45,1 кВ – условие выполняется

где  $U_{OCT}$  – остающееся напряжение ОПН при волнах тока амплитудой 0,5 кА, формой 30/60 мкс, 29,5 кВ.

Дальнейшие математические вычисления испытательного напряжения коммутационного импульса для защищаемого оборудования проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$U_{KI} = K_I \cdot K_K \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ИСП}, \quad (84)$$

$$U_{KI} = 1,35 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot 31,5 = 54,1 \text{ кВ};$$

где  $U_{ИСП}$  – испытательное напряжение внутренней изоляции силовых трансформаторов, 31,5 кВ;

$K_{II}$  – коэффициент импульса, учитывающий упрочнение изоляции при действии короткого импульса по сравнению с испытательным одноминутным воздействием, 1,35;

$K_K$  – коэффициент кумулятивности, учитывающий многократность воздействия перенапряжений, 0,9.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия выбора ОПН 10 кВ по длине пути утечки внешней изоляции проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$L_y/U_{НОМ} = 39/10 = 3,9 \text{ см/кВ},$$

$$3,9 \geq 2,5 \text{ – условие выполняется,}$$

где  $L_y$  - длина пути утечки ОПН-10/Тел, 39 см.

## 11 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

При реконструкции сетей 10 кВ села Петропавловка требуется оценить необходимость компенсации емкостных токов замыкания на землю.

Дальнейшие математические вычисления величины ёмкостного тока сети 10 кВ села Петропавловка проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_B}{350}; \quad (85)$$

$$I_c = \frac{10 \cdot 3,25}{350} = 0,09 \text{ А.}$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение сети, кВ;

$L_B$  – суммарная протяженность воздушных линий в районе реконструкции в одноцепном исполнении, 3,25 км.

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условия компенсации токов замыкания на землю 10 кВ проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$I_c \leq I_{дон};$$

$$0,09 \text{ А} \leq 20 \text{ А};$$

где  $I_{дон}$  – допустимая по ПУЭ величина тока замыкания на землю в сетях 10 кВ, 20 А.

Полученное значение ёмкостного тока сети 10 кВ села Петропавловка много меньше допустимой величины, мероприятий по компенсации не предусматривается.

## 12 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Надёжным и бесперебойным условиям работы релейной защиты и автоматики в сетях 10 кВ села Петропавловка отвечают терминалы микропроцессорной защиты «Міsom Р-123».

Проводятся расчёты трехступенчатой токовой защиты линий 10 кВ.

Дальнейшие математические вычисления коэффициента трансформации трансформатора тока проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$n_T = \frac{I_{ВН}}{I_{НН}};$$

$$n_T = \frac{50}{5} = 10.$$

где  $I_{ВН}$  - ток первичной цепи трансформатора тока для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка, 50 А;

$I_{НН}$  - ток вторичной цепи трансформатора тока для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка, 5 А;

### 12.1 Токовая отсечка без выдержки времени

Дальнейшие математические вычисления первичного тока срабатывания токовой отсечки проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (86)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 7950 = 8746 \text{ А},$$

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

$I_{к.мах}^{(3)}$  – максимальный ток КЗ на шинах последней ТП по магистрали питания.

Дальнейшие математические вычисления коэффициента чувствительности токовой отсечки проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{С.З.}}} \geq 2, \quad (87)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{6920}{8746} = 0,79 \leq 2,$$

где  $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$  – минимальный ток КЗ на шинах первой ТП по магистрали питания.

Обеспечить надёжность работы первой ступени токовой отсечки при недостаточной чувствительности возможно установкой выдержки времени, образующая вторую ступень срабатывания токовой отсечки.

Дальнейшие математические вычисления вторичного тока срабатывания токовой отсечки проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$I_{\text{С.Р.}} = k_{\text{СХ}} \frac{I_{\text{С.З.}}}{n_T}, \quad (88)$$

$$I_{\text{С.Р.}} = 1 \cdot \frac{8746}{10} = 875 \text{ A}.$$



Дальнейшие математические вычисления времени срабатывания токовой отсечки проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$t_{c.з.ТО2} = t_{c.з.ТО1} + \Delta t_{c.з.}; \quad (89)$$

$$t_{c.з.ТО2} = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с},$$

где  $t_{c.з.ТО1}$  - время срабатывания первой ступени токовой отсечки для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка, 0 с;

$\Delta t_{c.з.}$  - выдержка времени срабатывания, 0,5 с;

Формирование итогов расчёта токовой отсечки для линий 10 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по линиям 10 кВ, таблица 43.

Таблица 43 – Расчёт токовой отсечки

Линия	ТП 09-3	ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5	ТП 09-1 - ТП 09-19
$I_{(3)по}, \text{ А}$	7,95	7,19	5,96
$I_{(2)по}, \text{ А}$	6,92	2,72	4,39
$I_p, \text{ А}$	7	34	36
$I_{н\text{ ТТ}}, \text{ А}$	50	50	50
$I_{с.з.}, \text{ кА}$	8,746	7,91	6,558
$n_T$	10	10	10
$I_{с.р.}, \text{ А}$	875	791	656
$K_{ч}$	0,79	0,34	0,67

## 12.2 Максимальная токовая защита линий

Дальнейшие математические вычисления первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_{в}, \quad (90)$$

$$I_{с.з.} = 200 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 232.$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности, 1,1;

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

$k_{в}$  – коэффициент возврата, 0,95;

$I_{раб.}$  – максимальный рабочий ток линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка,

А.

Дальнейшие математические вычисления вторичного тока срабатывания максимальной токовой защиты проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$I_{с.р.} = I_{с.з.} \cdot k_{сх} / n_T, \quad (91)$$

$$I_{с.р.} = 232 \cdot 1 / (50/5) = 23.$$

где  $k_{сх}$  – коэффициент схемы,  $k_{сх} = 1$ .

Дальнейшие математические вычисления чувствительности максимальной токовой защиты проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$K_{\eta} = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{с.з.}} \geq 1,5; \quad (92)$$

$$K_{\eta} = \frac{6920}{232} = 30 \geq 1,5.$$

Дальнейшие математические вычисления времени срабатывания максимальной токовой защиты проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$t_{с.з.МТЗ} = t_{с.з.ТО2} + \Delta t_{с.з.} + t_{с.з.};$$

$$t_{c.з.МТЗ} = 0,5 + 0,15 + 0,5 = 1,15 \text{ с},$$

где  $t_{c.з.ТО2}$  - время срабатывания второй ступени токовой отсечки для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка, 0,5 с;

$\Delta t_{c.з.}$  - выдержка времени срабатывания, 0,5 с;

$t_{c.з.}$  - время срабатывания защиты, 0,15 с.

Формирование итогов расчёта максимальной токовой защиты для линий 10 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по линиям 10 кВ, таблица 44.

Таблица 44– Расчёт МТЗ

Линия	ТП 09-3	ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5	ТП 09-1 - ТП 09-19
$I_{(3)по}, A$	7,95	7,19	5,96
$I_{(2)по}, A$	6,92	2,72	4,39
$I_p, A$	7	34	36
$I_{Н ТТ}, A$	50	50	50
$I_{c.з.} \text{ кА}$	0,232	0,232	0,232
$I_{c.p.} A$	23	23	23
$K_{ч}$	29,9	11,8	19

### 12.3 Устройства автоматического включения резерва

Дальнейшие математические вычисления напряжения срабатывания АВР проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$U_{c.з.} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{ном}, \quad (93)$$

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

Дальнейшие математические вычисления времени срабатывания АВР проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$t_{c.з.АВР} = t_{c.з.МТЗ} + \Delta t_{c.з.} + t_{c.з.}; \quad (94)$$

$$t_{c.з.АВР} = 1,15 + 0,15 + 0,5 = 1,8 \text{ с},$$

где  $t_{c.з.МТЗ}$  - время срабатывания максимальной токовой защиты для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка, 0,5 с;

$\Delta t_{c.з.}$  - выдержка времени срабатывания, 0,5 с;

$t_{c.з.}$  - время срабатывания защиты, 0,15 с.

#### 12.4 Защита от однофазных замыканий на землю

Дальнейшие математические вычисления тока замыкания на землю проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$I_{повр.л} = \frac{U_H \cdot L_B}{350};$$

$$I_{повр.л} = \frac{10 \cdot 0,5}{350} = 0,014 \text{ А}.$$

Дальнейшие математические вычисления тока через трансформатор тока нулевой последовательности проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$I_{ТП.повр.л} = I_{ЗНЗ} - I_{повр.л},$$

$$I_{ТП.повр.л} = 0,09 - 0,014 = 0,079 \text{ А}.$$

где  $I_{ЗНЗ}$  – суммарный емкостной ток сети,  $I_{ЗНЗ} = 0,09 \text{ А}$ .

Дальнейшие математические вычисления тока срабатывания защиты от замыкания на землю проводятся с применением исходных данных по выражению для линии ПС-ТП 09-3 села Петропавловка:

$$I_{с.з.} = I_{ТНП.повр.л} / k_{ч} ,$$

$$I_{с.з.} = 0,079 / 1,5 = 0,05.$$

$k_{ч}$  – коэффициент чувствительности защиты от замыкания на землю, 1,5.

Формирование итогов расчёта защиты от замыкания на землю для линий 10 кВ села Петропавловка в целях компактности пояснительной записки к работе сделано в табличном виде с разделением по линиям 10 кВ, таблица 45.

Таблица 45 – Расчёт ЗНЗ

Линия	ТП 09-3	ТП 09-4 - ТП 09-14 - ТП 09-8 - ТП 09-5	ТП 09-1 - ТП 09-19
$L_{вл}$ , км	0,5	1,75	1
$I_{повр.л}$ , А	0,014	0,05	0,029
$I_{ТНП.повр.л}$ , А	0,079	0,043	0,064
$I_{с.з.}$ , А	0,05	0,03	0,04

### 13 ЗАЗЕМЛЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Проводится расчёт устройства заземления ТП 09-1, которое включает в себя вертикальные и горизонтальные электроды диаметром 10 мм, соединённых между собой сваркой.

Дальнейшие математические вычисления стационарного сопротивления одного вертикального электрода проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (95)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{50}{\pi \cdot 2 \cdot 1,5} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot 1,5 \cdot (2 \cdot 0,3 + 1,5)}{0,03 \cdot (4 \cdot 0,3 + 1,5)} \right] = 27 \text{ Ом},$$

где  $l_B$  - длина вертикального электрода, м;

$h_3$  - глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{\text{грунт}}$  - удельное сопротивление грунта, по [29] для почвы берём из диапазона 50-1000 Ом\*м;

$d$  - диаметр электродов, м.

Дальнейшие математические вычисления стационарного сопротивления одного горизонтального электрода проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[ \frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (96)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{50}{\pi \cdot 8} \cdot \ln \left[ \frac{1,5 \cdot 8}{\sqrt{2 \cdot 0,03 \cdot 0,3}} \right] = 4 \text{ Ом},$$

где  $l$  – длина горизонтальной полосы, м.

Дальнейшие математические вычисления стационарного сопротивления заземления проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_{\text{В}} \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_{\text{Г}} \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (97)$$

$$R = \frac{27 \cdot 4}{0,75 \cdot (2 \cdot 4 + 2 \cdot 27)} = 2,6 \text{ Ом},$$

где  $\eta$  - коэффициент использования сложного заземлителя, 0,75;

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

$n_{\text{Г}}$  - число горизонтальных электродов.

Дальнейшие математические вычисления импульсного сопротивления вертикального электрода проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$R_{\text{uВ}} = \frac{\alpha_{\text{uВ}} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_{\text{В}}}, \quad (98)$$

$$R_{\text{uВ}} = \frac{1 \cdot 27}{0,75 \cdot 2} = 18 \text{ Ом},$$

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

Дальнейшие математические вычисления удельной индуктивности горизонтального заземлителя проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$L_O = 0,2 \cdot \left( \ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (99)$$

$$L_O = 0,2 \cdot \left( \ln \frac{8}{0,015} - 0,31 \right) = 1,19 \text{ мкГн/м.}$$

Дальнейшие математические вычисления импульсного коэффициента горизонтального заземлителя проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$\alpha_{uГ} = 1 + \frac{L_O \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{эГ}} \alpha_{uГ}, \quad (100)$$

$$\alpha_{uГ} = 1 + \frac{1,19 \cdot 8}{3 \cdot 2 \cdot 4} = 1,36,$$

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

Дальнейшие математические вычисления импульсного сопротивления горизонтального заземлителя проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$R_{uГ} = \alpha_u \cdot R_{эГ}, \quad (101)$$

$$R_{uГ} = 1,36 \cdot 4 = 6 \text{ Ом.}$$

Дальнейшие математические вычисления общего импульсного сопротивления заземлителя проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:



$$R_u = \frac{R_{uГ} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{uГ} + n_G \cdot R_{uB})}, \quad (102)$$

$$R_u = \frac{18 \cdot 6}{0,75 \cdot (2 \cdot 6 + 2 \cdot 18)} = 3 \text{ Ом.}$$

По конструкции исходя из расчётных данных заземляющего устройства вертикальные электроды количеством 2 шт, длиной 1,5 м, диаметром 30 мм закладываем на глубину 0,3 м. Соединительные элементы заземления соединяются между собой электродами того же диаметра.

Эскиз заземления ТП 09-1 показан на рисунке 10.

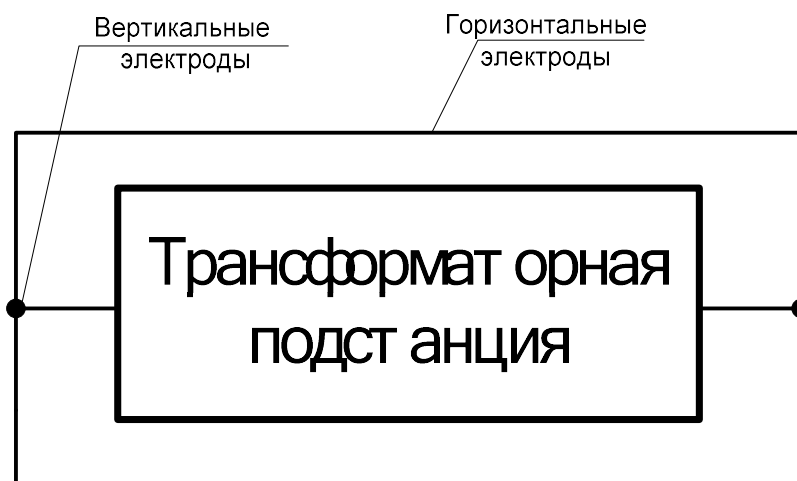


Рисунок 10 –Заземление ТП

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условий электробезопасности заземлителя проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$R_c \leq R_{c\text{ доп}},$$

$$2,6 \leq 4 \text{ Ом.}$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условий стекания тока молнии по заземлителю проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 09-1 села Петропавловка:

$$R_u \leq R_{u \text{ доп}},$$

$$3 \leq 9 \text{ Ом.}$$

Все необходимые расчётные условия эксплуатации заземления ТП соблюдаются.

## 14 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 14.1 Безопасность

По мере решения задач реконструкции системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области в части замены деревянных опор на железобетонные и замены провода марки А, АС на изолированный марки СИП-2 и SAХ-35 требуется обеспечить безопасность персонала при производстве работ на ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка [26].

Достаточная прочность основания опоры ВЛ 0,4-10 кВ села Петропавловка является необходимым условием допуска к работе на высоте при реконструкции системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка. Производитель или ответственный руководитель работ по реконструкции ВЛ 10-0,4 кВ села Петропавловка обеспечивает укрепление опоры в случаях обнаружения ослаблений конструкции опоры.

Работы по реконструкции ВЛ 10-0,4 кВ села Петропавловка проводятся в составе бригад работников, допущенных ко всем видам работ на опорах ВЛ до верха опор, если группа по электробезопасности работников не ниже III.

Работы по реконструкции ВЛ 10-0,4 кВ села Петропавловка проводятся в составе бригад работников, допущенных ко всем видам работ на опорах ВЛ до верха опор со снятием напряжения, если группа по электробезопасности работников не ниже II.

Работы по реконструкции ВЛ 10-0,4 кВ села Петропавловка проводятся в составе бригад работников, допущенных ко всем видам работ на опорах ВЛ не выше 2 м до уровня нижних проводов без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, если группа по электробезопасности работников не ниже II.

Работы по реконструкции ВЛ 10-0,4 кВ села Петропавловка проводятся в составе бригад работников, допущенных ко всем видам работ на опорах ВЛ не выше 3 м от земли, если группа по электробезопасности работников не ниже I.

В ходе реконструкции ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка работники, занятые на работах на стойке опоры размещаются вне досягаемости ближайших проводов, находящихся под напряжением.

В ходе реконструкции ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка работники, выполняющие подъём на опору, закрепляют строп предохранительного пояса к лазу. Работники, занятые на работах на высоте используют предохранительный пояс и распределяют вес на оба когтя лаза.

В ходе реконструкции ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка работники, занятые на работах на стойке многоцепной опоры с горизонтальным расположением цепей размещаются вне досягаемости проводов цепи, находящейся под напряжением. Не допускается расширение рабочего места на траверсе многоцепной опоры и переход на другую цепь, находящейся под напряжением.

В ходе реконструкции ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка работники, занятые на работах на стойке многоцепной опоры с вертикальным расположением цепей размещаются ниже цепей, находящихся под напряжением. Не допускается подъём на многоцепную опору с вертикальным расположением цепей со стороны включенной цепи, а также замена и регулировка проводов отключенной цепи.

При производстве работ по реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка допускается использование работниками, занятыми на работах с использованием инструмента и приспособлений, подъёмных средств и механизмов с обязательным соблюдением наименьшего расстояния в 0,6 м от работника, его инструмента до проводов ВЛ 0,4 кВ и иных токоведущих частей под напряжением. Если выдержать наименьшее расстояние в 0,6 м от работника, его инструмента до проводов ВЛ 0,4 кВ гарантированно нельзя, все близкорасположенные токоведущие части заземляются и отключаются.

При производстве работ по реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка работникам, занятыми перетяжкой и заменой проводов ВЛ-0,4 кВ на опорах одинарной или совместной подвески проводов должно быть обеспечено рабо-

чее место с устроенным заземлением участков ВЛ-0,4 кВ, со стороны которых есть вероятность подачи напряжения на рабочее место.

Обследование опор ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка проводится для предотвращения их смещения или падения во время работ по реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка.

При производстве работ по реконструкции опор ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка, включающих замену деревянных приставок к стойкам опоры запрещено создавать ослабления грунта в местах установки стоек опор одновременно для всех стоек. Допускается поочередная замена приставок опор ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка в том случае, если полностью укреплены или заменены бандажи подвергнутых реконструкции стоек.

При производстве работ по реконструкции опор ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка, включающих извлечение приставок стоек опор, запрещается работникам занятыми заменой стоек опор ВЛ-0,4 кВ находится в котловане вблизи опоры, [26].

При производстве работ по реконструкции опор ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка, включающих валку и установку опор, работник, выдающий наряд на проведение работ, определяет способ валки и установки опор с допустимым отклонением опоры.

Запрещено нахождение работников на траверсах опор ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка при осуществлении спуска или поднятия инструмента и оборудования с использованием траверс опор.

При производстве работ по реконструкции опор ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка, включающих подъём и спуск оборудования на высоту подъёмными блоками работник, выдающий наряд на проведение работ, определяет допустимость принятого способа подъёма груза без ущерба целостности опоры и её частей.

При производстве работ по реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка допускается использование работниками, занятыми на работах с использовани-

ем подъёмных средств и механизмов, применение изолирующих и токоуказательных устройств, штанг, приспособлений.

Запрещено проведение работ на гирляндах изоляторов без проверки измерительной штангой целостности подвесных изоляторов и наличия всех креплений, шплинтов, скоб в арматуре.

При производстве работ по реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка допускается использование выпускающих зажимов как на опоре, работы на которой проводятся работниками с подъёмом на высоту, так и на соседних опорах в случае особенности рельефа трассы.

Запрещено проведение работ с площадки изолирующего устройства под потенциалом провода прикасаться к изоляторам и арматуре гирлянд, обладающих потенциалом, отличным от потенциала провода.

Запрещено проводить манипуляции по передаче инструмента и оборудования между работниками, находящимися на площадках или рабочих местах с разным потенциалом.

При производстве работ по соединению или разделению элементов ремонтируемой фазы ВЛ-0,4 кВ села Петропавловка обязательно использование работниками диэлектрических перчаток

#### **14.2 Экологичность**

По мере решения задач реконструкции системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области в части замены трансформаторов на закрытых и открытых (мачтовых) трансформаторных подстанциях требуется обеспечить соблюдение норм экологичности в части шумового воздействия открытых трансформаторных подстанций на близлежащую частную жилую застройку села Петропавловка, [37].

Мачтовые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ имеют закрытое РУ 0,4 кВ, но силовой трансформатор размещается на мачтовой площадке открыто, без сплошного экрана. В данном пункте рассматривается шумовое воздействие только для мачтовых ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка с трансформаторами ТМ-160/10 мощностью 160 кВА, для комплектных ТП 10/0,4 кВ с трансформа-

торами мощностью от 250 кВА используется закрытое размещение трансформаторов в специальных отсеках, внутри которых использованы звуко-виброизоляционные материалы, препятствующие распространению шума вне трансформаторного отсека.

Мачтовые ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка с трансформаторами мощностью менее 160 кВА не используются.

Допустимые уровни шума для жилой застройка села Петропавловка нормируются [33] и составляют:

$$L_{a_{max}} = 55 \text{ дБА с } 7^{00}-23^{00} \text{ часов;}$$

$$L_{a_{max}} = 45 \text{ дБА с } 23^{00}-7^{00} \text{ часов.}$$

Перечень мачтовых ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка с одним трансформатором ТМ-160/10 мощностью 160 кВА: ТП 09-3, ТП 09-5, ТП 09-14. Для данных ТП скорректированный уровень звуковой мощности по [31] и составляет:

$$L_{pa} = 62 \text{ дБА.}$$

Дальнейшие математические вычисления минимального расстояния по шуму от ТП 10/0,4 кВ села Петропавловка с трансформаторами мощностью 160 кВА до территории жилой застройки проводятся с применением исходных данных по выражению:

$$R_{мин} = \sqrt{\frac{10^{\frac{L - L_{PA}}{10}}}{2 \cdot \pi}}, \quad (103)$$

$$R_{мин} = \sqrt{\frac{10^{\frac{62-45}{10}}}{2 \cdot \pi}} = 3 \text{ м.}$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условий по шуму проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 9-14 села Петропавловка:

$$R_{\text{мин}} \leq R_{\text{факт}},$$

$$3 \leq 4 \text{ м.}$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условий по шуму проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 9-03 села Петропавловка:

$$R_{\text{мин}} \leq R_{\text{факт}},$$

$$3 \leq 12 \text{ м.}$$

Дальнейшие математические вычисления соблюдения условий по шуму проводятся с применением исходных данных по выражению для ТП 9-05 села Петропавловка:

$$R_{\text{мин}} \leq R_{\text{факт}},$$

$$3 \leq 7 \text{ м.}$$

В результате вычислений минимального расстояния для соблюдения требований по шуму от мачтовых ТП мощностью 160 кВА до жилой застройки села Петропавловка не выявлено нарушения требований по шуму после реконструкции ТП села Петропавловка, рисунок 11.



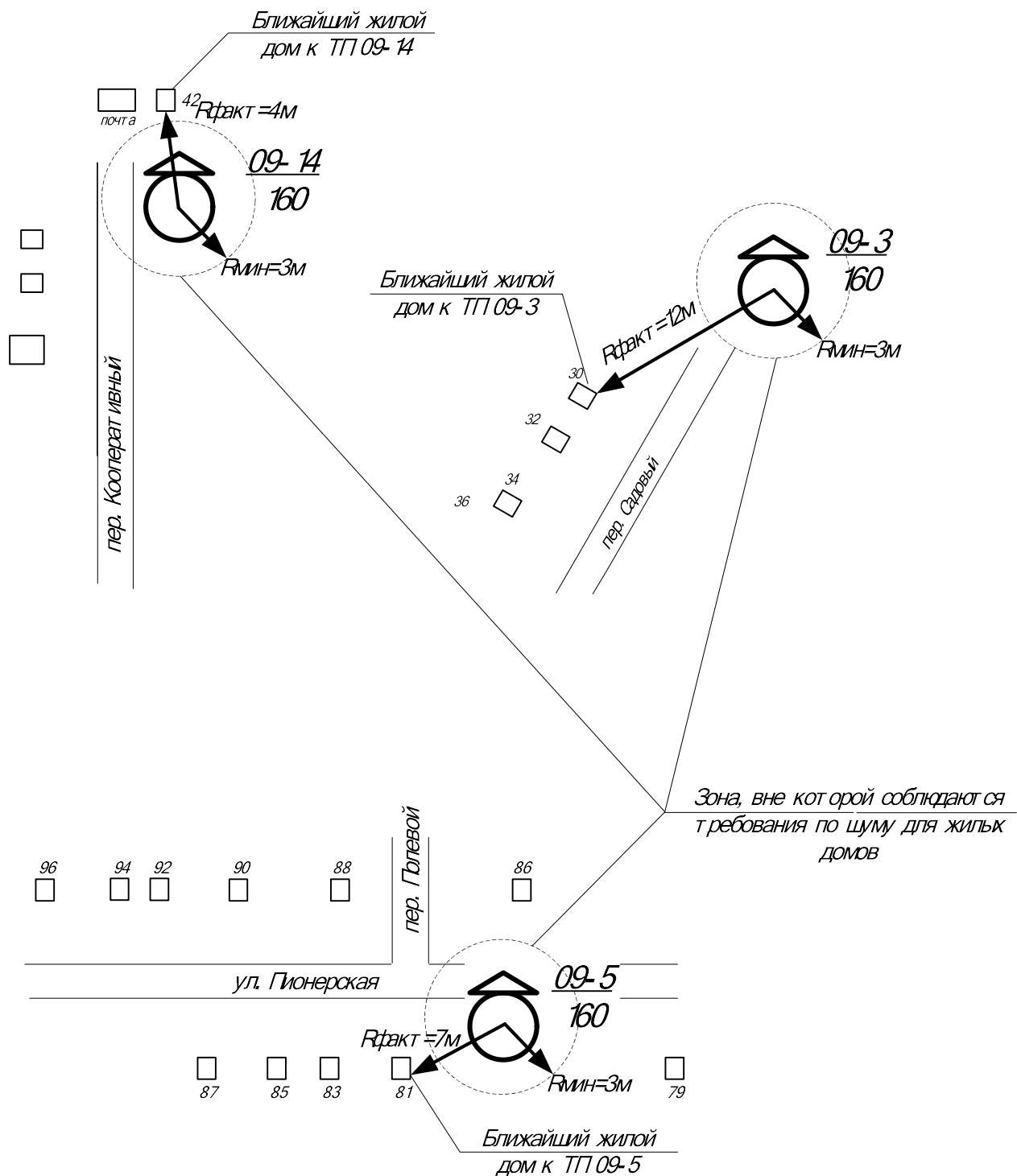


Рисунок 11 – Шумовое воздействие мачтовых ТП 160 кВА для села Петропавловка

По данным расчётов и графического изображения зон шумового воздействия на рисунке 11 делается вывод о соблюдении норм шумового воздействия при реконструкции системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Петропавловка Амурской области.

### 14.3 Чрезвычайные ситуации

Оборудование трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка при аварийных режимах работы подвергается риску возникновения пожара.

Приводится перечень мероприятий, направленный на недопущение развития возгорания в электроустановках ТП села Петропавловка, [23].

В распределительном устройстве 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка допускается тушение возгораний без снятия напряжения, так как цепи вторичной коммутации нельзя оставлять без электропитания во избежание каскадного развития аварии и отключения потребителей.

Тушение возгораний в распределительном устройстве 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка оформляется заблаговременным письменным допуском на тушение энергетического оборудования под напряжением до 0,4 кВ на типовых бланках пожаротушения, которые хранятся у дежурного по смене, обслуживающего трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ села Петропавловка.

Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ села Петропавловка не оборудуются автоматическими установками пожаротушения, поэтому для ликвидации возгорания в них используются огнетушащие средства, при этом осуществляется соблюдение необходимых мер безопасности лицами, принимающими участие в тушении.

Тушение возгораний в распределительном устройстве 10 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка выполняется после снятия напряжения с оборудования 10 кВ и оформляется допуском.

Из числа оборудования трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка формируется перечень устройств и аппаратов, которые нельзя отключать в случае возникновения пожара.

Оперативные карточки действий при пожаре в распределительном устройстве 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка

могут разрабатываться для нетипового оборудования или корректироваться под фактические схемы соединения электроустановок, при этом обязательными пунктами в карточках должны быть указаны: места расположения оборудования, которое не обесточено, операции с электрооборудованием РУ-0,4 кВ, находящегося в зоне пожара, места расположения заземляющих устройств, средств защиты от пожара, средств для тушения пожара, допустимые по условию безопасности маршруты перемещения боевых расчетов к месту пожара.

Безопасность боевых расчетов ведомственной пожарной охраны,, осуществляющего тушение пожара в оборудовании 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка обеспечивается применением распыленных струй воды, подаваемой из ручных пожарных стволов с расстояния не менее 5 метров.

Безопасность боевых расчетов ведомственной пожарной охраны,, осуществляющего тушение пожара в оборудовании 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка обеспечивается воздушно-механической пеной с заземлением пеногенераторов и насосов пожарных автомобилей, при этом подключение пожарных рукавов и манипуляции с металлическим инструментом выполняются в диэлектрических перчатках и ботах.

Пожарная безопасность боевых расчетов ведомственной пожарной охраны, осуществляющего тушение пожара в оборудовании 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка обеспечивается применением средств пожаротушения в диэлектрических перчатках, индивидуальных средств защиты органов дыхания.

Во избежание поражения электрическим током боевым расчетам ведомственной пожарной охраны запрещено самостоятельно производить какие-либо отключения в электроустановках трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка.

В целях пожарной безопасности боевым расчетам ведомственной пожарной охраны запрещено тушение пожара при существенном задымлении поме-

щений электроустановок трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка с видимостью менее 5 метров.

Во избежание поражения электрическим током боевым расчетам ведомственной пожарной охраны запрещено применять для тушения пожаров морскую воду, а также воду с добавлением пенообразователей, смачивателей и солей.

В целях электробезопасности боевые расчеты ведомственной пожарной охраны при тушении пожара обеспечиваются достаточным количеством средств защиты от поражения электрическим током, [4].

Боевые расчеты ведомственной пожарной охраны не реже одного раза в год принимают участие в противопожарных тренировках на специальных полигонах с целью отработки действий по ликвидации пожаров на электроустановках, находящихся под напряжением.

В случае обнаружения возгорания в электроустановках трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ села Петропавловка проводится информирование начальника смены электросетевого комплекса села Петропавловка, пожарной охраны. Далее производится тушение пожара имеющимися средствами пожаротушения.

Начальнику смены электросетевого комплекса села Петропавловка до прибытия подразделений пожарной охраны на правах руководителя тушением пожара вменяются обязанности по пресечению фактов проникновения посторонних на территорию, подверженную возгоранию, а также обязанности по установлению мест возникновения пожара, очагов, направлений распространения возгорания, выполнению подготовительных работ, облегчающих тушение пожара, участию в тушении пожара наличествующими средствами пожаротушения.

Начальник смены электросетевого комплекса села Петропавловка обязан принять подразделения ведомственной пожарной охраны, передать информацию о безопасных маршрутах движения, расположению водисточников, местах заземления пожарной техники.

Начальник смены электросетевого комплекса села Петропавловка обязан передать информацию старшему подразделения ведомственной пожарной охраны о принятых мерах и организовать дальнейшие действия персонала.

Достаточность необходимых мер безопасности для подразделений ведомственной пожарной охраны при тушении возгораний в электросетевом комплексе села Петропавловка определяет своевременность принятия решения о подаче огнетушащих средств руководителем тушения пожара.

Для подразделений ведомственной пожарной охраны при тушении возгораний в электросетевом комплексе села Петропавловка организуется инструктаж на месте возгорания о допустимости применения средств пожаротушения, безопасных подходах к очагу возгорания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система электроснабжения сельскохозяйственного района, включающего село Петропавловка. Выбраны мощности трансформаторов ТП, сечения проводов СИП, кабелей. Рассчитан уровень токов КЗ. Выбранные аппараты проверены на устойчивость к токам КЗ.

По селу Петропавловка проведена замена голых проводов на СИП, так как условие допустимой потери напряжения для них соблюдается и исключается воровство электроэнергии. В сети 10 кВ также применён провод SAХ-(3х35) для повышения надёжности сети 10 кВ. Выбраны уставки релейной защиты и автоматики, выбрано время срабатывания защит. Проведена оценка грозозащищённости элементов сети 10 кВ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алиев, И. И. Электротехника и электрооборудование [Текст] : справ. / И. И. Алиев. - М. : Высш. шк., 2010. - 1200 с.
2. Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматка электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2004.– 132 с.
3. Г.М. Иманов, Ф.Х. Халилов, А.И. Таджибаев. Методика выбора нелинейных ограничителей, необходимых для защиты изоляции сетей низкого, среднего, высокого и сверхвысокого напряжения трёхфазного переменного тока. ПЭИПК, г. Санкт-Петербург, 2004г.
4. ГОСТ 12.1.019-79 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»
6. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. - Ростов н/Д : Феникс, 2011. - 382 с.
7. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.
8. Зорин В.В., Тисленко В.В. Системы электроснабжения общего назначения. – Чернигов: ЧГТУ, 2008. – 341с.
9. Кабельный справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyye/dlya-vozdushnyix-linij-pperedach/sip-3/> – 27.05.2022 г.
10. Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей. Под ред. Файбисовича Д.Л. - 4-е издание. - М.: изд-во НЦ ЭНАС, 2012. - 376 стр.

11. Киреева Э. А., Орлов В. В., Старкова Л. Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2003. — 120 с; ил. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 12(60).
12. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Г. В. Коробов, В. В. Картавец, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2011. - 192 с.
13. Кудрин, Б. И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие : доп. УМО / Б. И. Кудрин. - М. : Академия, 2011. - 352 с.
14. Максимов, Б. К. Теоретические и практические основы рынка электроэнергии [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Б. К. Максимов, В. В. Молодчук. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2008. - 292 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 291
15. Наумов, И. В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. В. Наумов, Т. Б. Лещинская, С. И. Бондаренко ; под ред. И. В. Наумова. - Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2011. - 327 с.
16. Основы современной энергетики [Текст] : учеб. : в 2 т. / под ред. Е. В. Аметистова. - 5-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2010.
17. Отчёт по преддипломной практике (производственная практика) Мосягин И.В., АмГУ, Эн.ф. – Благовещенск. – 25 с.
18. Официальный сайт ООО «Электронприбор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.electronpribor.ru/catalog/ampmetry-schitovye/>– 27.05.2022 г.
19. Официальный сайт Администрации Иваноского района [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivanadmin28.ru/orayone/istoriheskaya-spravka.html>– 30.05.2022 г.
20. Официальный сайт ООО Самараэлектроцит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electroshield.ru/products/> – 27.05.2022 г.



21. 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.

22. Правила определения размеров земельных участков для размещения ВЛЭП и опор линий связи, обслуживающих электрические сети. Постановление правительства РФ от 11 августа 2003 года №486.

23. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. - М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. - 116 с.

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

25. Приказ №276-пр/э от 20.12.2021г. Управления государственного управления цен и тарифов Амурской области

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

27. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография. М.А. Шабад. - СПб.: ПЭИПК, 2012. - 5-е изд., перераб. и доп. - 350 стр.. ил.

28. Ротачёв Ю.А. Релейная защита и автоматика: Учебно-методическое пособие для студентов заочного обучения/ Амурский гос. ун-т – Благовещенск, 2000.

29. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК,1999.

30. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98. Утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики 23.03.1998 г

31. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
32. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с.
33. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
34. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий [Текст] / под ред. С. И. Гамазина, Б. И. Кудрина, С. А. Цырука. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2010. - 745 с. : ил.
35. Фёдоров В.А. Библия релейной защиты и автоматики/ Новосибирский институт повышения квалификации, 2008. - 277с.
36. Хавроничев С.В., Рыбкина И.Ю. Расчет токов коротких замыканий и проверка электрооборудования. Учеб. пособие. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2012. – 56 с.
37. Шум. Трансформаторы силовые масляные ГОСТ 12.2.024—87 ССБТ.
38. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). - 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 964 с.