

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

Факультет Энергетический

Кафедра Энергетики

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина

«_____» _____ 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ
села Загорная Селитьба Свободненского района Амурской области

Исполнитель

студент группы 942-узб

подпись, дата

Д.С. Путько

Руководитель

доцент

подпись, дата

А.Г. Ротачева

Консультант по

безопасности и

экологичности

доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

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 Д.С. Путько

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Загорная Селитьба Свободненского района Амурской области

(утверждена приказом от 03.04.2023г. №794-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: поопорная схема ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба, поопорная схема ВЛ-10 кВ села Загорная Селитьба, главная схема ПС 35 кВ «Загорная», экспликация потребителей села Загорная Селитьба

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика района электроснабжения, расчёт электрических нагрузок 0,4 кВ, расчёт электрических нагрузок в сети 10 кВ, расчет токов 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, расчёт заземления ТП

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план села Загорная Селитьба с воздушными линиями 0,4 кВ, предлагаемые варианты реконструкции сети 10 кВ, однолинейная схема сети 10 кВ, схемы замещения и результаты расчётов токов КЗ в сети 10 и 0,4 кВ, микропроцессорная защита секционного выключателя 10 кВ ПС «Загорная», микропроцессорная защита линейного выключателя 10 кВ ПС «Загорная»

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

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель выпускной квалификационной работы: доцент Ротачева А.Г.

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 101 с, 42 таблицы, 6 рисунков, 32 источника.

ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, БЫТОВАЯ НАГРУЗКА, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ, ТРЁХФАЗНОЕ КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЗАЩИТЫ, НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.

Актуальность работы определяется тем, что электрические сети напряжением 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба находятся в неудовлетворительном техническом состоянии. Для повышения надёжности и качества электроснабжения потребителей производится реконструкция системы электроснабжения напряжением 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба.

Цель работы – проведение мероприятий по реконструкции системы электроснабжения 10-0,4 кВ села Загорная Селитьба Свободненского района Амурской области.

Полученные результаты работы состоят из расчётных нагрузок сетей 0,4-10 кВ, уровней токов КЗ в сети 0,4-10 кВ, уставок средств РЗ и А трансформаторов и линий 0,4-10 кВ, параметров используемого оборудования напряжением 0,4-10 кВ.

Новизна полученных результатов работы соблюдается в отношении используемых справочных данных и требований действующей технической документации.

Практическая значимость результатов работы соблюдается в отношении проектирования по фактическим схемам электроснабжения с учётом данных о количестве и месте расположения потребителей электроэнергии села Загорная Селитьба.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика района электроснабжения	9
2 Расчёт электрических нагрузок 0,4 кВ	12
2.1 Расчёт нагрузок жилых домов и общественных помещений	12
2.2 Расчёт нагрузок коммунальных и производственных потребителей	15
2.3 Расчёт нагрузки уличного освещения	17
2.4 Расчёт электрических нагрузок линий 0,4 кВ, выбор и проверка проводников распределительной сети	18
2.5 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП	23
2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов ТП	24
3 Расчёт электрических нагрузок в сети 10 кВ	28
3.1 Определение потерь мощности в трансформаторах ТП	28
3.2 Приведенная нагрузка к стороне 10 кВ ТП	30
3.3 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ	30
3.4 Расчёт электрических нагрузок на шинах ПС «Загорная»	36
4 Расчет токов короткого замыкания	38
4.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	38
4.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ	41
5 Выбор и проверка оборудования напряжением до 1 кВ	49
5.1 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ	49
5.2 Выбор рубильников 0,4 кВ	54
6 Выбор и проверка оборудования напряжением выше 1 кВ	56
6.1 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП	56
6.2 Проверка линий 10 кВ на воздействие токов КЗ	57
6.3 Выбор трансформаторов тока	59
6.4 Выбор трансформатора напряжения	62
6.5 Выбор выключателей нагрузки	64

6.6 Выбор выключателей 10 кВ	66
6.7 Выбор КРУ	70
7 Компенсация емкостных токов замыкания на землю	73
8 Релейная защита и автоматика	74
8.1 Токовая отсечка без выдержки времени	74
8.2 Максимальная токовая защита линий	76
8.3 Устройства автоматического включения резерва	78
8.4 Защита от однофазных замыканий на землю	78
9 Расчёт заземления ТП	80
10 Безопасность и экологичность	85
10.1 Безопасность	85
10.2 Экологичность	89
10.3 Чрезвычайные ситуации	93
Заключение	96
Библиографический список	97

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- АВР – автоматическое включение резерва;
- АО – акционерное общество;
- АЭС – Амурские электрические сети;
- 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;
- ПУС – пункт учёта и секционирования;
- РЗ - релейная защита;
- РЭС – район энергоснабжения;
- СИП – самонесущий изолированный провод;
- СИПР – схема и программа развития;
- СП – структурное подразделение;
- ТО – токовая отсечка;
- ТП – трансформаторная подстанция;
- УЗО – устройство защитного отключения
- ФЗ – федеральный закон;
- ЦЭС – центральные электрические сети;

ВВЕДЕНИЕ

Характерная низкая окупаемость капиталовложений в систему электроснабжения с небольшим количеством потребителей чаще всего приводит к длительной реализации планов по модернизации и развитию электрических сетей. В современных условиях, когда комплектующие и основное электротехническое оборудование растёт в цене, для собственника электрических сетей представляет большую трудность найти необходимые объёмы инвестиций без внешних субсидий.

Выбранный для реконструкции системы электроснабжения район находится в зоне обслуживания АО «ДРСК» (филиал АЭС, СП ЗЭС Центральный РЭС Загорненский участок), учитывая возможности проведения комплексной реконструкции выполняются разносторонние расчёты параметров вводимого оборудования, задача которого повысить эффективность функционирования системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Загорная Селитьба.

Большая часть потерь в распределительных сетях 0,4 кВ относится на коммерческие или нетехнические потери электроэнергии вне зависимости от количества потребителей, поэтому принимая в рассмотрение необходимость повышения эффективности работы сетей 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба в данной работе рассматривается полный отказ от использования проводов без изоляции в пользу изолированных проводов.

Для села Загорная Селитьба выполняются мероприятия по реконструкции в полном объёме, используя наиболее распространённые мероприятия по повышению энергетической эффективности [8]: замена проводов, эффективная загрузка трансформаторов ТП, оптимальная схема соединения сети 10 кВ.

Прикладной характер реконструкции системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Загорная Селитьба показывается относительно объёма выполненных расчётов по замене проводов сетей 0,4-10 кВ на изолированный, замене КТП

10/0,4 кВ, повышению пропускной способности ВЛ 0,4-10 кВ, улучшению качества электроэнергии.

Оценка целесообразности темы работы по реконструкции системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Загорная Селитьба даёт относительно потребности в снижении затрат на дальнейшую эксплуатацию оборудования напряжением 0,4-10 кВ, которые могут возникнуть от некачественной электроэнергии и перерывов электроснабжения потребителей.

Основание для реконструкции системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Загорная Селитьба получено в ходе анализа исходных данных к работе и уровню имеющихся потерь электроэнергии.

Исходные данные для разработки темы работы получены на преддипломной практике, в составе данных имеется информации о плане расположения потребителей 0,4 кВ, фактических местах и планах расположения ТП 10/0,4 кВ села Загорная Селитьба, схемах сети 10 кВ с центром питания ПС «Загорная», величине полных потерь электроэнергии за 2023 год.

Практическая значимость проработки темы работы по реконструкции системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Загорная Селитьба складывается из ожидаемого снижения эксплуатационных затрат, затрат на ремонт, повышения безопасности работ, упрощения проведения ремонтов при использовании современного оборудования – проводов СИП, комплектных ТП, вакуумных выключателей ВВТел,

Решаемые задачи включают в себя оценку величины потерь электроэнергии в существующих сетях, расчёты нагрузок бытовых потребителей, расчёты токов КЗ в сети 0,4-10 кВ, использование рекомендуемых коэффициентов загрузки трансформаторов, выбор и проверку аппаратов в сети 0,4-10 кВ, выбор уставок срабатывания средств микропроцессорной РЗА.

При проектировании использовались следующие программные продукты MS Office Word 2007; MS Office Excel 2007; MS Visio 2007.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Свободненский район образован в 1922 году. Площадь района составляет 731818 тыс. га с зарегистрированным населением 15220 человек. Расположен район в северно-западной части Амурской области и граничит с запада с Китайской народной республикой по реке Амур, с севера с Шимановским районом, с востока по реке Зея – с Мазановским и Серышевским районами и с юга – с Благовещенским районом [4].

Общая площадь жилищного фонда по Загорненскому сельсовету составляет 10 629 м², из них кирпичные жилища – 5100 м²; панельные – 1360 м²; деревянные – 4169 м². В отношении изношенности ранжирование жилищного фонда представлено по проценту износа до 30% – 3200 м²; 31- 65% - 3500 м²; свыше 65% - 3929 м². В частной собственности находится 7184 м² жилищного фонда (67.6%) от общей площади жилищного фонда, в муниципальной собственности находится 3445 м² жилищного фонда [4].

Основные предприятия и их виды деятельности:

- Отделение почтовой связи села Загорная Селитьба - оказание услуг почтовой связи;
- Дом культуры села Загорная Селитьба - организация досуга населения;
- Сельская библиотека села Загорная Селитьба - библиотечное обслуживание;
- Загорненская амбулатория села Загорная Селитьба - оказание первичной неотложной помощи, осуществление и профилактической лечебной деятельности;
- лесхоз села Загорная Селитьба - организация и осуществление охраны лесов;

- Дорожный участок села Загорная Селитьба - организация и осуществление работ по содержанию дорог;
- Пилорама села Загорная Селитьба - осуществление работ по переработке леса;
- Пожарный пост ПЧ №65 села Загорная Селитьба - осуществление и организация работ по защите населения от ЧС;
- Загорненский участок ООО «РТС» - обслуживание котельных для отопления объектов соц.быта.

Целесообразность реконструкции системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Загорная Селитьба оценивается в соответствии с данными рисунков 1-2, где приводится наглядное изображение диаграмм, отражающих уровни потерь электроэнергии по фидерам ПС «Загорная» Свободненского РЭС.

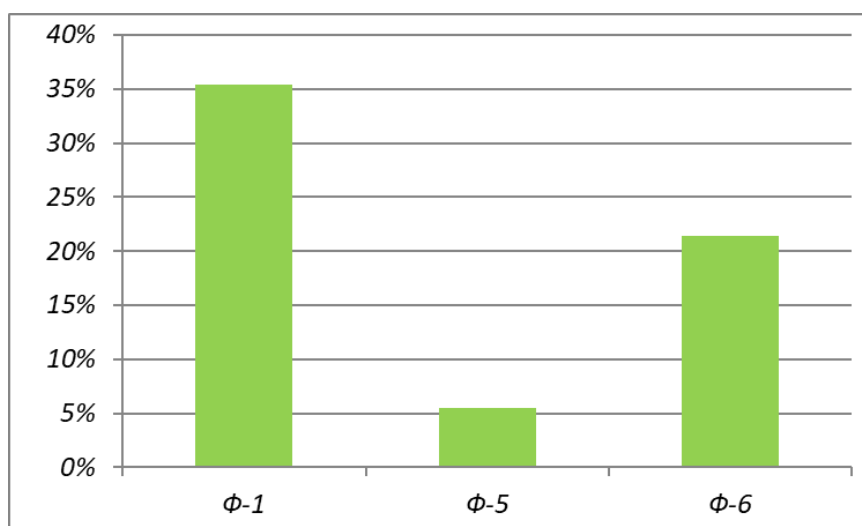


Рисунок 1 - Коммерческие потери по фидерам ПС «Загорная» за 2022 год (Ф-1, Ф-5 - село Загорная Селитьба; Ф-6 - село Загорная Селитьба, Буссе)

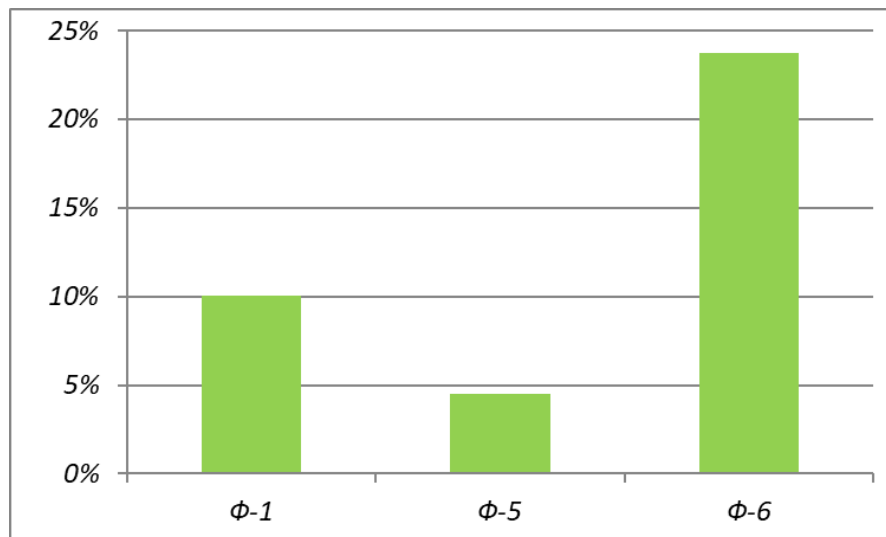


Рисунок 2 - Технические потери по фидерам ПС «Загорная» за 2022 год (Ф-1, Ф-5 - село Загорная Селитьба; Ф-6 - село Загорная Селитьба, Буссе)

На основе данных диаграмм получена средняя величина коммерческих потерь - 21% от поступившей электроэнергии в сеть 10 кВ. Допустимая по условиям работы метрологических комплексов величина коммерческих потерь – 2% [16], поэтому целесообразно предусмотреть мероприятия по исключению хищений электроэнергии потребителями в сет 0,4 кВ. Средний уровень технических потерь 13% при средней величине 8-9% [16], поэтому целесообразно провести реконструкцию с выбором оптимальной схемы питания потребителей системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Загорная Селитьба.

2 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК 0,4 КВ

2.1 Расчёт нагрузок жилых домов и общественных помещений

За основу расчёта нагрузок реконструируемых сетях 0,4 кВ села Загорная Селитьба взяты исходные данные и методика [1].

В таблицу 1 в совокупности с наименованиями потребителей заносятся данные о количестве и категории жилых домов и общественных помещений по надёжности и бесперебойности электроснабжения в рамках данной работы.

Таблица 1 – Экспликация жилых домов и общественных помещений

Объект	Кол-во объектов	Категория по надёжности электроснабжения
Одноквартирный дом (электроплита)	149	3
Двухквартирный дом (электроплита)	18	3
больница	1	3
контора	1	3
2х эт дом, гостиница	2	3
клуб	2	3
магазин	4	3
столовая	5	3
магазин	9	3
пекарня	1	3

Школа, садик	2	3,2
баня	5	3

Для каждого из потребителей принимается допущение о выполнении трёхфазного ввода в ВРУ 0,4 кВ потребителя, распределение нагрузки по фазам осуществляется на стороне потребителя, при этом нагрузка по фазам распределена равномерно без существенных перекосов по фазам.

Для случая нахождения нагрузки двухквартирного дома в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [1]:

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

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

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

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

где K_{yD} - коэффициент участия в дневном максимуме нагрузок сетей 0,4 кВ, при котором ожидается наименьшая нагрузка, 0,5;

K_{yB} - коэффициент участия в вечернем максимуме нагрузок сетей 0,4 кВ, при котором ожидается наибольшая нагрузка, 1;

$\cos \varphi_D$ - коэффициент мощности для дневного максимума нагрузки сетей 0,4 кВ, в современных условиях и при наличии существенной нагрузки бытовых нагревательных приборов 1;

$\cos \varphi_B$ - коэффициент мощности для вечернего максимума нагрузки сетей 0,4 кВ, 1;

P_p - расчетная активная нагрузка на вводе 0,4 кВ в двухквартирный дом по экспликации.

В таблицу 2 в совокупности с исходными заносятся результирующие данные по проводимым расчётам нагрузок жилых домов и общественных помещений на вводе 0,4 кВ потребителей в рамках данной работы.

Таблица 2 – Расчётные нагрузки жилых домов и общественных помещений на 2022 год

Объект	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	$\cos\phi$
1	2	3	4	5
Одноквартирный дом (электроплита)	6,0	0,0	6,0	1,00
Двухквартирный дом (электроплита)	12,0	0,0	12,0	1,00
больница	50,0	35,0	61,0	0,82
контора	5,0	3,0	5,8	0,86
2х эт дом, гостиница	21,0	8,1	22,5	0,93
клуб	32,0	20,0	37,7	0,85

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
магазин	10,0	5,0	11,2	0,89
магазин	10,0	5,0	11,2	0,89
пекарня	28,0	8,0	29,1	1,00
Школа, садик	21,0	8,1	22,5	0,93
баня	14,0	4,0	14,6	0,96

В данной работе проводится учёт ежегодного прироста нагрузки засчёт повышения степени оснащения потребителей электроприёмниками (мелкомоторная нагрузка, нагревательные приборы, бытовые вспомогательные аппараты) на период 10 лет.

Для случая нахождения прогнозируемой нагрузки двухквартирного дома в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [1]:

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

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

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

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

где Σ - среднегодовой темп прироста бытовой нагрузки, 2% [32];

n – период прогнозирования, 10 лет.

В таблицу 3 в совокупности с исходными заносятся результирующие данные по проводимым расчётам прогнозируемых нагрузок на вводе 0,4 кВ жилых домов и общественных помещений в рамках данной работы.

Таблица 3 – Расчётные нагрузки жилых домов и общественных помещений

Объект	Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	cosφ
Одноквартирный дом (электроплита)	7,3	0,0	7	1,00
Двухквартирный дом (электроплита)	14,6	0,0	15	1,00
больница	61,0	42,7	74	0,82
контора	2,4	1,2	7	0,86
2х эт дом, гостиница	14,6	9,8	27	0,93
клуб	39,0	24,4	46	0,85
магазин	12,2	6,1	14	0,89
столовая	11,0	4,9	12	0,30
магазин	12,2	6,1	14	0,89
пекарня	34,2	9,8	36	1,00
Школа, садик	14,6	9,8	27	0,93
баня	17,1	4,9	18	0,96

Вывод – общий прирост нагрузки на 2032 год составляет 18%, поэтому необходимо вести дальнейший расчёт нагрузки сетей 0,4 и 10 кВ принимая во внимание постепенный рост потребления электроэнергии.

2.2 Расчёт нагрузок коммунальных и производственных потребителей

В таблицу 4 в совокупности с наименованиями потребителей заносятся данные о количестве и категории коммунальных и производственных

потребителей по надежности и бесперебойности электроснабжения в рамках данной работы.

Таблица 4 – Экспликация коммунальных и производственных потребителей

Объект	Кол-во объектов	Категорийность по надёжности электроснабжения
скважина	2	3
коровник	5	3
телятник	3	3
водонап.башня, пилорама	5	3
зерносушилка	6	3
гараж	6	3
столярка	1	3
мастерская	1	3
Склад	7	3
зернохранилище	2	3
нефтебаза	1	3
котельная	2	2

Для случая нахождения нагрузки скважины в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [1]:

$$S_B = \frac{K_{yB} \cdot P_P}{\cos \varphi_B}; \quad (5)$$

$$S_B = 1 \cdot 20 / 0,89 = 22,4 \text{ кВт},$$

$$S_D = \frac{K_{yD} \cdot P_P}{\cos \varphi_D}; \quad (6)$$

$$S_D = 0,8 \cdot 20 / 0,89 = 17,92 \text{ кВт}.$$

В таблицу 5 в совокупности с исходными заносятся результирующие данные по проводимым расчётам нагрузок коммунальных и производственных потребителей на вводе 0,4 кВ потребителей в рамках данной работы.

Таблица 5 – Расчётные нагрузки коммунальных и производственных потребителей на 2022 год

Объект	Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	cosφ
скважина	20,0	10,0	22,4	0,89
коровник	10,0	8,0	12,8	0,78
телятник	8,0	5,0	9,4	0,85
водонап.башня, пилорама	20,0	10,0	22,4	0,89
зерносушилка	65,0	60,0	88,5	0,68
гараж	10,0	8,5	13,1	0,76
столярка	10,0	7,0	12,2	0,82
мастерская	10,0	7,0	12,2	0,82
Склад	20,0	12,0	23,3	0,86
зернохранилище	25,0	25,0	35,4	0,71
нефтебаза	10,0	5,0	11,2	0,89
котельная	18,0	13,0	22,2	0,89

Для случая нахождения прогнозируемой нагрузки скважины в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [1]:

$$P^{2032}_{\text{прогн}} = P^{2022}_p \cdot \left(1 + \frac{\Sigma}{100}\right)^n, \quad (7)$$

$$P^{2032}_{\text{прогн}} = 20 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right)^{10} = 24,4 \text{ кВт},$$

$$Q^{2032}_{\text{прогн}} = Q^{2022}_p \cdot \left(1 + \frac{\Sigma}{100}\right)^n; \quad (8)$$

$$Q^{2032}_{\text{прогн}} = 10 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right)^{10} = 12,2 \text{ кВАр},$$

В таблицу 6 в совокупности с исходными заносятся результирующие данные по проводимым расчётам прогнозируемых нагрузок на вводе 0,4 кВ коммунальных и производственных потребителей в рамках данной работы.

Таблица 6 – Расчётные нагрузки коммунальных и производственных потребителей

Объект	Pr, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	cosφ
скважина	24,4	12,2	27	0,89
коровник	12,2	9,8	16	0,78
телятник	6,1	3,7	12	0,85
водонап.башня, пилорама	24,4	12,2	27	0,89
зерносушилка	73,2	73,2	108	0,68
гараж	6,1	4,9	16	0,76
столярка	6,1	4,9	15	0,82
мастерская	6,1	4,9	15	0,82
Склад	1,2	1,2	28	0,86
зернохранилище	12,2	6,1	43	0,71
нефтебаза	12,2	6,1	14	0,89
котельная	22,0	15,9	27	0,89

2.3 Расчёт нагрузки уличного освещения

Для случая нахождения нагрузки уличного освещения для ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$P_{oc} = P_{oc,уд} \cdot l; \quad (9)$$

$$P_{oc} = 8 \cdot 0,45 = 3,6 \text{ кВт};$$

где $P_{oc,уд}$ – удельная мощность, для освещения проездов и дорог 8 кВт/км по [2].

l – длина проездов и дорог, км.

В таблицу 7 в совокупности с исходными заносятся результирующие данные по проводимым расчётам осветительных нагрузок на вводе 0,4 кВ ТП в рамках данной работы.

Таблица 7 – Нагрузка уличного освещения ТП села Загорная Селитьба

ТП	l , км	P_{oc} , кВт
ТП 6-79	0,45	3,6
ТП 6-77	1,83	14,6
ТП 6-59	0,37	2,9

ТП 6-76	1,44	11,5
ТП 6-62	0,87	7
ТП 6-75	0,39	3,1
ТП 6-50	0,39	3,1
ТП 6-51	0,69	5,5
ТП 6-05	0,12	0,96

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

Распределительные сети 0,4 кВ села Загорная Селитьба выполняются по нерезервированным магистральным схемам. Для тех участков сети, где по требованиям к бесперебойности электроснабжения потребителей применяется 2 категория предусматривается отдельный автономный источник питания (дизель генератор для больницы) или резервный ввод 0,4 кВ от ближайшей ТП 10/0,4 кВ.

Провод марки СИП-2А использован в качестве основного проводника для реконструкции сетей 0,4 кВ, полностью отвечающий требованиям по надёжности электроснабжения, высоким эксплуатационным свойствам, локализация изготовления 100%.

Для случая нахождения расчётной нагрузки ВЛ-0,4 №1 от ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$S_P = K_o \cdot S_i, \quad (10)$$

$$S_P = 0.38 \cdot 146,4 = 56 \text{ кВА},$$

где K_o - коэффициента одновременности, для подключенных потребителей одинаковой мощности, 0,38 [10].

В таблицу 8 в совокупности с характером нагрузки потребителей заносятся данные о результатах расчёта суммарных нагрузок ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 8 – Суммарные нагрузки в сетях 0,4 кВ села Загорная Селитьба

№	Характер нагрузки	Р _{сумм} , кВт	S _{сумм} , кВА	Ко
ТП 6-79	ф-1 - более 90% население	146,4	146	0,38
	ф-2 - более 90% население	29,28	29	0,73
ТП 6-77	ф-1 - более 70% население	217,16	219	0,29
	ф-2 - более 90% население	209,84	214	0,29
	ф-3 - более 90% население	168,36	168	0,29
	ф-4 - более 90% население	126,88	128	0,35
ТП 6-59	ф-1 - более 70% промышленность	58,56	70	0,8
	ф-2 - более 70% население	25,62	27	1
ТП 6-76	ф-1 - более 70% население	180,56	183	0,32
	ф-2 - более 70% население	195,2	197	0,29
	ф-3 - более 90% население	139,08	139	0,35
ТП 6-62	ф-1 - более 90% население	163,48	170	0,37
	ф-2 - более 70% население	102,48	109	0,43
ТП 6-75	ф-1 - более 70% население	74,42	77	0,43
	ф-2 - более 90% население	65,88	66	0,43
ТП 6-50	ф-1 - более 70% население	79,3	98	0,62
	ф-2 - более 90% промышленность	168,36	199	0,63
ТП 6-51	ф-1 - более 90% промышленность	201,3	250	0,725
	ф-2 - более 90% промышленность	36,6	47	0,8
	ф-3 - более 90% промышленность	85,4	105	0,725
ТП 6-05	ф-1 - более 90% промышленность	73,2	87	0,75

Для случая нахождения расчётного тока ВЛ-0,4 №1 от ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$I_{P_{МАКС}} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (11)$$

$$I_{P_{МАКС}} = \frac{56}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 80 \text{ А}.$$

Для случая выбора проводов ВЛ-0,4 №1 от ТП 6-79 по нагреву в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$I_{p \text{ макс}} \leq I_{\text{доп вл}}; \quad (12)$$

$$80 \text{ A} \leq 290 \text{ A};$$

где $I_{\text{доп вл}}$ - допустимый по нагреву ток провода СИП-2А 3х95+1х50 с алюминиевыми жилами и дополнительным проводом уличного освещения, при условии открытой прокладки 290 А, [2].

В таблицу 9 в совокупности с характером нагрузки потребителей заносятся данные о результатах расчёта токовых нагрузок ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 9 – Расчётные нагрузки в сетях 0,4 кВ

№	Потребители	Sp, кВА	Pp, кВт	Ip, А	F, мм ²
1	2	3	4	5	6
ТП 6-79	ф-1 - более 90% население	56	56	80	95
	ф-2 - более 90% население	21	21	31	16
ТП 6-77	ф-1 - более 70% население	63	63	91	150
	ф-2 - более 90% население	62	61	88	150
	ф-3 - более 90% население	49	49	71	120
	ф-4 - более 90% население	45	44	64	95

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6
ТП 6-59	ф-1 - более 70% промышленность	56	47	68	50
	ф-2 - более 70% население	27	26	37	25
ТП 6-76	ф-1 - более 70% население	58	58	83	150
	ф-2 - более 70% население	57	57	82	120
	ф-3 - более 90% население	49	49	70	150
ТП 6-62	ф-1 - более 90% население	63	60	87	150
	ф-2 - более 70% население	47	44	64	70
ТП 6-75	ф-1 - более 70% население	33	32	46	25
	ф-2 - более 90% население	28	28	41	35
ТП 6-50	ф-1 - более 70% население	61	49	71	16
	ф-2 - более 90% промышленность	125	106	153	150
ТП 6-51	ф-1 - более 90% промышленность	181	146	211	150
	ф-2 - более 90% промышленность	37	29	42	16
	ф-3 - более 90% промышленность	76	62	89	70
ТП 6-05	ф-1 - более 90% промышленность	65	55	79	25

Для случая нахождения потери напряжения по ВЛ-0,4 №1 от ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi), \quad (13)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 80 \cdot 1000 \cdot (0,32 \cdot 1 + 0,09 \cdot 0) = 13 \text{ В},$$

где $\cos \varphi$, $\sin \varphi$ – средний из числа потребителей по ВЛ-0,4 кВ коэффициент мощности;

l – длина линии, м;

I_p – расчетный ток в линии, А.

Для случая нахождения относительной потери напряжения по ВЛ-0,4 №1 от ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_H} \cdot 100\%; \quad (14)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{13}{380} \cdot 100\% = 3,5\% .$$

Для случая проверки на потерю напряжения ВЛ-0,4 №1 от ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [16]:

$$\Delta U < \Delta U_{дон}, \quad (15)$$

$$3,5\% < 10\% ,$$

где ΔU_{don} – нижняя граница допустимого медленного изменения напряжения по ГОСТ 32144-2013, 10%.

В таблицу 10 в совокупности с характером нагрузки потребителей заносятся данные о результатах проверки по потеренапряжения ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 10 – Проверка линий 0,4 кВ по потере напряжения

№	Потребители	I_p , А	L, км	cosφ	sinφ	Rл, Ом/км	Xл, Ом/км	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП 6-79	ф-1 - более 90% население	80	0,3	1,00	0,00	0,32	0,09	3,5
	ф-2 - более 90% население	31	0,15	1,00	0,00	1,91	0,1	4,0
ТП 6-77	ф-1 - более 70% население	91	0,48	0,99	0,11	0,206	0,09	4,3
	ф-2 - более 90% население	88	0,48	0,98	0,19	0,206	0,09	4,2
	ф-3 - более 90% население	71	0,42	1,00	0,00	0,253	0,09	3,4
	ф-4 - более 90% население	64	0,45	0,99	0,10	0,32	0,09	4,3
ТП 6-59	ф-1 - более 70% промышленность	68	0,18	0,83	0,55	0,64	0,09	3,2
	ф-2 - более 70% население	37	0,15	0,9	0,36	1,2	0,09	2,9
ТП 6-76	ф-1 - более 70% население	83	0,51	0,99	0,15	0,206	0,09	4,2
	ф-2 - более 70% население	82	0,42	0,99	0,12	0,253	0,09	4,1
	ф-3 - более 90% население	70	0,51	1,00	0,00	0,206	0,09	3,4
ТП 6-62	ф-1 - более 90% население	87	0,51	0,96	0,28	0,206	0,09	4,5
	ф-2 - более 70% население	64	0,36	0,94	0,34	0,44	0,09	4,6

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП 6-75	ф-1 - более 70% население	46	0,18	0,96	0,28	1,2	0,09	4,5
	ф-2 - более 90% население	41	0,21	1,00	0,00	0,87	0,09	3,4
ТП 6-50 -	ф-1 - более 70% население	71	0,09	0,81	0,58	1,91	0,1	4,7
	ф-2 - более 90% промышленность	153	0,3	0,85	0,53	0,206	0,09	4,7
ТП 6-51 -	ф-1 - более 90% промышленность	211	0,24	0,80	0,59	0,206	0,09	5,1
	ф-2 - более 90% промышленность	42	0,15	0,78	0,62	1,91	0,1	4,5
	ф-3 - более 90% промышленность	89	0,3	0,81	0,59	0,44	0,09	5,0
ТП 6-05 -	ф-1 - более 90% промышленность	79	0,12	0,84	0,54	1,2	0,09	4,6

2.5 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП

Для случая нахождения активной нагрузки на стороне 0,4 кВ ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$P_{P\text{ ТП}6-79} = P_{P_{\text{макс}}} + P_{P_{\text{доб1}}} + P_{P_{\text{ос}}} , \quad (16)$$

$$P_{P\text{ ТП}6-79} = 56 + 15,7 + 3,6 = 74,9 \text{ кВт},$$

где $P_{P_{\text{макс}}}$ - расчётная активная нагрузка ВЛ-0,4 №1 ТП 6-79;

$P_{P_{\text{доб1}}}$ - расчётная активная нагрузка ВЛ-0,4 №2 ТП 6-79;

$P_{P_{\text{ос}}}$ расчётная активная нагрузка ВЛ освещения ТП 6-79.

Для случая нахождения полной нагрузки на стороне 0,4 кВ ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$S_{P\text{ ТП}6-79} = \frac{P_{P\text{ ТП}6-79}}{\cos(\varphi)} ; \quad (17)$$

$$S_{P\text{ ТП}6-79} = \frac{74,9}{1} = 74,9 \text{ кВА},$$

где $\cos(\varphi)$ – средний из числа потребителей ТП 10/0,4 кВ коэффициент мощности.

В таблицу 11 в совокупности с наименованием ТП заносятся данные о результатах расчёта нагрузок на стороне 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 11 – Нагрузки ТП на стороне 0,4 кВ

№	Sp, кВА	Pp, кВт	Qp, кВар
ТП 6-79	74,9	74,9	0,0
ТП 6-77	199,3	197,8	24,3
ТП 6-59	71,3	62,9	33,5

ТП 6-76	153,6	152,7	17,0
ТП 6-62	103,8	98,4	32,8
ТП 6-75	57,5	56,3	11,4
ТП 6-50	163,7	135,7	91,5
ТП 6-51	251,9	201,2	151,6
ТП 6-05	60,7	55,9	23,8

2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов ТП

В соответствии с категорией по надёжности электроснабжения для потребителей третьей категории предусматривается установка одного трансформатора марки ТМ для всех ТП села Загорная Селитьба, наличие потребителей второй категории будет обеспечено резервом по стороне 0,4 кВ от ДЭС или от шин 0,4 кВ резервирующей ТП.

Для случая нахождения мощности силовых трансформаторов ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [2]:

$$S_{PT} = \frac{S_{ТП}}{n_T \cdot K_C}, \quad (18)$$

$$S_{PT} = \frac{74,9}{1 \cdot 0,8} = 94 \text{ кВА},$$

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

n_T - число трансформаторов;

K_C - коэффициент допустимой систематической нагрузки, принимаемый в зависимости от вида потребителей по [3], 0,8.

Для случая выбора мощности силовых трансформаторов ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [3]:

$$S_{номТ} \geq S_{PT}, \quad (19)$$

$$100 \text{ кВА} \geq 94 \text{ кВА},$$

где $S_{номТ}$ - номинальная мощность трансформатора ТМ-100/10, 100 кВА.

Для случая расчёта коэффициента загрузки в нормальном режиме силовых трансформаторов ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [3]:

$$K_{3 \text{ норм}} = \frac{S_P}{S_{НОМТР} \cdot N_{ТР}}, \quad (20)$$

$$K_{3 \text{ норм}} = \frac{74,9}{100} = 0,749,$$

Для случая проверки силовых трансформаторов ТП 6-79 по загрузке в нормальном режиме в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [3]:

$$K_{3 \text{ норм}} \geq K_{3 \text{ норм мин}}, \quad (21)$$

$$0,749 \geq 0,5.$$

Для случая расчёта коэффициента загрузки в послеаварийном режиме силовых трансформаторов ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [3]:

$$K_{3 \text{ на}} = \frac{S_P}{S_{НОМТР} \cdot (N_{ТР} - 1)}, \quad (22)$$

$$K_{3na} = \frac{74,9}{100} = 0,749.$$

Для случая проверки силовых трансформаторов ТП 6-79 по загрузке в послеаварийном режиме в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [3]:

$$K_{3n/a} \leq K_{3n/a \text{ макс}}, \quad (23)$$

$$0,749 \leq 0,87.$$

В таблицу 12 в совокупности с наименованием ТП заносятся данные о результатах выбора мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 12 – Выбор трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Загорная Селитьба

№ ТП	ТП 6-79	ТП 6-77	ТП 6-59	ТП 6-76	ТП 6-62	ТП 6-75	ТП 6-50	ТП 6-51	ТП 6-05
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sp, кВА	74,9	199,3	71,3	153,6	103,8	57,5	163,7	251,9	60,7
Pp, кВт	74,9	197,8	62,9	152,7	98,4	56,3	135,7	201,2	55,9
Qp, кВАр	0,0	24,3	33,5	17,0	32,8	11,4	91,5	151,6	23,8

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nтр	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Коэффициент допустимой систематической нагрузки Kс	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Предполагаемая мощность трансформатора(ов) ТП, кВА	93,7	249,1	89,1	192,1	129,7	71,8	204,6	314,9	75,9
Номинальная мощность трансформатора(ов) ТП, кВА	100	250	100	250	160	100	250	400	100

В таблицу 13 в совокупности с наименованием ТП заносятся данные о результатах проверки мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 13 – Проверка трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Загорная Селитьба

№ ТП	Фактический коэффициент загрузки K_z	Коэффициент допустимой аварийной перегрузки K_a
ТП 6-79	0,75	0,87
ТП 6-77	0,80	0,87
ТП 6-59	0,71	0,87
ТП 6-76	0,61	0,87
ТП 6-62	0,65	0,87
ТП 6-75	0,57	0,87
ТП 6-50	0,65	0,87
ТП 6-51	0,63	0,87
ТП 6-05	0,61	0,87

3 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В СЕТИ 10 кВ

3.1 Определение потерь мощности в трансформаторах ТП

Для случая расчёта полных активных потерь мощности в силовых трансформаторах ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_z^2 \cdot \Delta P_K, \quad (24)$$

$$\Delta P_T = 0,37 + 0,75^2 \cdot 1,97 = 1,5 \text{ кВт},$$

где ΔP_X - активные потери холостого хода ТМ-100/10;

ΔP_K - активные потери короткого замыкания ТМ-100/10.

Для случая расчёта реактивных потерь мощности холостого хода в силовых трансформаторах ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \quad (25)$$

$$\Delta Q_X = 100 \cdot \frac{2,6}{100} = 2,6 \text{ кВАр},$$

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора ТМ-100/10;

I_x - ток холостого хода ТМ-100/10.

Для случая расчёта реактивных потерь мощности короткого замыкания в силовых трансформаторах ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_K}{100}, \quad (26)$$

$$\Delta Q_K = 100 \cdot \frac{4,6}{100} = 4,6 \text{ кВАр},$$

где U_K - напряжение короткого замыкания ТМ-100/10.

Для случая расчёта полных реактивных потерь мощности в силовых трансформаторах ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ

использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (27)$$

$$\Delta Q_T = 2,6 + 0,749^2 \cdot 4,6 = 5,2 \text{ кВАр.}$$

В таблицу 14 в совокупности с наименованием ТП заносятся данные о результатах расчёта потерь мощности в трансформаторах ТП 10/0,4 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 14 – Потери мощности в трансформаторах ТП

№ ТП	Кз	ΔP_X , кВт	ΔP_K , кВт	U_K , %	I_X , %	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВт
ТП 6-79	0,75	0,37	1,97	4,6	2,6	1,5	5,2
ТП 6-77	0,80	0,82	3,7	4,5	2,3	3,2	12,9
ТП 6-59	0,71	0,37	1,97	4,6	2,6	1,4	4,9
ТП 6-76	0,61	0,82	3,7	4,5	2,3	2,2	10,0
ТП 6-62	0,65	0,56	2,65	4,5	2,4	1,7	6,9
ТП 6-75	0,57	0,37	1,97	4,6	2,6	1,0	4,1
ТП 6-50	0,65	0,82	3,7	4,5	2,3	2,4	10,6
ТП 6-51	0,63	1,05	5,5	4,5	2,1	3,2	15,5
ТП 6-05	0,61	0,37	1,97	4,6	2,6	1,1	4,3

3.2 Приведенная нагрузка к стороне 10 кВ ТП

Для случая расчёта нагрузки ВН ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$S_{10кВТП} = \sqrt{(P_{ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + \Delta Q_{ТП})^2} \quad (28)$$

$$S_{10кВТП} = \sqrt{(74,9 + 1,5)^2 + (0 + 5,2)^2} = 77 \text{ кВА.}$$

В таблицу 15 в совокупности с наименованием ТП заносятся данные о результатах расчёта нагрузки ВН ТП 10/0,4 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 15 - Нагрузка ТП на стороне 10 кВ ТП

№ ТП	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВт	$P_{ВН}$, кВт	$Q_{ВН}$, кВАр	$S_{ВН}$, кВА
ТП 6-79	1,5	5,2	76	5	77
ТП 6-77	3,2	12,9	201	37	204
ТП 6-59	1,4	4,9	64	38	75
ТП 6-76	2,2	10,0	155	27	157
ТП 6-62	1,7	6,9	100	40	108
ТП 6-75	1,0	4,1	57	15	59
ТП 6-50	2,4	10,6	138	102	172
ТП 6-51	3,2	15,5	204	167	264
ТП 6-05	1,1	4,3	57	28	64

3.3 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ

Принимается во внимание географическое расположение села относительно центра питания ПС Загорное и фактическое расположение ТП 10/0,4 на плне села. Используются для сравнения 2 варианта схемы соединения ТП по петлевой схеме, плечи петли секционируются разъединителем 10 кВ

Провода марки А и АС ВЛ 10 кВ заменяются на провод СИП-3. Подробнее варианты сети представлены на листе 2 графической части работы.

Для случая нахождения расчётной нагрузки ВЛ-10, к которой подключены 3 ТП (ТП 79 - ТП 77 – ТП 59 по варианту 1) в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$P_P = K_o \cdot P_i, \quad (29)$$

$$P_P = 0.9 \cdot 342 = 307 \text{ кВт},$$

$$Q_P = K_o \cdot Q_i, \quad (30)$$

$$Q_P = 0.9 \cdot 81 = 73 \text{ квар},$$

$$S_P = \sqrt{P^2_P + Q^2_P}, \quad (31)$$

$$S_P = \sqrt{307^2 + 73^2} = 316 \text{ кВА},$$

где K_o - коэффициента одновременности, для подключенных ТП к ВЛ-10 кВ, 0,9 [6].

Для случая нахождения расчётного тока ВЛ-10, к которой подключены 3 ТП (ТП 79 - ТП 77 – ТП 59 по варианту 1) в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (32)$$

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{318}{\sqrt{3} \cdot 10} = 18 \text{ А}.$$

Для случая выбора проводов ВЛ-10, к которой подключены 3 ТП (ТП 79 - ТП 77 – ТП 59 по варианту 1) по нагреву в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$I_{P_{\text{макс}}} \leq I_{\text{доп вл}}; \quad (33)$$

$$18 \text{ A} \leq 200 \text{ A};$$

где $I_{\text{доп вл}}$ - допустимый по нагреву ток провода СИП-3 3x35 с алюминиевыми жилами, при условии открытой прокладки 200 А, [6].

Для случая нахождения потери напряжения по ВЛ-10, к которой подключены 3 ТП (ТП 79 - ТП 77 – ТП 59 по варианту 1) в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi), \quad (34)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 18 \cdot 5,2 \cdot (0,986 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,8) = 0,16 \text{ кВ},$$

где $\cos \varphi$, $\sin \varphi$ – средний из числа потребителей по ВЛ-10 кВ коэффициент мощности;

l – длина участка ВЛ-10 кВ, км;

I_p – расчетный ток в линии, А.

Для случая нахождения относительной потери напряжения по ВЛ-10, к которой подключены 3 ТП (ТП 79 - ТП 77 – ТП 59 по варианту 1) в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{\text{н}}} \cdot 100\% ;$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{0,16}{10} \cdot 100\% = 1,6\% .$$

Для случая проверки на потерю напряжения ВЛ-10, к которой подключены 3 ТП (ТП 79 - ТП 77 – ТП 59 по варианту 1) в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [6]:

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}},$$

$$1,6\% < 10\%,$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – нижняя граница допустимого медленного изменения напряжения по ГОСТ 32144-2013, 10%.

В таблицу 16 в совокупности с наименованием ВЛ-10 кВ заносятся данные о результатах расчёта нагрузки по варианту сети 10 кВ №1 села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 16 – Параметры сети 10 кВ по варианту 1

Линия	ТП 62	ТП 79-77-59	ТП 05-75-50-76-51
Суммарная нагрузка, кВА	108	351	700
Ко	1	0,9	0,8
Расчётная нагрузка, кВА	108	316	560
Расчётный ток, А	6	18	32
Сечение СИП-3, мм ²	35	35	35
Допустимый ток нагрузки, А	200	200	200
Длина, км	2	5,2	6,5
cosφ	0,9	0,9	0,9
R, Ом/км	0,986	0,986	0,986
ΔU, % (ΔU _{доп} =10%)	0,2	1,6	3,3

В таблицу 17 в совокупности с наименованием ВЛ-10 кВ заносятся данные о результатах расчёта нагрузки по варианту сети 10 кВ №2 села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 17 – Параметры сети 10 кВ по варианту 2

Линия	ТП 05-62-79	ТП 77-59-51	ТП 75-50-76
Суммарная нагрузка, кВА	245	529	379
Ко	0,9	0,9	0,9
Расчётная нагрузка, кВА	220	476	341
Расчётный ток, А	13	28	20
Сечение СИП-3, кв. мм	35	35	35
Допустимый ток нагрузки, А	200	200	200
Длина, км	3,6	5,6	5
cosφ	0,9	0,9	0,9
R, Ом/км	0,986	0,986	0,986
ΔU, % (ΔU _{доп} =10%)	0,8	2,5	1,6

Для случая нахождения потери электроэнергии по ВЛ-10, к которой подключены 3 ТП (ТП 79 - ТП 77 – ТП 59 по варианту 1) в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$\Delta W_{Л} = \frac{(P_{Л})^2 + (Q_{Л})^2}{U_{ном}^2} \cdot r_{уд} \cdot L \cdot T, \quad (35)$$

$$\Delta W_{Л} = \frac{(0,307)^2 + (0,073)^2}{10^2} \cdot 0,986 \cdot 5,2 \cdot 8760 = 44842 \text{ кВтч},$$

где $P_{Л}$ – потоки активной мощности по линии, МВт;

$Q_{Л}$ – потоки реактивной мощности по линии, МВАр;

$r_{уд}$ – удельное активное сопротивление проводов СИП-3-35, 0,986 Ом;

L – длина участка ВЛ-10 кВ, км;

T – число часов.

Для случая нахождения приведенных затрат варианта 1 сети 10 кВ в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [5]:

$$З = E_H \cdot (K_{ВЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{ВЛ} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot (\Delta W_{ВЛ}) \cdot 10^{-3}, \quad (36)$$

$$З = 0,1 \cdot (378 + 1247) + (0,005 \cdot 1247 + 0,059 \cdot 378) + 1,6 \cdot 222796 / 1000 = 970 \text{ тыс.руб.}$$

где E_H - норматив дисконтирования, 10%;

$K_{ВЛ}$ и $K_{ВЫКЛ}$ - стоимость ВЛ и выключателей соответственно, [5];

C_0 – удельная стоимость потерь электроэнергии, 1.6 руб/кВт·ч [32];

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.

В таблицу 18 в совокупности с наименованием варианта сети 10 кВ заносятся данные о результатах расчёта приведенных затрат в сети 10 кВ села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 18 – Сравнение вариантов сети 10 кВ

Вар	$N_{выкл}$, шт	$C_{выкл}$, тыс руб	$K_{выкл}$, тыс руб	L, км	$C_{СИП}$	$K_{линии}$, тыс руб	$I_{экс}$, тыс руб	$I_{экс\ выкл}$, тыс руб	$I_{ам}$, тыс руб	П, кВт·ч	$C_{п}$ руб/кВ т·ч	$I_{п}$, тыс руб	З, тыс руб
1	3	126	378	13,7	91	1247	6	22	81	222796	1,6	350	970
2	3	126	378	14,2	91	1292	6	22	84	174831	1,6	274	910

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

В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что вариант 2 дешевле. Проверим выбранный вариант по потери напряжения в аварийном режиме.

В таблицу 19 в совокупности с наименованием ВЛ-10 кВ заносятся данные о результатах расчёта нагрузки послеаварийного режима по варианту сети 10 кВ №2 села Загорная Селитьба в рамках данной работы.

Таблица 19 – Параметры линий 10 кВ принятого варианта

Линия	аварийный обрыв головного участка
Суммарная нагрузка, кВА	876
K_0	0,8
Расчётная нагрузка, кВА	701
Расчётный ток, А	41
Сечение СИП-3, кв. мм	200
Допустимый ток нагрузки, А	35
Длина, км	9
$\cos\phi$	0,9
Сопротивление токопроводящих жил, Ом/км	0,986
Потеря напряжения, %	6,0*

* - предельно допустимая потеря напряжения 10 %

3.4 Расчёт электрических нагрузок на шинах ПС «Загорная»

Для случая нахождения расчётной нагрузки подключаемой к шинам НН ПС «Загорная» в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [14]:

$$P_P = K_o \cdot P_i, \quad (37)$$

$$P_P = 0.8 \cdot 820 = 656 \text{ кВт},$$

$$Q_P = K_o \cdot Q_i, \quad (38)$$

$$Q_P = 0.8 \cdot 309 = 247 \text{ квар},$$

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}, \quad (39)$$

$$S_P = \sqrt{656^2 + 247^2} = 701 \text{ кВА},$$

где K_o - коэффициента одновременности, для подключенных ТП к ПС «Загорная», 0,8 [14].

Для случая нахождения расчётного тока нагрузки, подключаемой к шинам НН ПС «Загорная» в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [14]:

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (40)$$

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{701}{\sqrt{3} \cdot 10} = 41 \text{ A} .$$

4 ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

4.1 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.

В общем виде схема замещения сети 10 кВ для расчёта токов КЗ показана на рисунке 3.

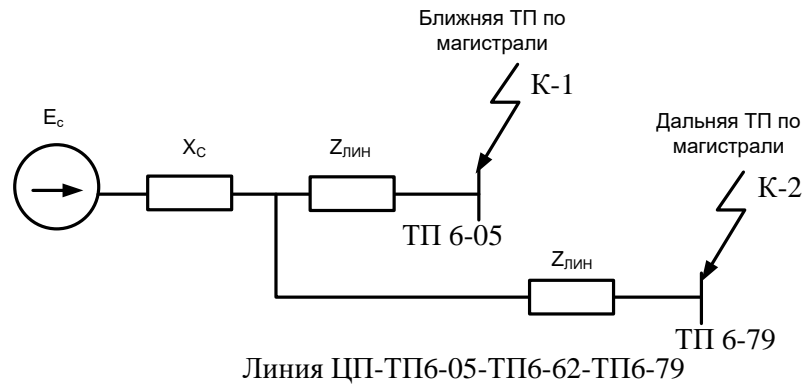


Рисунок 3 - Схема замещения сети 10 кВ

Для случая нахождения сопротивления системы 10 кВ относительно шин НН ПС «Загорная» в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$x_c = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{Kc}^{(3)}}, \quad (41)$$

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

где U_H - напряжение системы, 10,5 кВ;

$I_{Kc}^{(3)}$ - предельное значение тока КЗ на шинах НН ПС «Загорная», отключаемое выключателем, 12,5 кА.

Для случая нахождения сопротивления участка ВЛ 10 кВ до ТП6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$R_{ЛПП6-79} = r_{уд} \cdot L, \quad (42)$$

$$R_{ЛПП6-79} = 0,986 \cdot 3,6 = 3,55 \text{ Ом},$$

$$X_{ЛПП6-79} = x_{уд} \cdot L, \quad (43)$$

$$X_{ЛПП6-79} = 0,01 \cdot 3,6 = 0,036 \text{ Ом}$$

В таблицу 20 в совокупности с наименованием ВЛ-10 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам сопротивлений участков сети 10 кВ в рамках данной работы.

Таблица 20 – Сопротивления участков сети 10 кВ

Участок ВЛ-10 кВ	Длина, км	R _{экв} , Ом	Z _{экв} , Ом
6-05 ближняя	0,50	0,49	0,73
6-79 дальняя	3,60	3,55	3,65
6-77 ближняя	2,90	2,86	2,96
6-51 дальняя	5,60	5,52	5,62
6-75 ближняя	1,80	1,77	1,89
6-76 дальняя	5,00	4,93	5,03

Для случая нахождения периодической составляющей тока трехфазного КЗ на ТП6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$I_{ноТП6-79} = \frac{U_{СРНН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K}^2 + X_{\Sigma K}^2}}, \quad (44)$$

$$I_{ноТП6-79} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,55^2 + (0,485 + 0,036)^2}} = 1,58 \text{ кА}.$$

Для случая нахождения тока двухфазного КЗ на ТП6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$I_{noTП6-79}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{noTП6-79}^{(3)}, \quad (45)$$

$$I_{noTП6-79}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,58 = 1,38 \text{ кА.}$$

Для случая нахождения постоянной затухания аperiodической составляющей тока КЗ на ТП6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$T_{TП6-79} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (46)$$

$$T_{TП6-79} = \frac{0,485 + 0,036}{3,55 \cdot 314} = 0,001 \text{ с.}$$

Для случая нахождения коэффициента затухания тока КЗ на ТП6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$K_{y\partial TП6-79} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{TП6-79}}}, \quad (47)$$

$$K_{y\partial TП6-79} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,001}} = 1.$$

Для случая нахождения ударного тока КЗ на ТП6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$i_{удТП6-79} = K_{удТП6-79} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ноТП6-79}, \quad (48)$$

$$i_{удТП6-79} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,58 = 2,2 \text{ кА}$$

В таблицу 21 в совокупности с наименованием ВЛ-10 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам токов КЗ в сети 10 кВ в рамках данной работы.

Таблица 21 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

Участок ВЛ-10 кВ	$I_{по}^{(3)}$, кА	$I_{по}^{(2)}$, кА	T, с	Куд	Iуд, кА
6-05 ближняя	7,95	6,92	0,003	1,04	11,7
6-79 дальняя	1,58	1,38	0,001	1,00	2,2
6-77 ближняя	1,95	1,70	0,001	1,00	2,8
6-51 дальняя	1,03	0,90	0,001	1,00	1,5
6-75 ближняя	3,05	2,65	0,001	1,00	4,3
6-76 дальняя	1,15	1,00	0,001	1,00	1,6

4.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ

Для сети 0,4 кВ точный расчёт токов КЗ на ВРУ0,4 кВ каждого потребителя представляется сложной задачей, требующей существенного объёма исходных данных, чаще всего необходимость в сложных вычислениях отсутствует из-за особенностей работы головных защитных аппаратов в сетях 0,4 кВ.

Расчёт токов КЗ в сети 0,4 кВ ведём в именованных единицах в соответствии с рисунком 4, принимая за расчётные точки электрически ближайшие и удалённые ЭП сети 0,4 кВ для ТП.

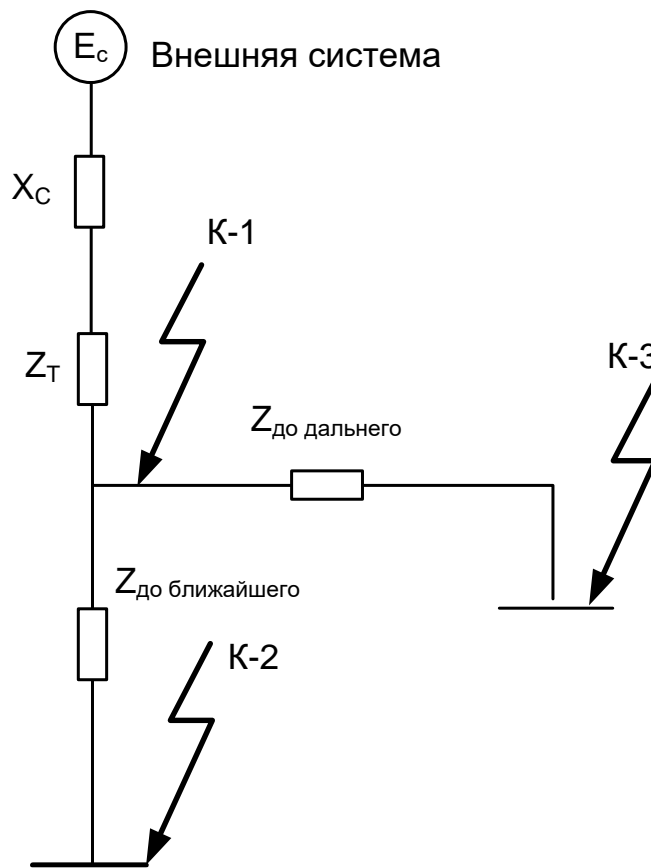


Рисунок 4- Схема замещения сети 0,4 кВ

Для случая нахождения сопротивления системы 0,4 кВ относительно шин НН ТП6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$x_c = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot I_{Kc}^{(3)}}, \quad (49)$$

$$x_c = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 1,58} = 0,0146 \text{ Ом},$$

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

Для случая нахождения сопротивлений участков линий 0,4 кВ до ближнего и дальнего потребителя от шин 0,4 кВ ТП6-79 в рамках проводимых

расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$X_{Л\text{ дальний}} = x_{уд} \cdot L, \quad (50)$$

$$R_{Л\text{ дальний}} = r_{уд} \cdot L, \quad (51)$$

$$X_{Л\text{ ближний}} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом},$$

$$R_{Л\text{ ближний}} = 1,91 \cdot 0,09 = 0,172 \text{ Ом},$$

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

L – длина участка, км.

Сопротивление трансформатора ТМ-100: $R_T = 0,0363$, $X_T = 0,076$ Ом.

Для случая нахождения тока трехфазного КЗ в сети 0,4 кВ рамках проводимых расчётов использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$I_{ПО\text{ К-1}} = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T)^2 + (X_T + x_C)^2}}, \quad (52)$$

$$I_{ПО\text{ К-1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0363)^2 + (0,076 + 0,0146)^2}} = 2,37 \text{ кА},$$

$$I_{ПО\text{ К-2}} = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T + R_{Л\text{ ближний}})^2 + (X_T + x_C + X_{Л\text{ ближний}})^2}}, \quad (53)$$

$$I_{\text{ПО К-2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0363+0,172)^2 + (0,076+0,0146+0,009)^2}} = 0,9 \text{ кА},$$

$$I_{\text{ПО К-3}} = \frac{U_{\text{НН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T + R_{\text{Л дальний}})^2 + (X_T + x_C + X_{\text{Л дальний}})^2}}, \quad (54)$$

$$I_{\text{ПО К-3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0363+0,096)^2 + (0,076+0,0146+0,027)^2}} = 1,2 \text{ кА}.$$

Для случая нахождения постоянной затухания апериодической составляющей тока КЗ в сети 0,4 кВ рамках проводимых расчётов использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$T_{\text{К-1}} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (55)$$

$$T_{\text{К-1}} = \frac{(0,076+0,0146)}{0,0363 \cdot 314} = 0,007 \text{ с},$$

$$T_{\text{К-2}} = \frac{(0,076+0,0146+0,009)}{(0,0166+0,044) \cdot 314} = 0,001 \text{ с},$$

$$T_{\text{К-3}} = \frac{(0,076+0,0146+0,027)}{(0,0363+0,096) \cdot 314} = 0,0001 \text{ с}.$$

Для случая нахождения коэффициента затухания апериодической составляющей тока КЗ в сети 0,4 кВ рамках проводимых расчётов использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$K_{y\partial K-1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{K-1}}}, \quad (56)$$

$$K_{y\partial K-1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,007}} = 1,24,$$

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

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

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

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

Для случая нахождения ударного тока КЗ в сети 0,4 кВ рамках проводимых расчётов использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$i_{y\partial K-1} = K_{y\partial K-1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ПОК-1}, \quad (57)$$

$$i_{y\partial K-1} = 1,24 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,37 = 4,65 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial K-2} = K_{y\partial K-2} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ПОК-2}$$

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

$$i_{y\partial K-3} = K_{y\partial K-3} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ПОК-3}$$

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

Для случая нахождения тока однофазного КЗ в сети 0,4 кВ рамках проводимых расчётов использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$I_{\text{ПО } K-1}^{(1)} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (58)$$

$$I_{\text{ПО } K-1}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0363 \cdot 3)^2 + (0,076 \cdot 3)^2}} = 0,92 \text{ кА}$$

$$I_{\text{ПО } K-2}^{(1)} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2 + Z_{\text{шиныТТ}}^2}}, \quad (59)$$

$$I_{\text{ПО } K-2}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(4 \cdot 0,096)^2 + (10 \cdot 0,027)^2 + 0,097}} = 0,29 \text{ кА,}$$

$$I_{\text{ПО } K-3}^{(1)} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (60)$$

$$I_{\text{ПО } K-3}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(4 \cdot 0,173)^2 + (10 \cdot 0,009)^2 + 0,097}} = 0,41 \text{ кА,}$$

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].

В таблицу 22 в совокупности с наименованием ВЛ-0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам сопротивлений участков сети 0,4 кВ в рамках данной работы.

Таблица 22 – Результаты сопротивлений в сети 0,4 кВ

ТП	Длина, км	Rл, Ом	Xл, Ом	Rт, Ом	Xт, Ом	Xс, Ом	Z _{экв} , Ом
6-05 ближняя				36,3	76	2,9	86,86
дальний ЭП	0,12	144,0	10,8	36,3	76	2,9	231,3
ближний ЭП	0,03	36,0	2,7	36,3	76	2,9	123
6-79 дальняя				36,3	76	14,6	97,59
дальний ЭП	0,3	96,0	27,0	36,3	76	14,6	197,32
ближний ЭП	0,09	171,9	9,0	36,3	76	14,6	269,73
6-77 ближняя				9,4	38,2	11,8	50,92
дальний ЭП	0,48	98,9	43,2	9,4	38,2	11,8	158,83
ближний ЭП	0,06	12,4	5,4	9,4	38,2	11,8	64,41
6-51 дальняя				5,9	28,1	22,5	50,92
дальний ЭП	0,024	49,4	21,6	5,9	28,1	22,5	104,9
ближний ЭП	0,09	57,6	8,1	5,9	28,1	22,5	109,1
6-75 ближняя				36,3	76	7,6	91,12
дальний ЭП	0,18	182,7	18,9	36,3	76	7,6	274,8
ближний ЭП	0,09	72,0	5,4	36,3	76	7,6	163,32
6-76 дальняя				9,4	38,2	20,1	59,06
дальний ЭП	0,51	105,1	45,9	9,4	38,2	20,1	173,71
ближний ЭП	0,06	15,2	5,4	9,4	38,2	20,1	75,17

В таблицу 23 в совокупности с наименованием ВЛ-0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам токов КЗ в сети 0,4 кВ в рамках данной работы.

Таблица 23 – Результаты токов КЗ в сети 0,4 кВ

Подстанция	I ⁽³⁾ _{по} , кА	I ⁽¹⁾ _{по} , кА	T, с	Kуд	Iуд, кА
1	2	3	4	5	6
6-05 ближняя	2,66	0,92	0,007	1,24	4,653
дальний ЭП	1,0	0,34	0,000	1,0	1,4
ближний ЭП	1,9	0,99	0,000	1,0	2,7
6-79 дальняя	2,37	0,92	0,008	1,28	4,303
дальний ЭП	1,2	0,41	0,001	1,0	1,7
ближний ЭП	0,9	0,29	0,000	1,0	1,2

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6
6-77 ближняя	4,54	1,96	0,017	1,55	9,982
дальний ЭП	1,5	0,36	0,001	1,0	2,1
ближний ЭП	3,6	2,76	0,001	1,0	5,1
6-51 дальняя	4,54	2,68	0,027	1,69	10,874
дальний ЭП	2,2	0,80	0,001	1,0	3,1
ближний ЭП	2,1	0,78	0,000	1,0	3,0
6-75 ближняя	2,54	0,92	0,007	1,26	4,506
дальний ЭП	0,8	0,27	0,000	1,0	1,2
ближний ЭП	1,4	0,60	0,000	1,0	2,0
6-76 дальняя	3,92	1,96	0,020	1,60	8,874
дальний ЭП	1,3	0,34	0,001	1,0	1,9
ближний ЭП	3,1	1,65	0,001	1,0	4,4

5 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

5.1 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

Для случая нахождения расчётного тока на стороне НН ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$I_{P_{ABT}} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (61)$$

$$I_{P_{ABT}} = \frac{74,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 108 \text{ A}.$$

Для случая выбора вводных автоматических выключателей по расчётному току для ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [7]:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_{P_{ABT}}, \quad (62)$$

$$160 \text{ A} \geq 108 \text{ A},$$

где $I_{P_{ABT}}$ – максимальный рабочий ток по величине расчётной нагрузки на стороне НН ТП 6-79, А;

$I_{\text{ном. расц}}$ – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя АЕ-2063, 160 А.

В таблицу 24 в совокупности с наименованием ТП 10/0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам при выборе автоматических выключателей вводов ТП в сети 0,4 кВ в рамках данной работы.

Таблица 24 - Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ на вводе ТП

№ ТП	$I_{P \text{ АВТ}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	Марка выключателя
ТП 6-79	108	160	АЕ-2063
ТП 6-77	288	400	ВА 04-36
ТП 6-59	103	160	АЕ-2063
ТП 6-76	222	250	АЕ-2063
ТП 6-62	150	160	АЕ-2063
ТП 6-75	83	100	АЕ-2053
ТП 6-50	236	250	АЕ-2063
ТП 6-51	364	400	ВА 04-36
ТП 6-05	88	100	АЕ-2053

Для случая проверки вводных автоматических выключателей по отключению пиковых токов для ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использованы следующие формулы, которые допускаются к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{\text{сррасц}} = 4 \cdot I_{\text{ном расц}} ; \quad (63)$$

$$I_{\text{сррасц}} = 4 \cdot 160 = 640 \text{ А};$$

$$I_{\text{пик}} = 1,5 \cdot I_p , \quad (64)$$

$$I_{\text{пик}} = 1,5 \cdot 108 = 162 \text{ А};$$

$$I_{\text{сррасц}} \geq I_{\text{пик}} , \quad (65)$$

$$640 \text{ А} \geq 162 \text{ А}.$$

Для случая проверки вводных автоматических выключателей по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{отк} \geq I_{по}^{(3)}; \quad (66)$$

$$10 \text{ кА} \geq 2,34 \text{ кА}.$$

Для случая проверки вводных автоматических выключателей по чувствительности к токам КЗ для ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{по}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{ср \text{ расц}}; \quad (67)$$

$$915 \text{ А} \geq 1,25 \cdot 640 = 800 \text{ А}.$$

В таблицу 25 в совокупности с наименованием ТП 10/0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам при проверке автоматических выключателей вводов ТП в сети 0,4 кВ в рамках данной работы.

Таблица 25 - 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	
	$I_{ср \text{ расц}}, \text{ А}$	$1,5 \cdot I_{пик}, \text{ А}$	$I_{по}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{отк}, \text{ кА}$	$I_{по}^{(1)}, \text{ А}$	$1,25 \cdot I_{ср \text{ расц}}, \text{ А}$
6-05 ближняя	600	131	2,66	10	915	750
6-79 дальняя	640	162	2,37	10	915	800
6-77 ближняя	800	431	4,54	10	1959	1000
6-51 дальняя	1600	545	4,54	10	2684	2000
6-75 ближняя	600	124	2,54	10	915	750
6-76 дальняя	1500	332	3,92	10	1959	1875

Для случая выбора линейных автоматических выключателей по расчетному току для ВЛ-1 ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_{\text{р АВТ}}, \quad (68)$$

$$100 \text{ А} \geq 80 \text{ А},$$

где $I_{\text{ном. расц}}$ – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя АЕ-2063, 100 А.

В таблицу 26 в совокупности с наименованием ТП 10/0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам при выборе линейных автоматических выключателей ТП в сети 0,4 кВ в рамках данной работы.

Таблица 26 – Выбор линейных автоматических выключателей 0,4 кВ

Подстанция	$I_{\text{р АВТ}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	Марка выключателя
ТП 6-79			
ф-1	80	100	АЕ-2053
ф-2	31	40	АЕ-2043
ТП 6-77			
ф-1	91	160	АЕ-2063
ф-2	88	160	АЕ-2063
ф-3	71	100	АЕ-2053
ф-4	64	80	АЕ-2053
ТП 6-59			
ф-1	68	80	АЕ-2053
ф-2	37	40	АЕ-2043
ТП 6-76			
ф-1	83	100	АЕ-2053
ф-2	82	100	АЕ-2053
ф-3	70	100	АЕ-2053
ТП 6-62			
ф-1	87	100	АЕ-2053
ф-2	64	80	АЕ-2053
ТП 6-75			
ф-1	46	63	АЕ-2053
ф-2	41	63	АЕ-2053
ТП 6-50			
ф-1	71	100	АЕ-2053
ф-2	153	160	АЕ-2063
ТП 6-51			
ф-1	211	250	АЕ-2063
ф-2	42	50	АЕ-2043
ф-3	89	100	АЕ-2053
ТП 6-05			
ф-1	79	100	АЕ-2053

Для случая проверки линейных автоматических выключателей по отключению пиковых токов для ВЛ-1 ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использованы следующие формулы, которые допускаются к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{сррасц} = 4 \cdot I_{ном расц} ;$$

$$I_{сррасц} = 2 \cdot 100 = 200 \text{ А};$$

$$I_{тик} = 1,5 \cdot I_p ,$$

$$I_{тик} = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ А};$$

$$I_{сррасц} \geq I_{тик} ,$$

$$200 \text{ А} \geq 150 \text{ А}.$$

Для случая проверки линейных автоматических выключателей по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ВЛ-1 ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{отк} \geq I_{по}^{(3)};$$

$$5 \text{ кА} \geq 1,2 \text{ кА}.$$

Для случая проверки линейных автоматических выключателей по чувствительности к токам КЗ для ВЛ-1 ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов

сети 0,4 кВ используется следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{\text{по}}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ср расц}};$$

$$408 \text{ A} \geq 1,25 \cdot 200 = 250 \text{ A}.$$

В таблицу 27 в совокупности с наименованием ТП 10/0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам при проверке линейных автоматических выключателей ТП в сети 0,4 кВ в рамках данной работы.

Таблица 27 - Проверка линейных автоматических выключателей 0,4 кВ

Подстанция	По отстройке от пиковых токов		По разрушающему действию трёхфазных токов КЗ		По чувствительности к токам КЗ	
	$I_{\text{ср расц}}, \text{ A}$	$1,5 \cdot I_{\text{пик}}, \text{ A}$	$I_{\text{по}}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{\text{отк}}, \text{ кА}$	$I_{\text{по}}^{(1)}, \text{ A}$	$1,25 \cdot I_{\text{ср расц}}, \text{ A}$
6-79 дальняя						
дальний ЭП	200	150	1,2	5	408	250
ближний ЭП	160	60	0,9	5	292	200
6-05 ближняя						
дальний ЭП	200	150	1	5	344	250
ближний ЭП	600	150	1,9	5	991	750
6-77 ближняя						
дальний ЭП	160	240	1,5	5	363	200
ближний ЭП	1280	240	3,6	5	2761	1600
6-51 дальняя						
дальний ЭП	500	375	2,2	5	805	625
ближний ЭП	600	150	2,1	5	783	750
6-75 ближняя						
дальний ЭП	126	95	0,8	5	273	158
ближний ЭП	378	95	1,4	5	602	473
6-76 дальняя						
дальний ЭП	200	150	1,3	5	339	250
ближний ЭП	1000	150	3,1	5	1648	1250

5.2 Выбор рубильников 0,4 кВ

Для случая выбора вводных рубильников по расчетному току для ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ используется следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{\text{ном. руб}} \geq I_{\text{р АВТ}}, \quad (69)$$

$$160 \text{ А} \geq 108 \text{ А},$$

где $I_{\text{ном. расц}}$ – номинальный ток рубильника ВР-32, 160 А.

В таблицу 28 в совокупности с наименованием ТП 10/0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам при выборе рубильников вводов ТП в сети 0,4 кВ в рамках данной работы.

Таблица 28 - Выбор рубильников 0,4 кВ на вводе ТП

№ ТП	$I_{\text{р АВТ}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	Марка выключателя
ТП 6-79	108	160	ВР-32
ТП 6-77	288	400	ВР-32
ТП 6-59	103	160	ВР-32
ТП 6-76	222	250	ВР-32
ТП 6-62	150	160	ВР-32
ТП 6-75	83	100	ВР-32
ТП 6-50	236	250	ВР-32
ТП 6-51	364	400	ВР-32
ТП 6-05	88	100	ВР-32

Для случая проверки вводных рубильников по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 0,4 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [9]:

$$I_{\text{отк}} \geq I^{(3)}_{\text{по}}; \quad (70)$$

$$10 \text{ кА} \geq 2,34 \text{ кА}.$$

В таблицу 29 в совокупности с наименованием ТП 10/0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам при проверке рубильников вводов ТП в сети 0,4 кВ в рамках данной работы.

Таблица 29 - Проверка рубильников 0,4 кВ на вводе ТП

№ ТП	$I^{(3)}_{\text{по}}, \text{ кА}$	$I_{\text{отк}}, \text{ кА}$
6-05 ближняя	2,66	10
6-79 дальняя	2,37	10

6-77 ближняя	4,54	10
6-51 дальняя	4,54	10
6-75 ближняя	2,54	10
6-76 дальняя	3,92	10

6 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

6.1 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП

Для случая нахождения расчётного тока на стороне ВН ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_{РАСЧ} = \frac{S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (71)$$

$$I_{РАСЧ} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 6 \text{ А}.$$

Для случая выбора предохранителей 10 кВ по расчетному току для ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использованы следующие формулы, которые допускаются к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_{ном. пред} \geq I_{расч}, \quad (72)$$

$$20 \text{ А} \geq 6 \text{ А},$$

$$I_{вст пред} \geq I_{расч}, \quad (73)$$

$$6 \text{ А} \geq 6 \text{ А},$$

где $I_{расч}$ – номинальный ток предохранителя ПК1 – 10У1, 20 А.

В таблицу 30 в совокупности с наименованием ТП 10/0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам при выборе предохранителей 10 кВ ТП в рамках данной работы.

Таблица 30 – Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП

№ ТП	Nтр	Sном, кВА	I _{РАСЧ} , А	I _{НОМТР} , А	I _{ВСТ} , А	Тип предохранителя
ТП 6-79	1	100	6	20	10	ПК1 – 10У1
ТП 6-77	1	250	14	20	16	ПК1 – 10У1
ТП 6-59	1	100	6	20	6	ПК1 – 10У1
ТП 6-76	1	250	14	20	16	ПК1 – 10У1
ТП 6-62	1	160	9	20	10	ПК1 – 10У1
ТП 6-75	1	100	6	20	10	ПК1 – 10У1
ТП 6-50	1	250	14	20	16	ПК1 – 10У1
ТП 6-51	1	400	23	40	40	ПК1 – 10У1
ТП 6-05	1	100	6	20	16	ПК1 – 10У1

6.2 Проверка линий 10 кВ на воздействие токов КЗ

Для случая нахождения приведённого времени КЗ на стороне ВН ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$t_{II} = t_{pz} + t_{ov} + t_c; \quad (74)$$

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

t_{pz} - время срабатывания релейной защиты, 0,01 с;

t_{ov} - время отключения выключателя 10 кВ, 0,045 с;

t_c - степень селективности, 0,5 с.

Для случая нахождения расчётного теплового импульса на стороне ВН ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{K \text{ расч}} = I_{K3}^2 \cdot t_{П}, \quad (75)$$

$$B_{K \text{ расч}} = 7,95^2 \cdot 0,555 = 34,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где I_{K3} - установившееся значение тока КЗ;

Для случая нахождения номинального теплового импульса на стороне ВЛ-ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{K \text{ ном}} = I_T^2 \cdot t_T, \quad (76)$$

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

где I_T - ток термической стойкости провода СИП-3-35, 3,2 кА;

t_T - длительность термической стойкости провода СИП-3-35, 4 с.

Для случая проверки проводов по термической стойкости к току КЗ для ВЛ-10 кВ до ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{K \text{ ном}} \geq B_{K \text{ расч}}; \quad (77)$$

$$41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 34,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

В таблицу 31 в совокупности с наименованием ТП 10/0,4 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам при проверке проводов ВЛ-10 кВ по термической стойкости в рамках данной работы.

Таблица 31 – Проверка по термической стойкости сечений ВЛ-10 кВ

Линия	$I^{(3)}$ по, кА	$B_{K \text{ расч}}$, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{K \text{ ном}}$, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
-------	------------------	---	--

6-05 ближняя	7,95	34,8	41
6-79 дальняя	1,58	3,9	41
6-77 ближняя	1,95	2,1	41
6-51 дальняя	1,03	1,6	41
6-75 ближняя	3,05	5,1	41
6-76 дальняя	1,15	2,1	41

6.3 Выбор трансформаторов тока

В линейных ячейках КРУ -10 кВ ПС «Загорная» устанавливаются ТТ марки ТОЛ-10.

Для случая выбора ТТ по номинальному напряжению для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$U_H \geq U_P; \quad (78)$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Для случая выбора ТТ по номинальному току для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_H \geq I_{Pmax}; \quad (79)$$

$$50 \text{ А} \geq 13 \text{ А}.$$

Для случая проверки ТТ по электродинамической стойкости для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}; \quad (80)$$

$$25 \text{ кА} \geq 17,6 \text{ кА}.$$

Для случая нахождения расчётного теплового импульса ТТ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{кр} = I_{н.о}^2 \cdot t_{П}, \quad (81)$$

$$B_{кр} = 12,5^2 \cdot 1,055 = 164 \text{ кА}^2\text{с},$$

Для случая нахождения номинального теплового импульса ТТ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{кн} = I_T^2 \cdot t_T, \quad (82)$$

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

Для случая проверки ТТ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 по термической стойкости в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{кн} \geq B_{кр}; \quad (83)$$

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

ТТ линейных ячеек КРУ устанавливаются в каждой фазе, но состав приборов вторичной цепи при этом различается, таблица 32.

Таблица 32 – Вторичная нагрузка ТТ 10 кВ линейных ячеек КРУ

Прибор	Тип	Нагрузка, В·А, фазы		
		А	В	С
Амперметр	Э-335		0.5	
Счетчик ЭЭ	Альфа СЕ-505	1.15		1.15
Итого		1.15	0.5	1.15

Для случая проверки ТТ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 по вторичной нагрузке в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использованы следующие формулы, которые допускаются к применению на данной стадии работы [10]:

$$Z_{2Н} = \frac{S_{2Н}}{I_2^2}, \quad (84)$$

$$Z_{2Н} = \frac{12.5}{5^2} = 0.5 \text{ Ом},$$

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}, \quad (85)$$

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

$$r_{пр} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (86)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0.0283 \cdot 5}{4} = 0.035 \text{ Ом},$$

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}, \quad (87)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.035 + 0.046 = 0.181 \text{ Ом},$$

$$Z_2 = Z_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}, \quad (88)$$

$$0,181 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом},$$

где I_2 – вторичный номинальный ток ТТ марки ТОЛ-10, 5 А;

$S_{2Н}$ - мощность вторичной обмотки ТТ марки ТОЛ-10, 12.5 ВА;

q – сечение проводов с алюминиевыми жилами вторичной цепи, 4 мм²;

ρ - удельное сопротивление проводов с алюминиевыми жилами вторичной цепи, 0,0283;

l - длина проводов вторичной цепи, 5 м;

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

В таблицу 33 в совокупности с наименованием условий выбора и проверки ТТ 10 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам в рамках данной работы.

Таблица 33 – Выбор ТТ 10 кВ для линейных ячеек

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 50 \text{ А}$ $I_H = 50 \text{ А}$ $I_H = 50 \text{ А}$	$I_{\text{Рмакс}} \text{ ТП } 05-62-79 = 13 \text{ А}$ $I_{\text{Рмакс}} \text{ ТП } 77-59-51 = 28 \text{ А}$ $I_{\text{Рмакс}} \text{ ТП } 75-50-76 = 20 \text{ А}$	$I_H \geq I_{\text{Рмакс}}$
$Z_{2Н} = 0.4 \text{ Ом}$ (для класса точности 0.5)	$Z_{Нр} = 0.181 \text{ Ом}$	$Z_{2Н} \geq Z_{Нр}$
$V_{\text{Кн}} = 300 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{\text{Кр}} = 164 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{\text{Кн}} \geq V_{\text{Кр}}$
$I_{\text{дин}} = 25 \text{ кА}$	$I_{\text{уд}} = 17,6 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$

6.4 Выбор трансформатора напряжения

На каждой секции шин КРУ -10 кВ ПС «Загорная» устанавливаются ТН марки НАМИ-10УЗ.

Для случая выбора ТН по номинальному напряжению для секции шин КРУ -10 кВ ПС «Загорная» в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$U_H \geq U_P;$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

ТН ячеек КРУ устанавливаются на каждой секции шин, состав приборов вторичной цепи при этом одинаковый, таблица 34.

Таблица 34 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор	Тип	Потребляемая мощность одной катушки, В·А	Число катушек	Cos φ	Sin φ	Общая потребляемая мощность	
						P, Вт	Q, В·А
Вольтметр	Э-335	2	1	1	0	2	-
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	3	-
Счетчик электроэнергии	Альфа	5 ВА	5	0.38	0.925	9,5	23
Итого	-	-	-	-	-	14,5	23

Для случая проверки ТН для секции шин КРУ -10 кВ ПС «Загорная» по вторичной нагрузке в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использованы следующие формулы, которые допускаются к применению на данной стадии работы [10]:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}, \quad (89)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{14,5^2 + 23^2} = 27 \text{ ВА};$$

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{НОМ}}, \quad (90)$$

$$27 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА},$$

где $S_{\text{НОМ}}$ – мощность вторичной обмотки ТН марки НАМИ-10У3, 75 ВА.

В таблицу 35 в совокупности с наименованием условий выбора и проверки ТН 10 кВ заносятся результирующие данные по проводимым расчётам в рамках данной работы.

Таблица 35 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{Н}} = 10 \text{ кВ}$ $S_{\text{Р}} = 27 \text{ ВА}$ (для класса точности 0,5)	$U_{\text{НТ}} = 10 \text{ кВ}$ $S_{\text{Н}} = 75 \text{ ВА}$	$U_{\text{НТ}} \geq U_{\text{Н}}$ $S_{\text{Н}} \geq S_{\text{Р}}$

6.5 Выбор выключателей нагрузки

На стороне ВН ТП устанавливаем выключатели нагрузки марки ВНП - 10/400.

Для случая выбора выключателей нагрузки по номинальному напряжению для ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$U_{\text{Н}} \geq U_{\text{Р}};$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Для случая выбора выключателей нагрузки по номинальному току для ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_H \geq I_{pmax};$$

$$400 \text{ A} \geq 6 \text{ A}.$$

Для случая проверки выключателей нагрузки по электродинамической стойкости для ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_{дин} \geq I_{уд};$$

$$25 \text{ кА} \geq 17,3 \text{ кА}.$$

Для случая нахождения расчётного теплового импульса выключателей нагрузки для ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{кр} = I_{н.о}^2 \cdot t_{П},$$

$$B_{кр} = 7,95^2 \cdot 0,6 = 38 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Для случая нахождения номинального теплового импульса выключателей нагрузки для ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{кн} = I_T^2 \cdot t_T,$$

$$B_{KH} = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Для случая проверки выключателей нагрузки для стороны ВН ТП 6-05 по термической стойкости в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{KH} \geq B_{Kp};$$

$$400 \text{ кА}^2\text{с} \geq 38 \text{ кА}^2\text{с}.$$

В таблицу 36 в совокупности с наименованием условий выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ ТП 6-05 заносятся результирующие данные по проводимым расчётам в рамках данной работы.

Таблица 36 – Выбор выключателей нагрузки 10 кВ ТП 6-05

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_{P\text{макс}} = 6 \text{ А}$	$I_H \geq I_{P\text{макс}}$
$B_{KH} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{Kp} = 38 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{KH} \geq B_{Kp}$
$I_{дин} = 25 \text{ кА}$	$I_{уд} = 17,3 \text{ кА}$	$I_{дин} \geq I_{уд}$

В таблицу 37 в совокупности с наименованием условий выбора и проверки выключателей нагрузки ТП села Загорная Селитьба заносятся результирующие данные по проводимым расчётам в рамках данной работы.

Таблица 37 - Выбор выключателей нагрузки ТП села Загорная Селитьба

№ ТП	$I_P \text{ ТП, А}$	$I_H, \text{ А}$	$B_{Kp}, \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{KH}, \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{уд}, \text{ кА}$	$I_{дин}, \text{ кА}$
ТП 6-79	6	400	4,0	400	2,24	25
ТП 6-77	14	400	2,3	400	2,76	25
ТП 6-59	6	400	4,2	400	2,76	25
ТП 6-76	14	400	2,1	400	1,63	25
ТП 6-62	9	400	69,6	400	11,71	25
ТП 6-75	6	400	5,6	400	4,32	25
ТП 6-50	14	400	10,3	400	4,32	25
ТП 6-51	23	400	1,7	400	1,46	25
ТП 6-05	6	400	38,0	400	11,71	25

6.6 Выбор выключателей 10 кВ

На стороне 10 кВ ПС «Загорная» выбираем вакуумные выключатели ВВ/Тел.

Для случая выбора выключателей по номинальному напряжению для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

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

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Для случая выбора выключателей по номинальному току для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{рmax}};$$

$$630 \text{ А} \geq 13 \text{ А}.$$

Для случая выбора выключателей по отключающей способности для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{откл ном}};$$

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

Для случая проверки выключателей по электродинамической стойкости для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$i_{скв} \geq i_{уд};$$

$$32 \text{ кА} \geq 17,6 \text{ кА}.$$

Для случая нахождения расчётного теплового импульса выключателей для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{кр} = I_{н.о}^2 \cdot t_{П},$$

$$B_{кр} = 12,5^2 \cdot 1,055 = 164 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Для случая нахождения номинального теплового импульса выключателей для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{кн} = I_T^2 \cdot t_T,$$

$$B_{кн} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Для случая проверки выключателей для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 по термической стойкости в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ

использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{KH} \geq B_{Kp};$$

$$1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 164 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Для случая выбора выключателей по отключению апериодического тока КЗ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использованы следующие формулы, которые допускаются к применению на данной стадии работы [10]:

$$i_{a.\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{\text{ном откл}},$$

$$i_{a.\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 0.4 \cdot 20 = 11.31 \text{ кА},$$

$$i_{a.\text{ном}} \geq i_{at};$$

$$11,31 \text{ кА} \geq 6,8 \text{ кА}.$$

где β_H – содержание апериодической составляющей тока КЗ в отключаемом полном токе КЗ для выключателя ВВ/Тел-630/10, 40%;

$I_{\text{ном откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя ВВ/Тел-630/10, 20 кА.

Для случая выбора выключателей по отключению полного тока КЗ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{но.ПС}}^{(3)} + i_{\text{атПС}} \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМОТК}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right), \quad (91)$$

$$\sqrt{2} \cdot 12,5 + 12,5 \cdot 0,54 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0,40}{100}\right),$$

$$24,6 \text{ кА} \leq 39,59 \text{ кА}.$$

В таблицу 38 в совокупности с наименованием условий выбора и проверки выключателей 10 кВ ПС «Загорная» заносятся результирующие данные по проводимым расчётам в рамках данной работы.

Таблица 38 – Выбор выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ $I_{\text{ВКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $I_{\text{ОТКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $i_{\text{скг}} = 32 \text{ кА}$ $W_{\text{к.НОМ}} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 13 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 28 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 20 \text{ А}$ $I_{\text{ПО}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{ПТ}} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{\text{уд}} = 17,6 \text{ кА}$ $W_{\text{к}} = 164 \text{ кА}^2\text{с}$ $i_{\text{ат}} = 6,8 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{ВКЛ}} \geq I_{\text{ПО}}$ $I_{\text{ОТКЛ}} \geq I_{\text{ПТ}}$ $i_{\text{скг}} \geq i_{\text{уд}}$ $W_{\text{к.НОМ}} \geq W_{\text{к}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{ат}}$

6.7 Выбор КРУ

На стороне 10 кВ ПС «Загорная» выбираем КРУ К-63.

Для случая выбора КРУ по номинальному напряжению для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

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

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Для случая выбора КРУ по номинальному току для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$I_H \geq I_{pmax};$$

$$630 \text{ A} \geq 13 \text{ A}.$$

Для случая проверки КРУ по электродинамической стойкости для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$i_{скв} \geq i_{уд};$$

$$32 \text{ кА} \geq 17,6 \text{ кА}.$$

Для случая нахождения расчётного теплового импульса КРУ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{кр} = I_{н.о}^2 \cdot t_{II},$$

$$B_{кр} = 12,5^2 \cdot 1,055 = 164 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Для случая нахождения номинального теплового импульса КРУ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ

использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{KH} = I_T^2 \cdot t_T,$$

$$B_{KH} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Для случая проверки КРУ для ВЛ-10 кВ подключения ТП 05-62-79 по термической стойкости в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$B_{KH} \geq B_{кр};$$

$$1200 \text{ кА}^2\text{с} \geq 164 \text{ кА}^2\text{с}.$$

В таблицу 39 в совокупности с наименованием условий выбора и проверки выключателей 10 кВ ПС «Загорная» заносятся результирующие данные по проводимым расчётам в рамках данной работы.

Таблица 39 – Выбор выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 13 \text{ А}$ $I_{рmax} = 28 \text{ А}$ $I_{рmax} = 20 \text{ А}$ $i_{yd} = 17,6 \text{ кА}$ $B_{к.} = 164 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{yd}$ $B_{к.ном} \geq B_{к}$

7 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Для случая нахождения емкостного тока сети для ВЛ-10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [11]:

$$I_{емк10кВ} = \frac{U_H \cdot L_B}{350}; \quad (92)$$

$$I_{емк10кВ} = \frac{10 \cdot 14,02}{350} = 0,4 \text{ А.}$$

где U_H – номинальное напряжение сети, 10 кВ;

L_B – суммарная длина ВЛ-10 кВ, 14,02 км.

Для случая проверки необходимости компенсации емкостного тока сети для ВЛ-10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [29]:

$$I_{емк10кВ} \leq I_{емкпуэ10кВ};$$

$$0,4 \text{ А} \leq 20 \text{ А.}$$

Требования ПУЭ выполняются, компенсация токов замыкания на землю не целесообразна.

8 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

В работе применяется серия микропроцессорных защит «MICOM», возможности защиты позволяют использовать её для повышения надежности отключения КЗ при повреждении ВЛ-10 кВ, трансформаторов 10/0,4 кВ мощностью до 1 МВА, синхронных двигателей, секционных и вводных выключателей.

8.1 Токсовая отсечка без выдержки времени

Для случая нахождения коэффициента трансформации трансформатора тока для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [20]:

$$n_r = \frac{I_{тгВН}}{I_{тгНН}}, \quad (93)$$

$$n_r = \frac{50}{5}.$$

Для случая нахождения первичного тока срабатывания токовой отсечки для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [20]:

$$I_{с.з.} = k_H \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (94)$$

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

где k_n – коэффициент надежности, 1,1;

$I_{к.маx}^{(3)}$ – максимальный ток КЗ на ТП 6-05.

Для случая нахождения коэффициента чувствительности токовой отсечки для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [20]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (95)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1380}{8746} = 0,16 \leq 2,$$

где $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$ – минимальный ток КЗ на ТП 6-79.

Так как чувствительность отсечки без выдержки времени недостаточна, то целесообразно установить отсечку с выдержкой времени (вторая ступень защиты).

Для случая нахождения вторичного тока срабатывания токовой отсечки для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [20]:

$$I_{\text{с.р.}} = k_{\text{сх}} \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_{\text{т}}}, \quad (96)$$

$$I_{\text{с.р.}} = 1 \cdot \frac{8746}{10} = 875 \text{ А}.$$

Для случая нахождения времени срабатывания токовой отсечки для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ

использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [20]:

$$t_{c.z.TO} = t_{c.z.} + \Delta t, \quad (97)$$

$$t_{c.z.TO} = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с.}$$

В таблицу 40 в совокупности с наименованием ВЛ 10 кВ ПС «Загорная» заносятся результирующие данные по проводимым расчётам уставок токовой отсечки в рамках данной работы.

Таблица 40 – Расчёт токовой отсечки

Линия	$I_{(3)по}, \text{ А}$	$I_{(2)по}, \text{ А}$	$I_p, \text{ А}$	$I_{НТТ}, \text{ А}$	$I_{с.з.}, \text{ кА}$	n_T	$I_{с.р.}, \text{ А}$	$K_{ч}$ (больше 2)
ТП 6-05-6-62-6-79	7,95	1,38	13	50	8,746	10	875	0,16
ТП 6-77-6-59-6-51	1,95	0,90	28	50	2,147	10	215	0,42
ТП 6-75-6-50-6-76	3,05	1,00	20	50	3,356	10	336	0,30

8.2 Максимальная токовая защита линий

Для случая нахождения первичного тока срабатывания МТЗ для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [21]:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_{в}, \quad (98)$$

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

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 защищаемой линии, А.

Для случая нахождения вторичного тока срабатывания МТЗ для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [21]:

$$I_{c.p.} = I_{c.з.} \cdot k_{cx} / n_T, \quad (99)$$

$$I_{c.p.} = 232 \cdot 1 / (50/5) = 23 \text{ А.}$$

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

Для случая нахождения коэффициента чувствительности МТЗ для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [21]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{c.з.}}, \quad (110)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1380}{232} = 6 \geq 1,5,$$

где $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$ – минимальный ток КЗ на ТП 6-79.

Чувствительность МТЗ достаточная.

Для случая нахождения времени срабатывания МТЗ для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [21]:

$$t_{c.з.МТЗ} = t_{c.з.ТО} + \Delta t, \quad (111)$$

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

В таблицу 41 в совокупности с наименованием ВЛ 10 кВ ПС «Загорная» заносятся результирующие данные по проводимым расчётам уставок МТЗ в рамках данной работы.

Таблица 41 – Расчёт МТЗ

Линия	$I_{(2)по}$, кА	I_p , А	$I_{НТТ}$, А	$I_{с.з.}$ кА	$I_{с.р.}$ А	$K_{ч}$ (больше 1,5)
ТП 6-05-6-62-6-79	1,38	13	50	0,232	23	6,0
ТП 6-77-6-59-6-51	0,90	28	50	0,232	23	3,9
ТП 6-75-6-50-6-76	1,00	20	50	0,232	23	4,3

8.3 Устройства автоматического включения резерва

Для случая нахождения напряжения срабатывания АВР для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [22]:

$$U_{с.з.} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{ном}, \quad (112)$$

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

Для случая нахождения времени срабатывания АВР для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [22]:

$$t_{с.з.АВР} = t_{с.з.МТЗ} + \Delta t, \quad (113)$$

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

8.4 Защита от однофазных замыканий на землю

Для случая нахождения тока замыкания на землю для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [23]:

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{U_H \cdot L_B}{350}; \quad (114)$$

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{10 \cdot 3,6}{350} = 0,1 \text{ А.}$$

Для случая нахождения тока через ТНП для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [23]:

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}, \quad (115)$$

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = 0,4 - 0,1 = 0,3 \text{ А.}$$

Для случая нахождения тока срабатывания ЗНЗ для ВЛ-10 кВ ПС-ТП 6-05-ТП 6-62-ТП 6-79 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [23]:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{ТНП.повр.л}} / k_{\text{ч}}; \quad (116)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 0,3 / 1,5 = 0,2 \text{ А.}$$

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

В таблицу 42 в совокупности с наименованием ВЛ 10 кВ ПС «Загорная» заносятся результирующие данные по проводимым расчётам уставок ЗНЗ в рамках данной работы.

Таблица 42 – Расчёт ЗНЗ

Линия	$L_{ВЛ}$, км	$I_{повр.л}$, А	$I_{ТП.повр.л}$, А	$I_{с.з}$, А
ТП 6-05-6-62-6-79	3,6	0,103	0,303	0,20
ТП 6-77-6-59-6-51	5,6	0,160	0,246	0,16
ТП 6-75-6-50-6-76	5,0	0,143	0,263	0,18

9 РАСЧЁТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ТП

Рассчитаем заземляющее устройство ТП 6-51 с силовым трансформатором ТМ 400/10. Расчёт будет проведён для системы из вертикальных и горизонтальных электродов диаметром 10 мм, сварные соединения электродов предусматриваются во всех местах соединения электродов.

Для случая нахождения стационарного сопротивления одного вертикального электрода ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [18]:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (117)$$

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

где l_B - длина вертикального электрода, м;

h_3 - глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{грунт}$ - удельное сопротивление грунта, по [18] для почвы берём из диапазона 50-1000 Ом·м;

d - диаметр электродов, 0,03 м.

Для случая нахождения стационарного сопротивления одного горизонтального электрода ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [18]:

$$R_{\text{ЭГ}} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (118)$$

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

где l – длина горизонтальной полосы, м.

Для случая нахождения общего стационарного сопротивления заземлителя ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [18]:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_{\text{В}} \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_{\text{Г}} \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (119)$$

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

где η – коэффициент использования сложного заземлителя, учитывающий ухудшение растекания тока молнии из-за взаимного экранирования, 0,75;

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

$n_{\text{Г}}$ – число горизонтальных электродов;

Для случая нахождения импульсного сопротивления вертикального электрода заземлителя ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ

использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [18]:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (120)$$

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

где α_{uB} - импульсный коэффициент вертикального электрода, 1.

Для случая нахождения удельной индуктивности горизонтального электрода заземлителя ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ используется следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [18]:

$$L_o = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (121)$$

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

Для случая нахождения импульсного коэффициента горизонтального электрода заземлителя ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ используется следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [18]:

$$\alpha_{uГ} = 1 + \frac{L_o \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{ЭГ}}}, \quad (122)$$

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

где τ_ϕ - длительность фронта тока молнии 2 мкс/кА.

Для случая нахождения импульсного сопротивления горизонтального электрода заземлителя ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [18]:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{3\Gamma}. \quad (123)$$

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

Для случая нахождения импульсного сопротивления заземлителя ТП 6-05 в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [10]:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}, \quad (124)$$

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

В таблицу 51 в совокупности с наименованием рассчитываемых параметров заземлителя ТП 6-05 заносятся результирующие данные в рамках данной работы.

Таблица 51 – Расчёт заземления ТП 6-05

длина вертикального электрода, м	1,5
глубина заложения заземлителя, м	0,3
удельное сопротивление грунта, Ом·м	50
диаметр электродов, м	0,03
стационарное сопротивление одного вертикального электрода, Ом	27
длина горизонтальной полосы, м	8
стационарное сопротивление одного горизонтального электрода, Ом	4
число вертикальных электродов	2
число горизонтальных электродов	2

Общее стационарное сопротивление заземлителя, Ом	2,6
Импульсное сопротивление вертикального электрода, Ом	18
Удельная индуктивность на единицу длины горизонтального заземлителя, мкГн/м	1,19
Импульсный коэффициент протяженного заземлителя	1,36
Импульсное сопротивление протяжного электрода, Ом	6
<i>Общее импульсное сопротивление заземлителя, Ом</i>	<i>3,0</i>

Вертикальные электроды количеством 2 шт, длиной 1,5 м, диаметром 30 мм закладываем на глубину 0,3 м, соединяем между собой электродами того же диаметра.

Для случая проверки эффективности работы заземлителя ТП 6-05 исходя из требований к электробезопасности в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [29]:

$$R \leq R_{\text{ст доп пуэ}}; \quad (125)$$

$$2,6 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}.$$

Требования к электробезопасности заземления ТП 6-05 выполняются.

Для случая проверки эффективности работы заземлителя ТП 6-05 исходя из требований к молниезащите в рамках проводимых расчётов сети 10 кВ использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [29]:

$$R_{\text{и}} \leq R_{\text{и доп пуэ}}; \quad (126)$$

$$3 \text{ Ом} \leq 9 \text{ Ом}.$$

Требования к молниезащите заземления ТП 6-05 выполняются.

Эскиз заземления ТП 6-05 показан на рисунке 5.



Рисунок 5 –Заземление ТП 6-05

10 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

В данной бакалаврской работе выполнены расчёты, согласно которым будет проведена полная реконструкция системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба Свободненского района Амурской области. Реконструкция сетей 0,4 – 10 кВ должна проходить с соблюдением требований безопасности при работе в электроустановках. Эксплуатация сетей 0,4-10 кВ должна предусматривать соблюдение норм экологичности в отношении площадь земель, отводимых под временное и постоянное пользование. Необходимо рассмотреть меры пожаробезопасности в электроустановках от наиболее вероятной чрезвычайной ситуации – пожара.

10.1 Безопасность

Часть опор ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба находится в неудовлетворительном состоянии, поэтому требуется замена опор, а также проводов ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ.

Так как в данной работе предусматривается реконструкция ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба, то необходимо обеспечить безопасность персонала при производстве работ на воздушных линиях электропередачи [25].

В процессе выполнения мероприятий по реконструкции ВЛ 10-0,4 кВ села Загорная Селитьба будет выполнен монтаж проводов на высоте опоры. Безопасность персонала при выполнении работ на опорах ВЛ села Загорная

Селитьба обеспечивается в случаях, когда выполнены предварительные осмотры опоры на предмет целостности самой опоры, её основания, грунта, в который проведена установка опоры. При необходимости определяется тип и количество работ по укреплению основания опоры на месте работы, в таком случае производитель работ или ответственный руководитель работ выдают соответствующее распоряжение.

Монтаж проводов на высоте опоры ВЛ разрешается работникам с группой по электробезопасности не ниже III, если работы выполняются до верхней точки опоры ВЛ вне зависимости от типа проводимых работ.

Монтаж проводов на высоте опоры ВЛ разрешается работникам с группой по электробезопасности не ниже II, если работы выполняются до верхней точки опоры ВЛ при снятом напряжении с токоведущих частей ВЛ. Для случаев, когда проведение работ организовано без снятия напряжения с токоведущих частей ВЛ работы разрешены на удалении не менее чем 2 м от токоведущих частей ВЛ [25].

Выполнение работ по реконструкции ВЛ разрешается работникам с группой по электробезопасности I вне зависимости от типа проводимых работ, если высота составляет не более 3 м от уровня земли.

При реконструкции ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба следует организовывать рабочее место таким образом, чтобы ближайшие провода, находящиеся под напряжением, были в зоне видимости работника, при этом допускается нахождение работника на расстоянии не более чем 2 м до токоведущих частей ВЛ.

При реконструкции ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба следует подниматься на опору с обязательной оснасткой работника предохранительным поясом, который крепится к лазу для железобетонных опор или заводится за стойку опоры, и лазами, на которые работник опирается при работе, при этом задействуются оба лаза.

Участки совместной подвески проводов при реконструкции ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба оборудуются в соответствии с требованиями

безопасного проведения работ и должны иметь возможность отключения какой-либо цепи ВЛ или линии со той стороны, с которой предполагается проведение работ при горизонтальном расположении цепей ВЛ или линий. Расширять рабочее место на высоте опоры с совместной подвеской проводом запрещено. При вертикальном расположении цепей ВЛ или линий разного напряжения работы разрешены только на тех проводах, который расположены ниже, так как в таком случае затрудняется возможность прикосновения к проводам, находящимся под напряжением [25].

При реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба следует использовать изолирующие вставки при работах с вышки или иного механизма для подъёма к проводам ВЛ, при этом минимальное расстояние, на которое разрешено приближаться к проводам ВЛ-0,4 кВ составляет 0,6 м. В случае, если не удастся обеспечить минимальное допустимое расстояние до проводов ВЛ-0,4 кВ, то ВЛ-0,4 кВ должна быть отключена и заземлена, для того чтобы обезопасить работников от поражения током в случае приближения к токоведущим частям ВЛ-0,4 кВ.

Перетяжка и замена проводов при реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба осуществляется только в тех случаях, когда на рабочих местах работников провода ВЛ отключены и заземлены со всех сторон вероятной подачи напряжения к рабочему месту.

Замену или ремонт линейной арматуры опор при реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба разрешено выполнять в тех случаях, когда смещение или падение опоры исключено по технологии безопасного проведения работ.

Замену или ремонт стоек многостоечных опор при реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба разрешено выполнять в тех случаях. Когда рабочее место организовано на одной из стоек, расширять рабочее место на более чем одну стойку запрещено. Полное окончание работ на одной из стоек опоры фиксируется после завершения трамбовки земли, укреплению стойки. Работникам при выполнении работ в котловане, где выполняется монтаж стойки опоры запрещено.

Безопасность при демонтаже и установке опор ВЛ-0,4-10 кВ села Загорная Селитьба в части способа их укрепления и фиксации обеспечивается ответственным руководителем за выполнение работ или лицом, выдавшим наряд допуск на работы.

Нахождение работников на траверсах устанавливаемых опор ВЛ-0,4-10 кВ села Загорная Селитьба, а также на стойках под траверсами во время подъёма проводов, тросов, изоляторов запрещается.

Во время подъёма проводов, тросов, изоляторов, размещение подъёмных блоков на траверсах опор ВЛ-0,4-10 кВ села Загорная Селитьба разрешено, если усилие, создаваемое при поднятии груза не превышает предел прочности траверсы.

Во время покрасочных работ на опорах ВЛ-0,4-10 кВ села Загорная Селитьба принимаются меры для предотвращения распространения краски на изоляторы и провода.

При реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них допускается проводить работы по замене или демонтажу проводов ВЛ под напряжением в случае выполнения изолирующих от земли работником вставок в устройстве вышки или иного устройства, на котором находится работник во время прикосновения к проводу под напряжением. Безопасный способ работы при этом состоит в первоначальном прикосновении проводом под напряжением к рабочей площадке с изолирующей вставкой посредством проводника, манипуляции с которым проводятся изолирующей штангой, затем допускается к проводу под напряжением прикасаться работнику, осуществляющему монтаж.

При реконструкции ВЛ-0,4 кВ села Загорная Селитьба выполнение работ по монтажу или демонтажу гирлянд изоляторов с помощью изолирующей штанги проверяется целостность креплений и замком арматуры, удерживающей изолятор и провод. Крепления изоляторов при помощи изолирующей штанги переводятся в закрытое положение на опоре, на которой производится работа и на соседних опорах, для ослабления силы тяжения провода.

Передавать инструмент, арматуру, провода, приспособления для работы от работников, находящихся на изолирующих площадках с потенциалом провода, находящегося под напряжением работникам, не находящимся на изолирующих площадках с иным потенциалом запрещено во избежание удара электрическим током. Если работники осуществляют соединения элементов с разным потенциалом, то при этом должны быть в диэлектрических перчатках и ботах [25].

10.2 Экологичность

Своевременное определение площади земель для отвода под элементы системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба позволяет в дальнейшем избежать ограничений и предписаний на деятельность организации, эксплуатирующей электрические сети, что в свою очередь снижает издержки эксплуатации электросетевого хозяйства.

Для расчётов площади отвода земель в постоянное пользование будут учтены земли, отводимые для размещения ТП и опор ВЛ-10 кВ системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба.

Для расчётов площади отвода земель во временное пользование будут учтены земли, отводимые на срок возведения опор и подвеску проводов ВЛ-10 кВ системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба.

Для случая нахождения площади отвода земель в постоянное пользование для размещения ТП системы электроснабжения 10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов экологичности использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [26]:

$$S_{ТПП} = S_{ТП1} \cdot n_{ТП1} + S_{ТП2} \cdot n_{ТП2} \quad (127)$$

$$S_{ТПП} = 9 \cdot 50 + 0 \cdot 80 = 450 \text{ м}^2,$$

где $S_{ТП1}$, $S_{ТП2}$ - площадь земли, отводимая для размещения ТП, где установлен 1 или 2 силовых трансформатора, согласно [27], 50 и 80 м² соответственно;

$n_{ТП1}$, $n_{ТП2}$ - количество ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба с 1 или 2 силовыми трансформаторами соответственно, шт.

Для случая нахождения площади отвода земель в постоянное пользование для размещения опор ВЛ-10 кВ системы электроснабжения 10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов экологичности использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [26]:

$$S_{ПО} = (A_{он}^2 + \pi \cdot \Delta^2 + 4 \cdot A_{он} \cdot \Delta) \cdot n_{ОП}, \quad (128)$$

$$S_{ПО} = (0,4^2 + 3,14 \cdot 1^2 + 4 \cdot 0,4 \cdot 1) \cdot 203 = 995 \text{ м}^2,$$

где $A_{он}$ - ширина стороны типовой опоры 10 кВ, рисунок 6, 0,4 м [28],

Δ - ширина полосы земли вокруг внешнего контура опоры при трассе ВЛ-10 кВ по землям не сельскохозяйственного назначения, 1 м [27];

$n_{ОП}$, - количество опор ВЛ-10 кВ системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба, 203 шт.

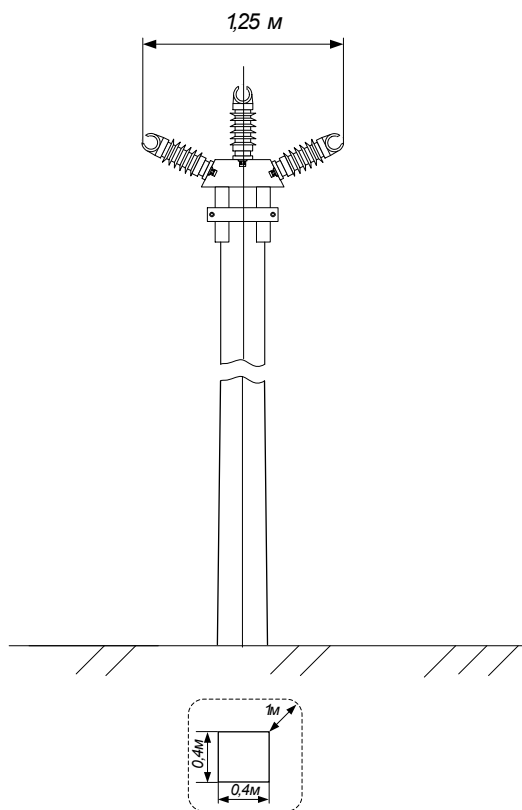


Рисунок 6 –Опора 10 кВ для ВЛ выполненной проводом СИП-3 (вверху) и площадь основания опоры для отвода в постоянное пользование (внизу)

Для случая нахождения площади отвода земель в постоянное пользование для размещения системы электроснабжения 10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов экологичности использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [26]:

$$S_{III} = S_{III} + S_{ПО}, \quad (129)$$

$$S_{III} = 450 + 995 = 1445 \text{ м}^2,$$

Следующим этапом определения экологичности работы являются расчёты площади земель переходящих во временное пользование.

Для случая нахождения площади отвода земель во временное пользование для возведения опор системы электроснабжения 10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов экологичности использована

следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [26]:

$$S_{ВМП} = n_{ОП} \cdot S_{ОП10кВ} , \quad (130)$$

$$S_{ВМП} = 203 \cdot 150 = 30450 \text{ м}^2,$$

где $S_{ОП10кВ}$ - площадь земли, отводимая для возведения опор ВЛ-10 кВ, согласно [27], 150 м².

Для случая нахождения ширины полосы отвода земель во временное пользование для подвески проводов системы электроснабжения 10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов экологичности использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [26]:

$$L_{полосы} = L_{ф-ф} + 2 \cdot \Delta_{врем} ; \quad (131)$$

$$L_{полосы} = 1,25 + 2 \cdot 2 = 5,25 \text{ м};$$

где $\Delta_{врем}$ - расстояния от проекции крайних фазных проводов ВЛ-10 кВ на землю, [27], 2 м;

$L_{ф-ф}$ - расстояние между проводами крайних фаз, рисунок 10, 1,25 м, [28].

Для случая нахождения площади отвода земель во временное пользование для подвески проводов системы электроснабжения 10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов экологичности использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [26]:

$$S_{ВЛ} = L_{ВЛ10кВ} \cdot L_{полосы} , \quad (132)$$

$$S_{ВЛ} = 14200 \cdot 5,25 = 74550 \text{ м}^2,$$

где $L_{ВЛ10кВ}$ - протяженность ВЛ системы электроснабжения 10 кВ села Загорная Селитьба, 14200 м ;

Для случая нахождения площади отвода земель во временное пользование для системы электроснабжения 10 кВ села Загорная Селитьба в рамках проводимых расчётов экологичности использована следующая формула, которая допускается к применению на данной стадии работы [26]:

$$S_{ВП} = S_{ВМП} + S_{ВЛ} , \quad (133)$$

$$S_{ВП} = 30450 + 74550 = 105000 \text{ м}^2,$$

После расчётов определено, что в постоянное пользование отводятся 1445 м² без возможности использования по иному назначению, во временное пользование отводятся 105000 м² с возможностью использования по иному назначению после возведения сетей 10 кВ.

10.3 Чрезвычайные ситуации

В данном пункте перечисляются меры пожаробезопасности в электроустановках 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба, которые обязательны к соблюдению при наиболее вероятной чрезвычайной ситуации – пожаре.

Так как реконструкция системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба включает в себя ревизию оборудования ТП 10/0,4 кВ, то рассмотрим необходимые меры по тушению пожаров в ТП.

Возникновение пожара на ТП 10/0,4 кВ происходит при эксплуатации системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба в условиях, когда чрезмерная нагрузка на электрооборудования приводит к пробое изоляции трансформатора, но по причине низкой чувствительности средств релейной защиты и автоматики отключения электроустановки не происходит. При

обнаружении возгорания персоналом, осуществляющим эксплуатацию ТП 10/0,4 кВ или её монтаж должен по возможности принять меры к обесточиванию электроустановки в случае отсутствия угрозы жизни и здоровью работников [29].

Сообщение о факте возгорания передается оперативному дежурному и в подразделение пожарной охраны работником сразу после обнаружения возгорания, в сообщении должна быть информация для быстрого и безошибочного поиска адреса электроустановки, характере пожара, данных информирующего работника.

Обслуживающий персонал системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба выполняет функцию взаимодействия с прибывающими пожарными подразделениями, сообщает и указывает места расположения заземления пожарных гидрантов, путей и проездов к месту возгорания.

В РУ ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба расположены первичные средства пожаротушения, порошковые огнетушители в РУНН, углекислотные огнетушителя в РУВН.

Подразделения пожарной охраны могут использовать ручные стволы для тушения пожаров на ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба компактными и распыленными струями воды [30].

Подразделения пожарной охраны должны находиться на безопасном расстоянии от электроустановок, находящихся под напряжением и охваченных огнем ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба.

Подразделения пожарной охраны и иной персонал, занятый на тушении пожара в ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба, должны использовать средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током, боты, диэлектрические перчатки установленного испытанного образца. Если возгорание на ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба развивается при включенном напряжении на электроустановке, то подразделения пожарной охраны должны удостовериться

в надёжности заземления стволов и пожарных транспортных средств, осуществляющих подачу воды.

Возгорание на ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба ликвидируется пожарными стволами с регулируемым расходом и геометрией струи во избежание развития пожара.

Трансформатор ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба запрещено отключать от сети 10 кВ разъединителем для исключения образования дуги на разъединителе. Нагрузку следует снимать со стороны напряжения 0,4 кВ

Обслуживающий персонал системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба выполняет письменный допуск к тушению пожара на оборудовании, находящегося под напряжением менее 0,4 кВ. Тушение возгорания в РУ 0,4 кВ ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба под напряжение осуществляется в соответствии с утвержденными планами на такие события. Пожары на оборудовании ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба, находящемся под напряжением до 0,4 кВ, разрешено тушить распыленными струями воды, подаваемой в зону возгорания посредством пожарных стволов, имеющих надёжное заземление, удаление личного состава пожарной охраны от места пожара должно быть не менее 5 м. Компактные струи воды не разрешается использовать в таких случаях [31].

Организация работы прибывающих подразделений пожарной охраны состоит в развертывании сил и средств тушения пожара в соответствии со складывающейся обстановкой на ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба. Во внимание принимается информация о маршрутах движения подразделений пожарной охраны к месту возгорания, о имеющихся местах заземления пожарных стволов, о наличии вблизи места возгорания действующих электроустановок. Прокладка рукавной линии от пожарного транспорта до рабочего места ствольщика осуществляется силами пожарных подразделений [31].

Личный состав пожарной охраны осуществляет действия по ликвидации возгорания до полного отсутствия возгорания и угрозы жизни личного состава и других участников ликвидации возгорания на ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба. При завершении действий по ликвидации возгорания на ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба подача огнетушащих средств очаг возгорания и иные места вероятного развития возгорания останавливается. От контура заземления отсоединяются заземления пожарных стволов, насосов, транспортных средств, при том, что первичное отключение заземления выполняется в месте крепления заземления к стволам, насоса или механизмам, далее отсоединяется заземление от зажимов места заземления. После ликвидации возгорания на ТП системы электроснабжения 0,4-10 кВ села Загорная Селитьба выполняется организованный отход под надзором руководителя тушения пожара. Маршруты отхода с позиций тушения пожара должны соответствовать требованиям по электробезопасности подразделений пожарной охраны [31].

Пожарно-техническое вооружение подлежит сборке в специальные места хранения и перевозки подразделениями пожарной охраны. Все имеющиеся пожарные средства в электроустановках, где происходила ликвидация горения, подлежат тщательной дефектовке и замене ввиду риска утраты ими своих огнетушащих свойств от воздействия избыточной температуры пламени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система электроснабжения сельскохозяйственного района, включающего село Загорная Селитьба. Выбраны мощности трансформаторов ТП, сечения проводов СИП, кабелей. Рассчитан уровень токов КЗ. Выбранные аппараты проверены на устойчивость к токам КЗ.

По селу Загорная Селитьба 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

СИП-3 для повышения надёжности сети 10 кВ. Выбраны уставки релейной защиты и автоматики, выбрано время срабатывания защит.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014 - ., Ч. 1. - 2014. - 106 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7123.pdf (дата обращения: 10.04.2023).

2. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : сб.-учеб. метод. материалов для направления подготовки 13.03.02

"Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост.: Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 182 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9662.pdf (дата обращения: 10.04.2023).

3. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : метод. указания к курс. проектированию для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Ю. В. Мясоедов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 100 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7475.pdf (дата обращения: 10.04.2023).

4. Официальный сайт Администрации Свободненского района [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://svobregion.ru/images/stories/____2018_.pdf (дата обращения 20.02.2023)

5. 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.

6. 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. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2014. - 192 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 154 .

7. Мясоедов, Ю. В. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf (дата обращения: 10.04.2023).

8. Судаков, Г. В. Энергосбережение в системах электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140211 - Электроснабжение / Г. В. Судаков ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 376 с. - Б. ц.

9. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 326

10. Электроснабжение объектов [Текст] : учеб. пособие для СПО / Е. А. Конюхова. - 9-е изд., испр. - М. : Академия, 2013. - 320 с. : рис., табл. - (Среднее проф. образование. Электротехника). - Библиогр. : с. 311

11. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст] : учеб. : рек. Мин. обр. РФ / В. А. Андреев. - 6-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2008. - 640 с. : рис. - Предм. указ. : с. 621 . - Библиогр. : с. 625 . - ISBN 978-5-06-004826-1

12. Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / В. А. Андреев. - М. : Высш. шк., 2008. - 253 с. : рис., табл. - (Для высших учебных заведений. Электротехника). - Библиогр. : с. 248 . - ISBN 978-5-06-005828-4

13. Судаков, Г. В. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учеб. пособие: учеб.-метод. комплекс для спец. 140204, 140205, 140203 / Г. В. Судаков, Т. Ю. Ильченко, Н. С. Бодруг ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 364 с. - Б. ц

14. Кужеков, С. Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 4-е изд., доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. - 493 с. : рис., табл. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480.

15. 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.

16. Савина Н. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс дисц. для спец. 140211.65 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. В. Савина . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 124 с. – Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6056.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

17. Савина Н. В. Техника высоких напряжений. Грозовые перенапряжения и защита от них [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 191 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7361.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

18. Бочаров Ю. Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. Н. Бочаров, С. М. Дудкин, В. В. Титков. - СПб. : С.-Петербург. политех. ун-т Петра Великого, 2013. - 265 с. - Б. ц. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976> (дата обращения: 24.05.2023).

19. Козлов А. Н. Диагностика электрооборудования высокого напряжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Козлов ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 44 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6925.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

20. Ротачева А. Г. Проектирование устройств релейной защиты [Электронный ресурс] : метод. указ. для самостоят. работы студентов: учеб. пособие / А. Г. Ротачева ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 28 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7050.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

21. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем [Текст] : учеб. пособие : доп. УМО / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. - 2-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2010. - 336 с. + 2 л. - Библиогр. : с. 325.

22. Глазырин В. Е. Расчет релейной защиты понижающих автотрансформаторов на базе микропроцессорных шкафов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Е. Глазырин, В. А. Давыдов, А. И. Щеглов. - Новосибирск : Новосиб. гос. технич. ун-т, 2011. - 91 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45156> (дата обращения: 24.05.2023).

23. Ротачева А. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики [Электронный ресурс] : метод. указания по курсовому проектированию для направления 13.03.02 / А. Г. Ротачева, А. Н. Козлов, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 93 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/4322.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

24. Киреева Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) [Текст] / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев. - 2-е изд., стер. - Москва : КНОРУС, 2013. - 864 с. : табл. - Библиогр.: с. 860-862.

25. Приказ Министерства труда и социальной защиты российской федерации от 15 декабря 2020 года N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

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

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

28. Официальный сайт ООО «Регионпромкомплект» - Шифр 1.10.МИ.08 Железобетонные опоры ВЛЗ 6-10 кВ с изоляторами и изоляционными конструкциями производства ИНСТА и линейной арматурой МЗВА. Рабочие чертежи и указания к применению. Спецпроектинжиниринг. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elektropostavka.ru/tipovie-proekti-opor-vl> (дата обращения: 15.05.2023)

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

30. РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий" (утв. РАО "ЕЭС России" 09.03.2000

31. Постановление Правительства российской федерации от 16 сентября 2020 года N 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» (с изменениями на 21 мая 2021 года)

32. Схема и программа развития электроэнергетики Амурской области на 2022-2026 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.amurobl.ru/upload/iblock/f9e/SIPR-AO-2020_2024.pdf (дата обращения: 11.03.2023).