

**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 села Климоуцы Свободненского района Амурской области напряжением 10/0,4 кВ

Исполнитель  
студент группы 942-узб

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И.В. Соколов

Руководитель  
профессор, канд.техн.наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

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

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль  
ст. преподаватель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

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

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

Н.В. Савина

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**З А Д А Н И Е**

К выпускной квалификационной работе студента И.В. Соколов

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы электро-снабжения села Климоуцы Свободненского района Амурской области напряжением 10/0,4 кВ

(утверждена приказом от 03.04.2023г. № 794 )

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 05.06.23

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: поопорная схема 0,4 кВ села Климоуцы, поопорная схема фидеров питания 10 кВ села Климоуцы, однолинейная схема ПС Климоуцы, контрольный замер Свободненского РЭС Амурских электрических сетей декабрь 2022 года, паспорт Свободненского района Амурской области

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика района электроснабжения, расчёт электрических нагрузок сети 0,4 кВ, выбор и проверка проводников в сети низкого напряжения, расчёт электрических нагрузок сети 10 кВ, выбор и проверка проводников в сети высокого напряжения, расчёт электрических нагрузок на шинах ПС и КРМ, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка оборудования, компенсация емкостных токов замыкания на землю, релейная защита и автоматика, заземление

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план села с линиями 0,4 кВ, план села с реконструируемыми линиями 10 кВ, однолинейная схема сети 10 кВ, однолинейная схема ПС 35/10 Климоуцы, план и однолинейная схема ТП 7-33, микропроцессорная защита воздушной линии 10 кВ и автоматика ТП 0,4 кВ

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: профессор, канд.техн.наук Мясоедов Ю.В.

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

(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 98 с, 4 рисунка, 32 таблицы, 36 использованных источников.

ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА, САМОНЕСУЩИЙ ИЗОЛИРОВАННЫЙ ПРОВОД, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ, КАТЕГОРИЙНОСТЬ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПО НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, НАГРУЗКА ОСВЕЩЕНИЯ, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ОТВОД ЗЕМЕЛЬ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Система электроснабжения напряжением 10 – 0,4 кВ села Климоуцы Свободненского района Амурской области является объектом разработки выпускной квалификационной работы. В работе выполняется реконструкция системы электроснабжения села Климоуцы для того, чтобы повысить надёжность сети и снизить потери электроэнергии. Цель работы - выполнить реконструкцию и техническое перевооружение системы электроснабжения напряжением 10 – 0,4 кВ села Климоуцы. В работе определены уровни токов КЗ в сети 0,4-10 кВ при помощи приближенного приведения в именованных единицах. Выбраны уставки средств РЗ и А трансформаторов и линий 0,4-10 кВ.

Практическая значимость результатов работы – параметры системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Климоуцы с показателями, соответствующими требованиям нормативных и справочных актов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика района электроснабжения	9
1.1 Экономическая характеристика	9
1.2 Климато-географическая характеристика	10
1.3 Характеристика направления реконструкции	10
2 Расчёт электрических нагрузок сети 0,4 кВ	12
2.1 Расчёт нагрузок сельских жилых домов	12
2.2 Расчёт нагрузок производственных, общественных, коммунальных предприятий, зданий и сооружений	13
2.3 Расчёт нагрузки уличного освещения	14
2.4 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП	14
3 Выбор и проверка проводников в сети низкого напряжения	16
4 Расчёт электрических нагрузок сети 10 кВ	21
4.1 Потери мощности в трансформаторах	21
4.2 Выбор трансформаторов ТП	22
4.3 Нагрузки на высокой стороне ТП	25
5 Выбор и проверка проводников в сети высокого напряжения	27
5.1 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ	27
5.2 Техникоэкономическое сравнение вариантов сети 10 кВ	30
6 Расчёт электрических нагрузок на шинах ПС и КРМ	33
7 Расчет токов короткого замыкания	35
7.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	35
7.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ	39
7.3 Проверка линий 10 кВ на воздействие токов КЗ	43
7.4 Расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ ПС для проверки оборудования КРУ	45
8 Выбор и проверка оборудования	50

8.1	Выбор и проверка оборудования 0,4 кВ	50
8.1.1	Выбор и проверка автоматических выключателей для защиты линий 0,4 кВ	50
8.1.2	Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ для защиты шин ТП	52
8.2	Выбор и проверка оборудования 10 кВ	53
8.2.1	Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП	53
8.2.2	Выбор выключателей нагрузки	54
8.2.3	Выбор трансформаторов тока	57
8.2.4	Выбор трансформатора напряжения	61
8.2.5	Выбор КРУ	63
8.2.6	Выбор выключателей 10 кВ	65
9	Компенсация емкостных токов замыкания на землю	69
10	Релейная защита и автоматика	70
10.1	Токовая отсечка без выдержки времени	70
10.2	Максимальная токовая защита линий	72
10.3	Защита от однофазных замыканий на землю	73
10.4	Устройства автоматического включения резерва	75
10.5	Уставки срабатывания защит	76
11	Заземление	77
11.1	Заземляющее устройство ТП	77
11.2	Выбор ограничителей перенапряжений	80
12	Безопасность	83
12.1	Безопасность	83
12.2	Экологичность	87
12.3	Чрезвычайные ситуации	89
	Заключение	93
	Библиографический список	94

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- АВР – автоматическое включение резерва;
- АО - акционерное общество;
- АЭС – Амурские электрические сети;
- ВЛ - воздушная линия;
- ВН – высокое напряжение;
- ДРСК – Дальневосточная распределительная сетевая компания;
- ИСУ – интеллектуальная система учёта;
- КЗ – короткое замыкание;
- КЛ - кабельная линия;
- КРУ – комплектное распределительное устройство;
- ЛЭП – линия электропередачи;
- МТЗ – максимальная токовая защита;
- НН – низкое напряжение;
- ПС – подстанция;
- РЗ - релейная защита;
- РЭС – район энергоснабжения;
- СИП – самонесущий изолированный провод;
- СП – структурное подразделение;
- ТО – токовая отсечка;
- ТП – трансформаторная подстанция;
- ЦЭС – центральные электрические сети.

## ВВЕДЕНИЕ

Увеличение степени обеспеченности электроприемниками сельских потребителей и ветхое состояние существующих распределительных сетей представляет трудности для поставщиков электрической энергии потребителям в части надежности электроснабжения. Участвовавшие случаи монтажа в бытовых условиях энергоёмких потребителей в виде майнинговых ферм, серверных станций, оборудования систем водоподъёма скважин несут дополнительную нагрузку для существующих сетей 0,4 кВ сельских сетей. В меньшей мере образование и использование установок солнечных батарей компенсирует возросшую потребность в электрической энергии потребителей.

Рост тарифов на электрическую энергию и наличие большого количества электроприемников являются частой причиной самовольного или безучетного потребления электрической энергии, в результате чего дополнительно на существующие электрические сети падает большая доля пиковых нагрузок потребителей, когда потребитель по режиму работы не зависит от времени суток. Частичная мотивация потребителя к использованию многотарифных счётчиков электрической энергии для ухода в непиковую зону потребления электрической энергии не всегда позволяет разгрузить электрические сети 0,4 кВ.

Повсеместное обеспечение счётчиками электрической энергии в составе ИСУ для всех потребителей поставщиками электрической энергии трудноосуществимо, так как имеется ряд сдерживающих факторов роста тарифа на электрическую энергию, в том числе фактор снижения социальной напряженности.

Неопределенность в имеющийся нагрузки электроприёмников сельских потребителей приводит к тому, что проектные нагрузки сетей 0,4 кВ чаще всего выполняются с запасом по пропускной способности. На основе статистики обращений потребителей в имеющиеся контакт-центры АО «ДРСК» и ПАО «ДЭК» жалобы потребителей на некачественную электрическую энергию возникающие проблемы чаще всего происходят от перегрузки имеющихся электрических сетей чрезмерным количеством подключений по питающим линиям.

Для поставщика электрической энергии стимулом выполнения модернизации электросетевого комплекса в части снижения затрат от отпуска некачественной электрической энергии конечным потребителям является работы по повышению эффективности сетей и снижения потерь электрической энергии в них. Так как оплата потребленной электрической энергии в случае установления факта несоответствия показателям качества потребителей не производится, то своевременный контроль загруженности сетей позволяет избежать убытков.

Состояние сетей 0,4-10 кВ села Климоуцы обуславливает необходимость их реконструкции.

Актуальность проекта: в связи с изношенностью оборудования и сетей 0,4-10 кВ села Климоуцы в системе электроснабжения данных сёл отмечается большой уровень потерь электроэнергии.

Цель проекта заключается в том, чтобы предложить способы по снижению потерь электроэнергии в выбранном районе, используя рекомендации и способы по снижению потерь [1].

В работе проведен анализ уровня потерь электроэнергии в системе электроснабжения села Климауцы, применены провода типа СИП для сетей 0,4 – 10 кВ села Климауцы, оптимально загружены трансформаторы ТП, обеспечено соответствие схемы подключения и категории надежности электроснабжения потребителей села Климауцы, описаны меры безопасности при монтаже сетей и оборудования реконструируемого района.

Практическая значимость результатов работы – параметры системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Климоуцы с показателями, соответствующими требованиям нормативных и справочных актов.

Новизна работы – использование порядка расчёта основных параметров оборудования в соответствии с его доступностью для закупки и монтажа.

При проектировании использовались следующие программные продукты с лицензионными ключами: Microsoft Office Word-2017; Microsoft Office Excel-2017; Microsoft MS Visio-2017.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

## 1.1 Экономическая характеристика

Расположение села Климоуцы на карте Свободненского района Амурской области показано на рисунке 1.

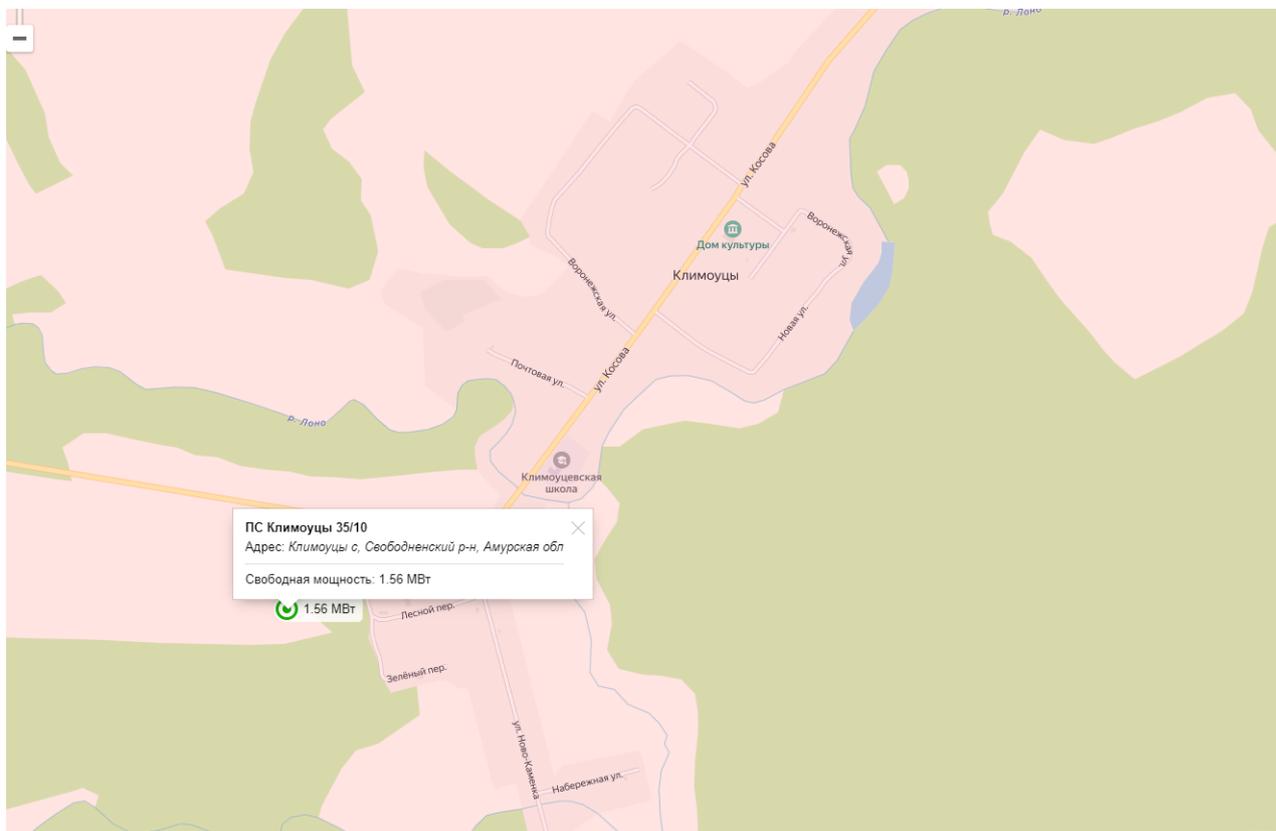


Рисунок 1 - Амурская область, Климоуцевский сельсовет

В [7] указана основная информация, которую можно использовать при проектировании. Указывается общая протяженность автомобильных дорог 490 км, что оценивается с точки зрения доступности и развитости при формировании плана-графиков работы оперативно-выездных бригад, выполняющих функции по восстановлению электроснабжения села Климоуцы,

Экономика Свободненского района получает основную прибыль в виде налог от сельскохозяйственной деятельности, при этом активных крестьянско-фермерских хозяйств на 2023 год насчитывается более 30. Выделяются в общей

структуре ответственных потребителей цеха забоя и выращивания скота, обработки сырья и приготовления мясной продукции, более 5 индивидуальных предпринимателей задействованы в программе развития района.

### **1.2 Климато-географическая характеристика**

При площади Свободненского района 83737,8 м<sup>2</sup>, в отношении села Климоуцы площадь земель сельско-хозяйственного назначения составляет 20,137 га.

Климатическая характеристика района сводится к наличию континентального климата, за многолетний период наблюдений температура воздуха самого холодного месяца колеблется от -17°С до -42°С в январе до самого теплого до +35°С градусов в июле. Интенсивность осадков за среднегодовой период - 727,6 мм. Мощность снежного покрова 110 мм. Паводковые явления в отношении земель, находящихся в зоне подтопления наиболее активно выражены в июле и августе [7].

### **1.3 Характеристика направления реконструкции**

В качестве центра питания сетей 10-0,4 кВ села Климоуцы используется питающая подстанция 35/10 кВ «Климоуцы», по данным контрольного замера зимы 2022 года подстанция 35/10 кВ «Климоуцы» не перегружена, имеется резерв мощности 1,56 МВт. Степень износа оборудования – 65%, имеются масляные выключатели ВМП-10/630 (яч. 1), ВМГ-133-10-20-1/630 (яч. 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13), ячейки устаревшего образца КРН-3-10 (яч. 2-13). Повышение надёжности центра питания 10 кВ села Климоуцы достигается заменой масляных выключателей на вакуумные, заменой КРУ-10 кВ на современный тип оборудования КРУ.

Распределительные сети 10 кВ села Климоуцы выполнены проводами марки АС-25, АС-35. Распределительные сети 0,4 кВ села Климоуцы также выполнены проводами марки АС-35, АС-25, что в итоге негативно сказывается на надёжности сетей. Повышение надёжности системы электроснабжения 10-0,4 кВ села Климоуцы достигается заменой проводов АС на провода марки СИП.

В качестве добавления в схему 10 кВ резервного источника питания рассматриваются петлевые участки сети 10 кВ.

Характер нагрузки ТП 10/0,4 кВ села Климоуцы преимущественно бытовой (более 70% потребителей), производственная нагрузка потребителей составляет 30% потребителей, количество ТП 10/0,4 кВ – 8 шт.

Тенденция величины технических потерь электрической энергии с 2019 года по настоящее время выражается в росте с 10% (2019 год) до 11% (2022 год), при этом тенденция величины коммерческих потерь электрической энергии с 2019 года по настоящее время выражается в снижении с 10% (2019 год) до 7% (2022 год). Снижение технических потерь возможно при выборе сечения проводников в соответствии с пропускной способностью сетей 10-0,4 кВ, снижение коммерческих потерь возможно при использовании проводников СИП, монтажом приборов учёта электрической энергии на фасадах домов или опорах на границе землевладений потребителя и сетевой организации.

## 2 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СЕТИ 0,4 КВ

### 2.1 Расчёт нагрузок сельских жилых домов

Методика вычисления расчётной нагрузки жилых домов в сельской местности приведена в [5] и состоит в использовании удельных значений нагрузки на квартиру.

Порядок вычисления расчётной нагрузки на вводе в жилой дом на 2 квартиры приведен в [5] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$P_p = P_{p, \text{уд}} \cdot n ; \quad (1)$$

$$P_p = 7,5 \cdot 2 = 15 \text{ кВт};$$

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi} ; \quad (2)$$

$$S_p = \frac{15}{0,97} = 15,4 \text{ кВА.}$$

где  $P_{p, \text{уд}}$  - удельная нагрузка на вводе в жилой дом на 1 квартиру;

$n$  - количество квартир;

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности нагрузки жилого дома.

Выше показан образец расчёта нагрузки на вводе в жилой дом, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 1, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 1 – Расчётные нагрузки жилых домов

Объект	Pp, кВт	Qp, кВар	Sp, кВА	cos(φ)	Кат. по над-ти
Дом на 1 кв, эл.пищеприготовление	7,5	1,87	8	0,97	3
Дом на 2 кв, эл.пищеприготовление	15	3,74	15,4	0,97	3

## 2.2 Расчёт нагрузок производственных, общественных, коммунальных предприятий, зданий и сооружений

Методика вычисления расчётной нагрузки общественных зданий в сельской местности приведена в [5] и состоит в использовании удельных значений нагрузки на единицу площади, мест посещения.

Порядок вычисления расчётной нагрузки на вводе в контору на 5 мест приведен в [10] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$P_k = P_{к.уд} \cdot n_{мест}; \quad (3)$$

$$P_k = 1 \cdot 5 = 5 \text{ кВт},$$

где  $P_{к.уд}$  – удельная мощность конторских помещений, [5] 1 кВт/место.

$n_{мест}$  – количество рабочих мест, шт.

Выше показан образец расчёта нагрузки на вводе в общественное здание, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 2, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 2 – Расчётные нагрузки производственных, общественных, коммунальных предприятий, зданий и сооружений

Объект	Pr, кВт	Qr, кВар	Sp, кВА	cos(φ)	Кат. по над-ти
контора	5	3	6	0,86	3
скважина	20	10	22	0,89	3
дк	32	20	38	0,85	3
гараж малый	10	8,5	13	0,76	3
гараж большой	20	17	26	0,76	3
магазин, пекарня	10	5	11	0,89	3
Склад	20	12	23	0,86	3
котельная	28	20	34	0,81	2
Школа, садик	21	8,1	23	0,93	2
больница	50	35	61	0,82	2
столярка	5	4	12	0,82	3
здание ДРСУ	15	12	39	0,77	3
зерносушилка	65	60	88	0,73	3

### 2.3 Расчёт нагрузки уличного освещения

Порядок вычисления расчётной нагрузки уличного освещения для ТП 7-37 приведен в [10] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$P_{oc} = P_{oc,уд} \cdot l; \quad (4)$$

$$P_{oc} = 5 \cdot 1,14 = 5,7 \text{ кВт},$$

где  $P_{oc,уд}$  – удельная мощность, для освещения улиц по [6] 5 кВт/км.

$l$  – длина, км.

Выше показан образец расчёта нагрузки освещения ТП, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 3, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 3 – Нагрузка освещения

Наименование ТП	$P_{oc,уд}$ , кВт/км.	$l$ , км	$P_{oc}$ , кВт
7-37	5	1,14	5,7
7-20	5	2,16	10,8
7-33	5	0,81	4,05
7-22	5	2,04	10,2
7-57	5	0,69	3,45
7-42	5	0,45	2,25
7-23	5	1,74	8,7

### 2.4 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП

Порядок вычисления расчётной нагрузки на стороне 0,4 кВ для ТП 7-37 приведен в [5] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$P_{P \text{ ТП } 7-37} = P_{P \text{ ф-1}} + P_{P \text{ ф-2дооб}} + P_{P \text{ ф-3дооб}} + P_{oc}; \quad (5)$$

$$P_{P \text{ ТП } 7-37} = 43 + 27,2 + 27,2 + 5,7 = 108 \text{ кВт}.$$

$$S_{P_{ТП7-37}} = P_{P_{ТП7-37}} / \cos\varphi_{cp}; \quad (6)$$

$$S_{P_{ТП7-37}} = \frac{108}{0.93} = 116 \text{ кВА};$$

где  $P_{P_{\phi-1}}$  – расчётная нагрузка фидера с максимальной нагрузкой из числа присоединений, для фидера 1 - 43 кВт;

$P_{P_{\phi-2\text{доб}}}$  – добавочная расчётная нагрузка фидера 2 из числа присоединений, для фидера 2 расчётная нагрузка 41 кВт, добавочная 27,2 кВт;

$P_{P_{\phi-3\text{доб}}}$  – добавочная расчётная нагрузка фидера 3 из числа присоединений, для фидера 3 расчётная нагрузка 41 кВт, добавочная 27,2 кВт;

$\cos\varphi_{cp}$  - средний коэффициент мощности по всем фидерам ТП.

Выше показан образец расчёта нагрузки на стороне 0,4 кВ ТП, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 4, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 4 – Нагрузки ТП на стороне 0,4 кВ

№ ТП	$S_p$ , кВА	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр
ТП 7-37	116	108	42,5
ТП 7-20	135	131	35,2
ТП 7-33	211	184	103,8
ТП 7-22	202	190	67,1
ТП 7-57	116	103	52,4
ТП 7-42	66	58	31,8
ТП 7-23	109	106	26,3

### 3 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ПРОВОДНИКОВ В СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Порядок вычисления расчётной нагрузки фидера-1 0,4 кВ для ТП 7-37 приведен в [10] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$S_{P \text{ ф-1 ТП 7-37}} = S_{P i} \cdot K_o \cdot n_{нотр}; \quad (7)$$

$$S_{P \text{ ф-1 ТП 7-37}} = 15,4 \cdot 17 \cdot 0,31 = 44 \text{ кВА};$$

где  $K_o$  - коэффициент одновременности для 17 жилых домов, подключенных к фидеру-1, 0,31;

$S_{P i}$  – полная нагрузка жилого дома, 15,4 кВА;

$n_{нотр}$  – число жилых домов, подключенных к фидеру-1, 17 шт.

Порядок вычисления тока фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37 приведен в [6] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (8)$$

$$I_P = \frac{44}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 62 \text{ А}.$$

Порядок выбора провода для фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37 приведен в [10] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_p \leq I_{\text{доп пров}};$$

$$62 \text{ A} \leq 100 \text{ A};$$

где  $I_{\text{доп пров}}$  – длительно допустимый ток провода СИП 2А 3х16+1х10, [26].

Выше показан образец выбора проводов в сети 0,4 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 5, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 5 – Выбор проводов в сетях.0,4 кВ села Климоуцы

Наименование ТП	Тип потребителей	$N_{\text{потр}}$	$P_{\text{сумм}}$ , кВт	$S_{\text{сумм}}$ , кВА	$K_o$	$P_p$ , кВт	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	$I_{\text{доп}}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП 7-37									
ф-1	подключены жилые дома	17	137,5	143	0,31	43	44	62	195
ф-2	подключены жилые дома	14	135	139	0,3	41	42	59	195
ф-3	подключены пром. потребители	5	55	64	0,75	41	48	60	100
ВЛ	освещение		11,4			11,4		16	100
ТП 7-20									
ф-1	подключены жилые дома более чем на 90%	23	182,5	191	0,28	51	53	74	290
ф-2	подключены жилые дома	11	82,5	85	0,37	31	31	44	201
ф-3	подключены жилые дома	23	195	201	0,28	55	56	79	293
ВЛ	освещение		21,6			21,6		31	160
ТП 7-33									
ф-1	подключены пром. потребители	6	200	259	0,725	145	188	210	290
ф-2	подключены жилые дома более чем на 90%	15	142,5	147	0,32	46	47	66	195
ВЛ	освещение		8,1			8,1		12	100
ТП 7-22									
ф-1	подключены жилые дома более чем на 90%	23	222,5	242	0,28	62	68	90	240
ф-2	подключены жилые дома более чем на 90%	39	340	353	0,24	82	85	118	344
ф-3	подключены жилые дома более чем на 90%	5	37,5	39	0,5	19	19	27	100

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ф-4	подключены жилые дома более чем на 90%	12	144	157	0,35	50	55	73	195
ВЛ	освещение		20,4			20,4		29	160
ТП 7-57									
ф-1	подключены жилые дома более чем на 90%	5	82	91	0,5	41	46	59	100
ф-2	подключены жилые дома более чем на 90%	15	160	167	0,32	51	53	74	195
ф-3	подключены пром. потребители	1	28	34	1	28	34	40	100
ВЛ	освещение		6,9			6,9		10	195
ТП 7-42									
ф-1	подключены жилые дома более чем на 90%	2	40	51	0,85	34	44	49	100
ф-2	подключены жилые дома более чем на 90%	9	75	77	0,4	30	31	43	130
ВЛ	освещение		4,5			4,5		7	100
ТП 7-23									
ф-1	подключены жилые дома	23	172,5	178	0,28	48	50	70	290
ф-2	подключены жилые дома	16	120	124	0,31	37	38	54	240
ф-3	подключены жилые дома	8	60	62	0,41	25	25	36	100
ВЛ	освещение		17,4			17,4		25	160

Порядок расчёта потери напряжения для фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37 с проводом СИП 2А 3х16+1х10 приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \frac{100}{U_H} \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi), \quad (9)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 62 \cdot 0,48 \cdot \frac{100}{400} \cdot (1,91 \cdot 0,96 + 0,1 \cdot 0,3) = 25,1\%,$$

где  $\cos\varphi$  – расчётный средний коэффициент мощности для фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37;

$\sin\varphi$  – расчётный средний коэффициент активной мощности для фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37;

$l$  – протяжённость трассы фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37, 0,48 км;

$I_p$  – расчётный ток фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37, 62 А;

$r_{уд}, x_{уд}$  – удельные сопротивления фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37, Ом/км;

$U_n$  – номинальное напряжение участка сети, 400 В.

Порядок проверки провода для фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37 с проводом СИП 2А (3х16+1х10) на потерю напряжения приведен в [6] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}}, \quad (10)$$

$$25,1 \% < 10\%,$$

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  – величина допустимого падения напряжения 10% по ГОСТ 32144-2013.

Проверка провода для фидера-1 0,4 кВ ТП 7-37 с проводом СИП 2А (3х16+1х10) на потерю напряжения не выполняется, выполняется замена провода на СИП 2А (3х50+1х16):

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 62 \cdot 0,48 \cdot \frac{100}{400} \cdot (0,64 \cdot 0,96 + 0,09 \cdot 0,3) = 8,6 \%;$$

$$8,6 \% < 10\%.$$

Выше показан образец проверки проводов в сети 0,4 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 6, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 6 – Потери напряжения в сетях 0,4 кВ

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	I <sub>p</sub> , А	L, км	cos(φ)	sin(φ)	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔU, %
ТП 7-37							
φ-1	62	0,48	0,96	0,3	0,64	0,09	8,6
φ-2	59	0,54	0,97	0,2	0,64	0,09	9,2
φ-3	60	0,12	0,86	0,5	1,91	0,1	5,5
ВЛ	16	0,54	1,00	0,0	1,91	0,1	7,7
ТП 7-20							
φ-1	74	0,69	0,96	0,3	0,32	0,09	7,7
φ-2	44	0,75	0,97	0,2	0,64	0,09	9,7
φ-3	79	0,72	0,97	0,2	0,32	0,09	8,6
ВЛ	31	0,75	1,00	0,0	0,87	0,09	9,3
ТП 7-33							
φ-1	210	0,33	0,77	0,6	0,32	0,09	9,6
φ-2	66	0,48	0,97	0,2	0,64	0,09	9,3
ВЛ	12	0,48	1,00	0,0	1,91	0,1	4,9
ТП 7-22							
φ-1	90	0,48	0,92	0,4	0,44	0,09	8,7
φ-2	118	0,78	0,96	0,3	0,206	0,09	9,3
φ-3	27	0,36	0,97	0,2	1,91	0,1	8,3
φ-4	73	0,42	0,92	0,4	0,64	0,09	8,7
ВЛ	29	0,78	1,00	0,0	0,87	0,09	9,1
ТП 7-57							
φ-1	59	0,18	0,90	0,4	1,91	0,1	8,6
φ-2	74	0,42	0,96	0,3	0,64	0,09	9,0
φ-3	40	0,09	0,81	0,6	1,91	0,1	2,7
ВЛ	10	0,42	1,00	0,0	0,64	0,09	1,2
ТП 7-42							
φ-1	49	0,09	0,78	0,6	1,91	0,1	3,1
φ-2	43	0,36	0,97	0,2	1,2	0,09	8,4
ВЛ	7	0,36	1,00	0,0	1,91	0,1	2,0
ТП 7-23							
φ-1	70	0,78	0,97	0,2	0,32	0,09	8,2
φ-2	54	0,72	0,97	0,2	0,44	0,09	7,9
φ-3	36	0,24	0,97	0,2	1,91	0,1	7,3
ВЛ	25	0,78	1,00	0,0	0,87	0,09	7,8

Все провода в сети 0,4 кВ села Климоуцы проходят проверку по потере напряжения.

## 4 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СЕТИ 10 КВ

### 4.1 Потери мощности в трансформаторах

Порядок вычисления активных потерь мощности в трансформаторе ТП 7-42 приведен в [12] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K, \quad (11)$$

$$\Delta P_T = 0,37 + 0,66^2 \cdot 1,97 = 1,2 \text{ кВт};$$

где  $\Delta P_X$  - активные потери холостого хода в трансформаторе ТМ-100/10, 0,37 кВт [12];

$\Delta P_K$  - активные потери короткого замыкания в трансформаторе ТМ-100/10, 1,97 кВт [12];

Порядок вычисления реактивных потерь холостого хода в трансформаторе ТП 7-42 приведен в [12] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \quad (12)$$

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

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

$I_x$  - ток холостого хода трансформатора ТМ-100/10, 2,6% [12].

Порядок вычисления реактивных потерь короткого замыкания в трансформаторе ТП 7-42 приведен в [12] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_K}{100}, \quad (13)$$

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

где  $U_K$  - напряжение короткого замыкания трансформатора ТМ-100/10, 4,6% [12].

Порядок вычисления реактивных потерь мощности в трансформаторе ТП 7-42 приведен в [12] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (14)$$

$$\Delta Q_T = 2,6 + 0,66^2 \cdot 4,6 = 4,6 \text{ кВАр}.$$

Выше показан образец расчёта потерь мощности в трансформаторах ТП, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 7, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 7 – Потери мощности в трансформаторах ТП села Климоуцы

№ ТП	$\Delta P_T$ , кВт	$\Delta Q_T$ , кВт
ТП 7-37	2,0	7,7
ТП 7-20	1,9	9,0
ТП 7-33	2,6	13,4
ТП 7-22	1,6	6,7
ТП 7-57	1,0	4,1
ТП 7-42	1,2	4,6
ТП 7-23	1,8	7,2

## 4.2 Выбор трансформаторов ТП

Порядок вычисления требуемой мощности силовых трансформаторов ТП 7-42 приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных

$$S_{PT} = \frac{S_{ТП}}{n_T \cdot K_C}, \quad (15)$$

$$S_{PT7-42} = \frac{66}{1 \cdot 0,8} = 82 \text{ кВА},$$

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

$n_T$  - число трансформаторов при наличии третьей категории потребителей по надёжности электроснабжения;

$K_C$  - коэффициент допустимой систематической нагрузки, 0,8, [13].

Порядок выбора мощности силовых трансформаторов ТП 7-42 приведен в [10] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$S_{\text{ном ТП7-42}} \geq S_{PT7-42}; \quad (16)$$

$$100 \text{ кВА} \geq 82 \text{ кВА};$$

где  $S_{\text{ном ТП7-42}}$  - номинальная мощность трансформатора ТП 7-42, 100 кВА.

Порядок вычисления коэффициентов загрузки силовых трансформаторов ТП 7-42 приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных

$$K_{3 \text{ норм}} = \frac{S_P}{S_{\text{НОМТР}} \cdot N_{TP}} \geq 0,5; \quad (17)$$

$$K_{3 \text{ норм}} = \frac{66}{100 \cdot 1} = 0,66 \geq 0,5;$$

$$K_{3 \text{ на}} = \frac{S_P}{S_{\text{НОМТР}} \cdot (N_{TP} - 1)} \leq 1,4; \quad (18)$$

$$K_{3na} = \frac{66}{100 \cdot (1)} = 0,66 \leq 1,4.$$

Выше показан образец расчёта требуемой мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 8, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 8 – Выбор трансформаторов

№ ТП	S <sub>p</sub> , кВА	N <sub>тр</sub>	K <sub>загр</sub>	S <sub>расч</sub> , кВА	S <sub>ном</sub> , кВА	K <sub>загр факт</sub>	K <sub>загр авар</sub>
ТП 7-37	146	1	0,8	146	160	0,73	0,73
ТП 7-20	169	1	0,8	169	250	0,54	0,54
ТП 7-33	264	1	0,8	264	400	0,53	0,53
ТП 7-22	144	2	0,7	144	160	0,6	1,3
ТП 7-57	83	2	0,7	83	100	0,58	1,16
ТП 7-42	82	1	0,8	82	100	0,66	0,66
ТП 7-23	136	1	0,8	136	160	0,68	0,68

Среди существующих ТП имеются недогруженные, вывод об их замене необходимо сделать после расчёта нагрузки сети 0,4 кВ. Потребители подключаемые к недогруженным ТП переподключаются на аналогичные недогруженные ТП, тем самым создавая оптимальный по загрузке режим работы трансформаторов. По селу Климоуцы такие ТП: ТП 7-37 1x400, ТП 7-57 1x250, ТП 7-42 1x400. Исключение данные ТП из сети 10 кВ позволит уменьшить технические потери в сети 10 кВ (нагрузочные потери короткого замыкания, постоянные потери холостого хода). В системе электроснабжения села перегруженная ТП – ТП 7-23 1x100, ТП 7-20 1x160, ТП 7-33 1x250.

Для обоснования замены трансформаторов на ТП 7-37 проверим фактически установленные трансформаторы по загрузке. На ТП 7-37 установлены трансформаторы ТМ 400 – 1 шт.:

$$K_{3norm} = \frac{S_p}{S_{НОМТР} \cdot N_{ТР}}; \quad (19)$$

$$K_{3norm} = \frac{146}{400 \cdot 1} = 0,29.$$

Из расчёта видно, что фактически установленные трансформаторы недогружены. Поэтому рекомендуется их заменить на ТМ 160, к примеру с разукрупненный ТП 7-20 1х160 при условии, что тип трансформатора подойдёт для установки на опоре в составе столбовой/мачтовой ТП.

Выше показан образец проверки установленных фактически трансформаторов на ТП 10/0,4 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 9, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 9 – Проверка загрузки трансформаторов

№ ТП	S <sub>p</sub> , кВА	S <sub>ном факт</sub> , кВА	K <sub>загр факт</sub>	Характеристика
ТП 7-37	146	400	0,29	недогружен, меняется на ТМ-160/10
ТП 7-20	169	160	0,85	перегружен, меняется на ТМ-250/10
ТП 7-33	264	250	0,85	перегружен, меняется на ТМ-400/10
ТП 7-22	144	250	0,81	Оптимальная нагрузка, не соответствует категорийности потребителей (категория 2), устанавливается дополнительно 2й трансформатор ТМ-160/10
ТП 7-57	83	250	0,46	недогружен, не соответствует категорийности потребителей (категория 2), устанавливается дополнительно 2й трансформатор ТМ-100/10
ТП 7-42	82	400	0,16	недогружен, меняется на ТМ-100/10
ТП 7-23	136	100	1,09	перегружен, меняется на ТМ-160/10

### 4.3 Нагрузки на высокой стороне ТП

Порядок вычисления нагрузки силовых трансформаторов ТП 7-37 на стороне 10 кВ приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(P_{ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + \Delta Q_{ТП})^2}; \quad (20)$$

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(108 + 2)^2 + (42,5 + 7,7)^2} = 121 \text{ кВА.}$$

Выше показан образец расчёта нагрузки трансформаторов ТП 10/0,4 кВ села Климоуцы на стороне 10 кВ, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 10, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 10 - Нагрузка ТП на стороне 10 кВ

№ ТП	P <sub>пр</sub> , кВт	Q <sub>пр</sub> , кВар	S <sub>пр</sub> , кВА
ТП 7-37	110	50	121
ТП 7-20	133	44	140
ТП 7-33	187	117	220
ТП 7-22	193	80	210
ТП 7-57	105	61	121
ТП 7-42	59	36	69
ТП 7-23	107	34	112

## 5 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ПРОВОДНИКОВ В СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

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

В целях улучшения эксплуатационных свойств и надёжности распределительных сетей 10 кВ села Климоуцы в качестве проводника используется провод СИП – 3 [26]. С целью выбора оптимальной конфигурации по критерию минимума приведенных затрат составляем 2 варианта исполнения схемы сети 10 кВ села Климоуцы.

Вариант 1 – Схема подключения ТП 7-22 – ТП 7-57 выполняется резервированной двухцепной линией от разных секций шин ПС Климоуцы, что обосновывает установку резервных трансформаторов на данных ТП. Оставшаяся часть села подключается по магистральной нерезервированной схеме.

Вариант 2 – Схема подключения ТП кольцевая.

Порядок вычисления расчётной нагрузки фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57 приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$P_{P \text{ ВЛ ТП } 7-33/7-22/7-57} = (P_{P \text{ ТП } 7-33} + P_{P \text{ ТП } 7-22} + P_{P \text{ ТП } 7-57}) \cdot K_{o10 \text{ кВ}}; \quad (21)$$

$$P_{P \text{ ВЛ ТП } 7-33/7-22/7-57} = (187+193+105) \cdot 0,9=586 \text{ кВт};$$

$$Q_{P \text{ ВЛ ТП } 7-33/7-22/7-57} = (Q_{P \text{ ТП } 7-33} + Q_{P \text{ ТП } 7-22} + Q_{P \text{ ТП } 7-57}) \cdot K_{o10 \text{ кВ}}; \quad (22)$$

$$Q_{P \text{ ВЛ ТП } 7-33/7-22/7-57} = (117+80+61) \cdot 0,9=295 \text{ квар};$$

$$S_{P \text{ ВЛ ТП } 7-33/7-22/7-57} = \sqrt{P_{P \text{ ВЛ ТП } 7-33/7-22/7-57}^2 + Q_{P \text{ ВЛ ТП } 7-33/7-22/7-57}^2}; \quad (23)$$

$$S_{P \text{ ВЛ ТП } 7-33/7-22/7-57} = \sqrt{586^2 + 295^2}=656 \text{ кВА};$$

где  $K_{o10\text{ кВ}}$  - коэффициент одновременности для ТП -7-33/7-22/7-57, подключенных к фидеру 10 кВ, при количестве ТП до 5 шт - 0,9, при количестве ТП более 5 шт - 0,8.

Порядок вычисления тока фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57 приведен в [15] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} ; \quad (24)$$

$$I_P = \frac{656}{\sqrt{3} \cdot 10} = 38 \text{ А}.$$

Порядок выбора провода для фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57 приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_P \leq I_{\text{доп пров}}; \quad (25)$$

$$38 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

где  $I_{\text{доп пров}}$  – длительно допустимый ток провода СИП-3 3х35 [6].

Выше показан образец выбора проводов в сети 10 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 11, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 11 – Расчёт сечения проводов в сети 10 кВ села Климоуцы

Линия	$P_{\text{сум}}$ , кВт	$Q_{\text{сум}}$ , кВАр	$S_{\text{сум}}$ , кВА	$K_o$	$P_P$ , кВт	$Q_P$ , кВАр	$S_P$ , кВА	$I_P$ , А	$I_{\text{доп}}$ , А	F СИП-3, мм <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вариант 1										
ТП 7-33/7-22/7-57	651	328	729	0,9	586	295	656	38	200	35
участок ТП 7-57-7-23/7-42	166	70	180	0,9	149	63	162	9	200	35
ТП -7-37/7-20	243	94	261	0,9	219	85	235	14	200	35

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
обрыв одной цепи	651	328	729	0,8	521	263	583	34	200	35
Вариант 2										
ТП -7-33/7-22/7-42/7-23	546	268	608	0,9	492	241	547	32	200	35
ТП -7-37/7-20/7-57	348	155	381	0,9	313	140	343	20	200	35
обрыв головного участка	894	423	989	0,8	715	338	791	46	200	35

Порядок расчёта потери напряжения для фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57 приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \frac{100}{U_n} \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{1}{N_{ц}};$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 38 \cdot 5,2 \cdot \frac{100}{10000} \cdot (0,986 \cdot 0,89 + 0,1 \cdot 0,45) \cdot \frac{1}{2} = 1,6\%,$$

где  $\cos \varphi$  – расчётный средний коэффициент мощности фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57, 0,89;

$\sin \varphi$  – расчётный средний коэффициент активной мощности фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57, 0,45;

$l$  – протяжённость трассы фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57, 5,2 км;

$I_p$  – расчетный ток фидера 10 кВ с ТП -7-33/7-22/7-57, 38 А;

$r_{уд}, x_{уд}$  – удельные сопротивления фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57, Ом/км;

$U_n$  – номинальное напряжение участка сети, 10000 В;

$N_{ц}$  – количество параллельных цепей фидера.

Порядок проверки фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57 на потерю напряжения приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}},$$

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

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  – величина допустимого падения напряжения 10% по ГОСТ 32144-2013

. Выше показан образец проверки проводов в сети 10 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 12, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 12 - Расчёт потери напряжения в сети 10 кВ села Климоуцы

Линия	$I_p$ , А	L, км	$n_{\text{ц}}$	$R_{\text{л}}$ , Ом/км	$X_{\text{л}}$ , Ом/км	$\Delta W_{\text{л}}$ , кВтч	$\Delta U_{\text{л}}$ , %
Вариант №1							
ТП 7-33/7-22/7-57	38	5,2	2	0,986	0,10	55329	1,6
участок ТП 7-57-7-23/7-42	9	1,7	1	0,986	0,10	2165	0,3
ТП -7-37/7-20	14	1,7	1	0,986	0,10	4610	0,4
обрыв одной цепи	34	6,9	1	0,986	0,10	115458	3,7
Вариант №2							
ТП -7-33/7-22/7-42/7-23	32	5,8	1	0,986	0,10	85828	3,0
ТП -7-37/7-20/7-57	20	6,5	1	0,986	0,10	37551	2,1
обрыв головного участка	46	10,6	1	0,986	0,10	327447	7,8

## 5.2 Техникоэкономическое сравнение вариантов сети 10 кВ

Порядок расчёта приведенных затрат для сети 10 кВ села Климоуцы приведен в [16] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$Z = E_H \cdot K + И = E_H \cdot (K_{\text{вл}} + K_{\text{выкл}}) + (A \cdot K_{\text{вл}} + A \cdot K_{\text{выкл}}) + C_0 \cdot (\Delta W_{\text{вл}}) \cdot 10^{-3}, \quad (26)$$

$$Z = 0,1 \cdot (3 \cdot 260 + 13,79 \cdot 64,11) + (13,79 \cdot 64,11 \cdot 0,005 + 3 \cdot 260 \cdot 0,059) + (3 \cdot 260 + 13,79 \cdot 64,11) / 20 + (1,71 \cdot 62104 / 1000) = 406 \text{ тыс.руб.};$$

где  $E_H$  - норматив дисконтирования, 10%;

$K_{ВЛ}$  - капиталовложения в реконструируемые ВЛ села Климоуцы, используются актуальные данные по объектам-аналогам [16];

$K_{ВЫКЛ}$  - капиталовложения в реконструируемые ячейки КРУ ПС Климоуцы, используются актуальные данные по объектам-аналогам [16];

$C_0$  – стоимость потерь электроэнергии, 1,71 руб/кВт·ч [24];

$A$  - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание  $a_{ам.выкл} = 5,9\%$ ,  $a_{ам.ВЛЭП} = 0,5\%$ , [16];

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

Порядок расчёта потерь электроэнергии для фидера 10 кВ с подключенными ТП -7-33/7-22/7-57 приведен в [16] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$\Delta W_{ВЛ} = \frac{(P_{Л})^2 + (Q_{Л})^2}{U_{ном}^2} \cdot (r_{уд} \cdot \frac{1}{N_{Ц}}) \cdot T, \quad (27)$$

$$\Delta W_{ВЛ} = (586^2 + 295^2) / (10^2) \cdot (0,986 \cdot 5,2/2) \cdot 5000 = 55329 \text{ кВтч};$$

где  $T$  – число часов максимальных потерь мощности, для Амурской области 5000 ч [15].

Расчёт потерь электроэнергии по каждому фидеру 10 кВ в нормальном режиме работы сети проводится отдельно, далее определяется суммарная величина потерь электроэнергии для нормального режима работы сети 10 кВ. Ввиду того, что послеаварийные режимы работы сети 10 кВ кратковременны и носят непродолжительный характер, величина потерь электроэнергии для них не принимается в рассмотрении при расчёте приведенных затрат.

Выше показан образец расчёта приведенных затрат для сети 10 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 13, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 13 – Приведенные затраты для сети 10 кВ села Климоуцы,

исходные данные	по варианту 1	по варианту 2	
$N_{\text{выкл}}$ , шт	3	2	
$L_{\text{пров35}}$ , км	13,79	13,41	
$C_{\text{выкл}}$ , тыс. руб	260	260	
$C_{\text{пров35}}$ , тыс. руб	64,11	64,11	
$C_{\text{потерь ээ}}$ , руб/кВтч	1,71	1,71	
расчётные данные	по варианту 1	по варианту 2	
$I_{\text{пров экспл}}$ , тыс. руб	4	4	
$I_{\text{выкл экспл}}$ , тыс. руб	46	31	
$I_{\text{аморт}}$ , тыс. руб	83	69	разница
$I_{\text{потерь ээ}}$ , тыс. руб	106	211	105
$Z$ , тыс. руб	406	453	47

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 1 дешевле на 47 тыс. руб (10%).

## 6 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ШИНАХ ПС И КРМ

Порядок вычисления расчётной нагрузки на шинах 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$P_{P\text{ ПС}} = (\Sigma P_{P\text{ ТП}}) \cdot K_{o10\text{ кВ}}; \quad (28)$$

$$P_{P\text{ ПС}} = (894) \cdot 0,8 = 715 \text{ кВт};$$

$$Q_{P\text{ ПС}} = (\Sigma Q_{P\text{ ТП}}) \cdot K_{o10\text{ кВ}}; \quad (29)$$

$$Q_{P\text{ ПС}} = (423) \cdot 0,8 = 338 \text{ квар};$$

$$S_{P\text{ ПС}} = \sqrt{P_{P\text{ ПС}}^2 + Q_{P\text{ ПС}}^2}; \quad (30)$$

$$S_{P\text{ ПС}} = \sqrt{715^2 + 338^2} = 791 \text{ кВА};$$

где  $K_{o10\text{ кВ}}$  - коэффициент одновременности для шин 10 кВ ПС «Климауцы», 0,8.

Порядок вычисления тока нагрузки на шинах 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (31)$$

$$I_P = \frac{791}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46 \text{ А}.$$

Порядок вычисления коэффициента мощности на шинах 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$\operatorname{tg}\varphi = Q_P / P_P, \quad (32)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = 338 / 715 = 0,47.$$

Так как к ПС «Климауцы» помимо села Климоуцы подключено село Новостепановка, Талали, Семеновка, нагрузка которого не рассматривается, и ввиду незначительного превышения требуемого коэффициента мощности (0,4), то вопрос компенсации реактивной мощности на стороне 10 кВ ПС «Климауцы» не рассматривается.

## 7 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

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

Используется подробный расчёт токов короткого замыкания на стороне 10 кВ каждой ТП Села Климоуцы, что позволяет точнее подбирать параметры защитной аппаратуры и оборудования системы электроснабжения. На рисунке 2 показаны схемы замещения и исходные схемы для расчёта токов короткого замыкания в сети 10 кВ

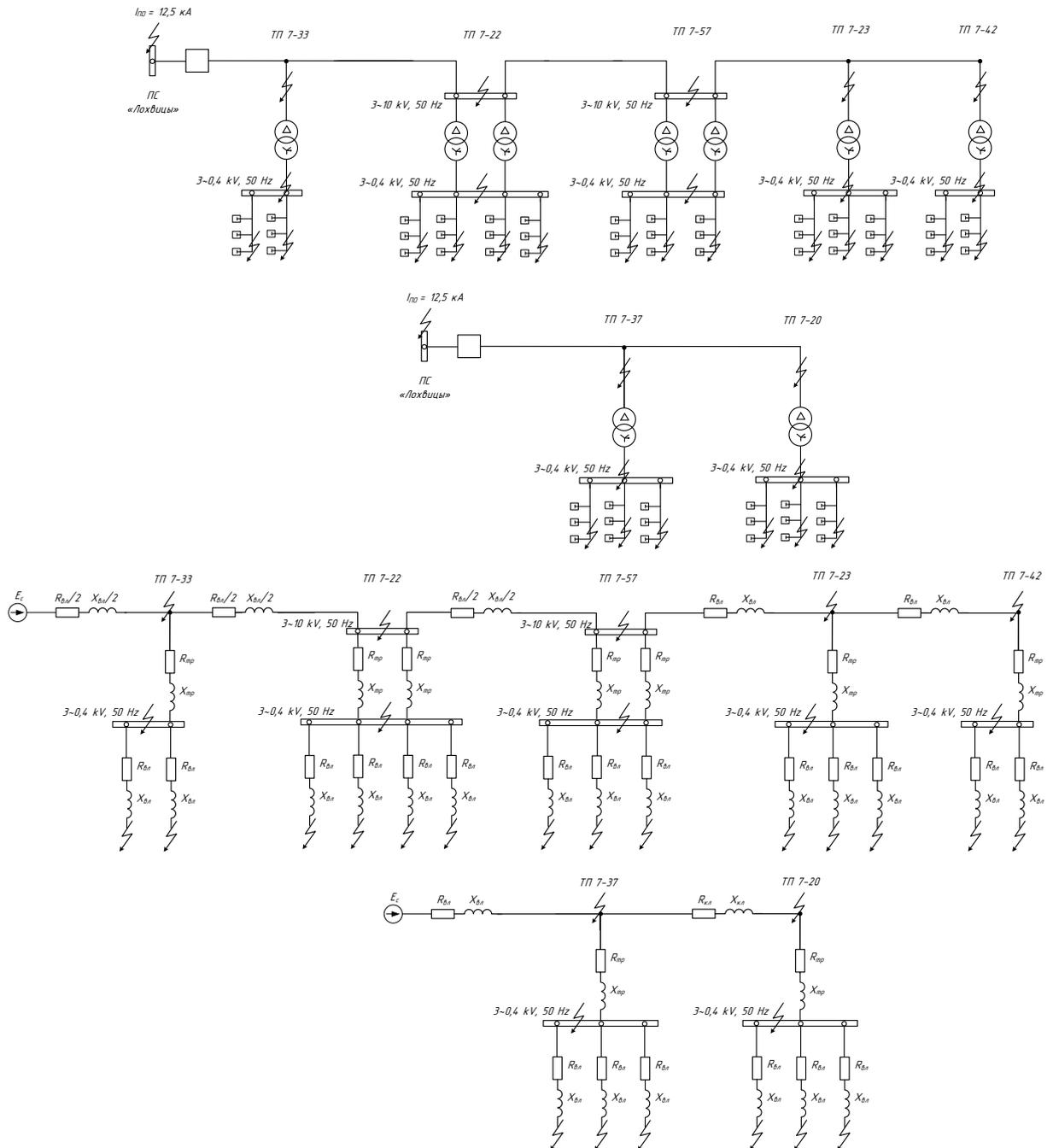


Рисунок 2 – Схема замещения и расчётные точки КЗ в сети 10-0,4 кВ

Порядок вычисления сопротивления системы для шин 10 кВ ТП села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$X_C = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{отк}}; \quad (33)$$

$$X_C = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 12.5} = 0.485 \text{ Ом};$$

где  $I_{отк}$  – отключающая способность выключателя ВВ/Тел-10–12,5-20/630 УХЛ2 на головном участке сети, 12,5 кА.

Порядок вычисления сопротивления проводов до ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$X_L = x_{y\partial} \cdot L; \quad (34)$$

$$X_L = 0,1 \cdot 0,6 = 0,06 \text{ Ом};$$

$$R_L = r_{y\partial} \cdot L, \quad (35)$$

$$R_L = 0,986 \cdot 0,6 = 0,59 \text{ Ом},$$

где  $r_{y\partial}$ ,  $x_{y\partial}$  – удельное активное и реактивное сопротивление провода СИП-3 (3x35), Ом/км;

$L$  – длина участка сети до ТП 7-37, выполненная проводом СИП-3 (3x35), км.

Порядок вычисления тока трехфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{no} = \frac{U_{CPHH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2}}; \quad (36)$$

$$I_{no} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,59^2 + (0,485 + 0,06)^2}} = 7,19 \text{ кА.}$$

Порядок вычисления тока двухфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{noIII}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{noIII}^{(3)}; \quad (37)$$

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

Порядок вычисления постоянной затухания тока короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$T_{III} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}; \quad (38)$$

$$T_{III} = \frac{(0,06 + 0,485)}{0,59 \cdot 314} = 0,004 \text{ с.}$$

Порядок вычисления коэффициента затухания тока короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$K_{y\partial TP} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{TP}}}; \quad (39)$$

$$K_{y\partial TP} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,004}} = 1,02 .$$

Порядок вычисления ударного тока короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$i_{y\partial TP} = K_{y\partial TP} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{noTP}; \quad (40)$$

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

Выше показан образец расчёта токов короткого замыкания для сети 10 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 14, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 14 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

ТП	ТП 7-37	ТП 7-20	ТП 7-33	ТП 7-22	ТП 7-57	ТП 7-42	ТП 7-23
Лл 10кВ, км	0,60	1,70	2,80	3,49	5,21	6,88	6,33
Рл 10кВ, Ом	0,59	1,68	2,76	3,44	5,14	6,78	6,24
Z <sub>Σ</sub> , Ом	0,80	1,80	2,86	3,54	5,23	6,88	6,34
I <sup>(3)</sup> <sub>по</sub> , кА	7,19	3,21	2,02	1,63	1,10	0,84	0,91
I <sup>(2)</sup> <sub>по</sub> , кА	6,26	2,80	1,76	1,42	0,96	0,73	0,79
T, с	0,004	0,011	0,018	0,023	0,034	0,045	0,041
K <sub>уд</sub>	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
I <sub>уд</sub> , кА	10,4	4,5	2,9	2,3	1,6	1,2	1,3

## 7.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ

На рисунке 2 показаны схемы замещения и исходные схемы для расчёта токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ

Порядок вычисления сопротивления системы для шин 0,4 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$x_C = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot I_{KЗ\ ВНТП}^{(3)}}; \quad (41)$$

$$x_C = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 7,19} = 3,2 \text{ мОм};$$

где  $I_{KЗ\ ВНТП}^{(3)}$  – величина тока короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП 7-37, кА

Сопротивления трансформатора ТП 7-37 ТМ-160:  $R_{mp} = 16,6 \text{ мОм}$ ,  $X_{mp} = 52,7 \text{ мОм}$ .

Переходное сопротивление шин ТП принимается  $R_{перех} = 20 \text{ Ом}$ .

Сопротивление автоматического выключателя ВА 57-35-250 принимается по [26]  $R_{авт\ ввод} = 1,5 \text{ мОм}$ ,  $X_{авт\ ввод} = 0,5 \text{ мОм}$ .

Порядок вычисления эквивалентных сопротивлений до точки короткого замыкания на стороне 0,4 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$R_{\Sigma K1} = R_{mp} + R_{перех} + R_{авт\ ввод}; \quad (42)$$

$$R_{\Sigma K1} = 16,6 + 20 + 1,5 = 38,1 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_{mp} + X_{авт\ ввод} + x_C; \quad (43)$$

$$X_{\Sigma K1} = 52,7 + 0,5 + 3,2 = 56,4 \text{ МОм}.$$

Порядок вычисления тока трехфазного короткого замыкания на стороне 0,4 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{noK-1}^{(3)} = \frac{U_{CPHH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}}; \quad (44)$$

$$I_{noK-1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(56,4)^2 + (38,1)^2}} = 3,4 \text{ кА}.$$

Порядок вычисления тока однофазного короткого замыкания на стороне 0,4 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{noK-1}^{(1)} = \frac{U_{CPHH} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(3 \cdot R_{mp} + R_{перех} + R_{авт\ ввод})^2 + (3 \cdot X_{mp} + X_{авт\ ввод} + x_C)^2}}; \quad (45)$$

$$I_{noK-1}^{(1)} = \frac{400 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(3 \cdot 16,6 + 0 + 1,5)^2 + (3 \cdot 52,7 + 0,5 + 0)^2}} = 1,39 \text{ кА}.$$

Порядок вычисления постоянной затухания тока короткого замыкания на стороне 0,4 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

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

$$T_a = \frac{56,4}{38,1 \cdot 314} = 0,005.$$

Порядок вычисления коэффициента затухания тока короткого замыкания на стороне 0,4 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

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

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,005}} = 1,12.$$

Порядок вычисления ударного тока короткого замыкания на стороне 0,4 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$i_{y\partial K1} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{noK1}; \quad (48)$$

$$i_{y\partial K1} = 1,12 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,4 = 5,38 \text{ кА}.$$

Выше показан образец расчёта токов короткого замыкания для шин 0,4 кВ ТП села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 15, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 15 – Результаты расчетов токов КЗ на шинах 0,4 кВ ТП

ТП	X <sub>T</sub> , МОм	R <sub>T</sub> , МОм	R <sub>пеп- рех</sub> , МОм	X <sub>авт ввод</sub> , МОм	R <sub>авт ввод</sub> , МОм	X <sub>с</sub> , МОм	Z <sub>Σ</sub> , МОм	I <sup>(3)</sup> <sub>по</sub> , кА	I <sup>(1)</sup> <sub>по</sub> , кА	T, с	K <sub>уд</sub>	I <sub>уд</sub> , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12
ТП 7- 37	52,7	16,6	20	0,5	1,5	3,2	68,08	3,40	1,39	0,005	1,12	5,379

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12
ТП 7-20	38,2	9,4	20	1	1,5	7,2	55,33	4,18	1,95	0,005	1,12	6,624
ТП 7-33	28,1	5,9	20	0,17	0,85	11,5	47,89	4,83	2,67	0,005	1,12	7,652
ТП 7-22	52,7	16,6	20	0,7	1,7	14,2	77,66	2,98	1,38	0,006	1,17	4,920
ТП 7-57	76	36,3	20	0,7	1,7	20,9	113,56	2,04	0,91	0,005	1,15	3,325
ТП 7-42	76	36,3	20	0,7	1,7	27,5	119,28	1,94	0,91	0,006	1,17	3,219
ТП 7-23	52,7	16,6	20	0,5	1,5	25,4	87,31	2,65	1,39	0,007	1,22	4,562

Дальнейшие расчёты токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ выполняются аналогично.

Порядок вычисления сопротивлений линий 0,4 кВ ТП 7-37 села Климоуцы приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$X_{БЛ-1} = x_{уд} \cdot L_{БЛ-1}; \quad (49)$$

$$X_{БЛ-1} = 0,09 \cdot 480 = 43,2 \text{ мОм};$$

$$R_{БЛ-1} = r_{уд} \cdot L_{БЛ-1}, \quad (50)$$

$$R_{БЛ-1} = 0,64 \cdot 480 = 307,2 \text{ мОм},$$

где  $r_{уд}$ ,  $x_{уд}$  - удельное активное и реактивное сопротивление линии 1 от ТП 7-37, мОм/м;

$L$  – длина участка провода, м.

Выше показан образец расчёта токов короткого замыкания для сети 0,4 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 16, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 16 – Результаты расчетов токов КЗ на линиях 0,4 кВ

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	R <sub>л</sub> , мОм	X <sub>л</sub> , мОм	Z <sub>Σ</sub> , мОм	I <sup>(3)</sup> <sub>по</sub> , кА	I <sup>(1)</sup> <sub>по</sub> , кА	T, с	K <sub>уд</sub>	I <sub>уд</sub> , кА
ТП 7-37								
ф-1	307,2	43,2	310,2	0,6	0,17	0,000	1,0	0,9
ф-2	345,6	48,6	349,0	0,6	0,15	0,000	1,0	0,8
ф-3	229,2	12,0	229,5	0,8	0,23	0,000	1,0	1,1
ТП 7-20								
ф-1	220,8	62,1	229,4	0,8	0,20	0,001	1,0	1,1
ф-2	480,0	67,5	484,7	0,4	0,22	0,000	1,0	0,6
ф-3	230,4	64,8	239,3	0,8	0,40	0,001	1,0	1,1
ТП 7-33								
ф-1	105,6	29,7	109,7	1,5	0,41	0,001	1,0	2,1
ф-2	307,2	43,2	310,2	0,6	0,17	0,000	1,0	0,9
ТП 7-22								
ф-1	211,2	43,2	215,6	0,8	0,23	0,001	1,0	1,1
ф-2	160,7	70,2	175,3	0,9	0,22	0,001	1,0	1,3
ф-3	687,6	36,0	688,5	0,3	0,08	0,000	1,0	0,4
ф-4	268,8	37,8	271,4	0,7	0,19	0,000	1,0	0,9
ТП 7-57								
ф-1	343,8	18,0	344,3	0,5	0,15	0,000	1,0	0,7
ф-2	268,8	37,8	271,4	0,6	0,18	0,000	1,0	0,8
ф-3	171,9	9,0	172,1	0,8	0,29	0,000	1,0	1,1
ТП 7-42								
ф-1	171,9	9,0	172,1	0,8	0,28	0,000	1,0	1,1
ф-2	432,0	32,4	433,2	0,4	0,12	0,000	1,0	0,6
ТП 7-23								
ф-1	249,6	70,2	259,3	0,7	0,18	0,001	1,0	0,9
ф-2	316,8	64,8	323,4	0,6	0,15	0,001	1,0	0,8
ф-3	458,4	24,0	459,0	0,4	0,12	0,000	1,0	0,6

### 7.3 Проверка линий 10 кВ на воздействие токов КЗ

Порядок вычисления ожидаемого теплового импульса для проверки термической стойкости проводов ВЛ 10 кВ до ТП 7-37 приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$B_k = I_{кз}^2 \cdot t_{п} , \quad (51)$$

$$B_{кр} = 7,19^2 \cdot (0,01 + 0,045 + 0,5) = 28,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где  $t_{\Pi}$  - время воздействия тока короткого замыкания на провода ВЛ-10 кВ до его отключения, для ТП 7-37, 0,555 с.

Порядок вычисления номинального теплового импульса для проверки термической стойкости проводов ВЛ 10 кВ до ТП 7-37 приведен в [17] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$B_{кн} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм}; \quad (52)$$

$$B_{кн} = 5^2 \cdot 2 = 50 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где  $I_{терм}$  – ток термической стойкости провода СИП-3 (3x35), 5 кА;

$t_{терм}$  – время термической стойкости провода СИП-3 (3x35), 2 с.

Порядок проверки термической стойкости проводов ВЛ 10 кВ до ТП 7-37 приведен в [17] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$B_{кр} < B_{кн}; \quad (53)$$

$$28,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 50 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выше показан образец проверки термической стойкости проводов ВЛ 10 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 17, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 17 – Проверка сечений линий 10 кВ

ТП	$I^{(3)}_{но}, \text{кА}$	$t_{\Pi}, \text{с}$	$B_{кр}, \text{кА}^2$	$B_{кн}, \text{кА}^2$
ТП 7-37	7,19	0,5	28,4	50
ТП 7-20	3,21	1	10,8	50
ТП 7-33	2,02	0,5	2,2	50
ТП 7-22	1,63	1	2,8	50
ТП 7-57	1,10	1,5	1,9	50
ТП 7-42	0,84	2,5	1,8	50
ТП 7-23	0,91	2	1,7	50

Провод СИП-3 (3x35) термической стойкости удовлетворяет для всех участков сети 10 кВ.

#### 7.4 Расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ ПС для проверки оборудования КРУ

Расчет токов КЗ проводится в относительных единицах с приближенным приведением. Для определения мощности КЗ системы используется информация об уровне токов КЗ на шш 35 кВ ПС «Костюковка»  $I_K^{(3)} = 1,47$  кА, (рисунок 3).

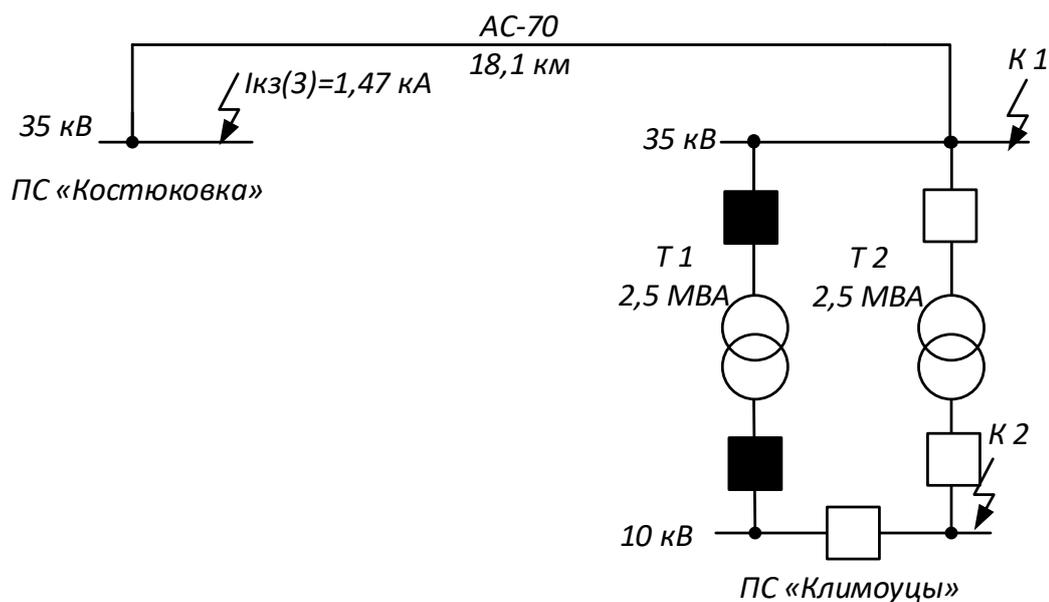


Рисунок 3 – Схема для расчёта токов КЗ на ПС «Климоуцы»

Базисные условия для удобства расчёта:

$$S_B = 10 \text{ МВА};$$

$$U_{B1} = 35 \text{ кВ};$$

$$U_{B2} = 10 \text{ кВ}.$$

Порядок вычисления базисных токов ступеней напряжения 35 и 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$I_{B1} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B1}} ; \quad (54)$$

$$I_{B1} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 35} = 0,165 \text{ кА} ;$$

$$I_{B2} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B2}} ; \quad (55)$$

$$I_{B2} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,58 \text{ кА} .$$

Порядок вычисления сопротивления трансформаторов в относительных единицах ПС «Климоуцы» приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$X_T = \frac{U_K \cdot S_B}{100 \cdot S_{НОМТР}} ; \quad (56)$$

$$X_T = \frac{7,5 \cdot 10}{100 \cdot 2,5} = 0,3,$$

где  $U_K$  - напряжение короткого замыкания трансформаторов ПС «Климоуцы», 7,5%;

$S_{НОМТР}$  - номинальная мощность трансформаторов ПС «Климоуцы», 2,5 МВА.

Порядок вычисления сопротивления системы в относительных единицах приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$X_C = \frac{I_{B1}}{I_K}, \quad (57)$$

$$X_C = \frac{0,165}{1,47} = 0,112,$$

где  $I_K$  - ток КЗ на шинах 35 кВ ПС «Костюковка»,  $I_K^{(3)} = 1,47$  кА,

Порядок вычисления сопротивления линии 35 кВ в относительных единицах приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$X_{Л} = \Sigma X_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_B^2}; \quad (58)$$

$$X_{Л} = 0,43 \cdot 18,1 \cdot \frac{10}{35^2} = 0,063,$$

где  $L$  - длина линии, км;

$X_{уд}$  - удельное сопротивление линии, принимается 0,43 для провода АС-70, Ом/км.

Порядок вычисления тока трёхфазного КЗ на стороне 35 и 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{П0К1} = \frac{E_C \cdot I_{Б1}}{X_C + X_{Л}}; \quad (59)$$

$$I_{П0К1} = \frac{1 \cdot 0,165}{0,063 + 0,112} = 0,94 \text{ кА};$$

$$I_{П0К2} = \frac{E_C \cdot I_{Б2}}{X_C + X_{Л} + X_T}; \quad (60)$$

$$I_{П0К2} = \frac{1 \cdot 0,58}{0,112 + 0,3 + 0,063} = 1,22 \text{ кА}.$$

Порядок вычисления апериодической составляющей тока трёхфазного КЗ на стороне 35 и 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$i_{a0K1} = \sqrt{2} \cdot I_{I0K1}; \quad (61)$$

$$i_{a0K1} = \sqrt{2} \cdot 0,94 = 1,33 \text{ кА};$$

$$i_{a0K2} = \sqrt{2} \cdot I_{I0K2}; \quad (62)$$

$$i_{a0K2} = \sqrt{2} \cdot 1,22 = 1,7 \text{ кА};$$

Порядок вычисления ударного тока КЗ на стороне 35 и 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [13] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$i_{y0K1} = i_{a0K1} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right); \quad (63)$$

$$i_{y0K1} = 1,33 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,025}}\right) = 2,2 \text{ кА};$$

$$i_{y0K2} = i_{a0K2} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right); \quad (64)$$

$$i_{y0K2} = 1,7 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,05}}\right) = 3,1 \text{ кА};$$

где  $T_a$  – постоянная затухания тока КЗ, 0,025 с для шин 35 кВ ПС, 0,05 с для шин 10 кВ ПС.

Выше показан образец расчёта токов короткого замыкания для ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 18, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 18 – Токи КЗ на ПС «Климоуцы»

Точка КЗ	К-1 35 кВ	К-2 10 кВ
$I_{\text{ПО}}$ , кА	0,94	1,22
$I_{\text{а0}}$ , кА	1,33	1,7
$T_{\text{а}}$ , с	0,025	0,05
$i_{\text{уд}}$ , кА	2,2	3,1

## 8 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ

### 8.1 Выбор и проверка оборудования 0,4 кВ

#### 8.1.1 Выбор и проверка автоматических выключателей для защиты линий 0,4 кВ

Порядок выбора автоматического выключателя по расчетному току для ф-1 ТП 7-37 приведен в [6] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_p, \quad (65)$$

$$100\text{A} \geq 62\text{A}$$

где  $I_p$  – максимальный рабочий ток для ф-1 ТП 7-37 на стороне 0,4 кВ.

Порядок проверки автоматического выключателя по чувствительности к токам КЗ для ф-1 ТП 7-37 приведен в [6] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} \geq 1.25 \cdot I_{\text{СР РАСЦ}}, \quad (66)$$

$$170\text{A} \geq 1.25 \cdot 100\text{A},$$

$$170\text{A} \geq 125\text{A},$$

Порядок проверки автоматического выключателя по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ф-1 ТП 7-37 приведен в [6] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} \leq I_{\text{отк.}}, \quad (67)$$

$$0,6 \text{ кА} \leq 5 \text{ кА.}$$

Выше показан образец выбора и проверка автоматических выключателей для защиты линий 0,4 кВ села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 19, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 19 - Выбор и проверка автоматических выключателей для защиты линий 0,4 кВ

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	$I_p$ , А	Тип АВ	$I_{РАСЦ}$ , А	$I^{(3)}_{по}$ , кА	$I_{отк}$ , кА	$I^{(1)}_{по}$ , кА	$I_{СР РАСЦ}$ , А	$1.25 \cdot I_{СР РАСЦ}$ , А
ТП 7-37								
ф-1	62	ВА 57-35	100	0,6	5,0	0,17	100	100
ф-2	59	ВА 57-35	100	0,6	5,0	0,15	100	100
ф-3	60	ВА 57-35	80	0,8	5,0	0,23	80	160
ВЛ	16	ВА 57-35	20	0,2	5,0	0,05	20	20
ТП 7-20								
ф-1	74	ВА 57-35	100	0,8	5,0	0,20	100	100
ф-2	44	ВА 57-35	80	0,4	5,0	0,22	80	160
ф-3	79	ВА 57-35	100	0,8	5,0	0,40	100	200
ВЛ	31	ВА 57-35	50	0,3	5,0	0,08	50	50
ТП 7-33								
ф-1	210	ВА 57-35	250	1,5	5,0	0,41	250	250
ф-2	66	ВА 57-35	80	0,6	5,0	0,17	80	80
ВЛ	12	ВА 57-35	16	0,2	5,0	0,06	16	32
ТП 7-22								
ф-1	90	ВА 57-35	100	0,8	5,0	0,23	100	100
ф-2	118	ВА 57-35	160	0,9	5,0	0,22	160	160
ф-3	27	ВА 57-35	50	0,3	5,0	0,08	50	50
ф-4	73	ВА 57-35	80	0,7	5,0	0,19	80	80
ВЛ	29	ВА 57-35	50	0,3	5,0	0,08	50	50
ТП 7-57								
ф-1	59	ВА 57-35	80	0,5	5,0	0,15	80	80
ф-2	74	ВА 57-35	80	0,6	5,0	0,18	80	80
ф-3	40	ВА 57-35	50	0,8	5,0	0,29	50	200
ВЛ	10	ВА 57-35	16	0,6	5,0	0,18	16	16
ТП 7-42								
ф-1	49	ВА 57-35	80	0,8	5,0	0,28	80	160
ф-2	43	ВА 57-35	50	0,4	5,0	0,12	50	50
ВЛ	7	ВА 57-35	16	0,3	5,0	0,08	16	16
ТП 7-23								
ф-1	70	ВА 57-35	100	0,7	5,0	0,18	100	100
ф-2	54	ВА 57-35	80	0,6	5,0	0,15	80	80
ф-3	36	ВА 57-35	50	0,4	5,0	0,12	50	50
ВЛ	25	ВА 57-35	50	0,3	5,0	0,08	50	50

### 8.1.2 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ для защиты шин ТП

Порядок выбора автоматического выключателя по расчетному току ТП 7-37 приведен в [6] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (67)$$

$$I_P = \frac{116}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 168 \text{ A};$$

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

$$250 \text{ A} \geq 168 \text{ A},$$

где  $I_P$  – максимальный рабочий ток ТП 7-37 на стороне 0,4 кВ.

Порядок проверки автоматического выключателя по чувствительности к токам КЗ для ТП 7-37 приведен в [6] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} \geq 1.25 \cdot I_{\text{СР РАСЦ}}, \quad (69)$$

$$1390 \text{ A} \geq 1.25 \cdot 250 \cdot 4 \text{ A},$$

$$1390 \text{ A} \geq 1250 \text{ A}.$$

Порядок проверки автоматического выключателя по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ТП 7-37 приведен в [10] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{по}}^{(3)} \leq I_{\text{отк.}}, \quad (70)$$

$$3,4 \text{ кА} \leq 10 \text{ кА}.$$

Выше показан образец выбора и проверки автоматических выключателей для защиты ТП села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 20, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 20 - Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ ТП села Климоуцы

ТП	$I_{\text{р АВТ}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	Марка выключателя	$I_{\text{по}}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{\text{отк.}}, \text{ кА}$	$I_{\text{по}}^{(1)}, \text{ А}$	$1,25 \cdot I_{\text{ср расц}}, \text{ А}$
ТП 7-37	168	250	ВА57-35	3,40	10	1387	1250
ТП 7-20	195	250	ВА57-35	4,18	10	1945	1875
ТП 7-33	305	400	ВА57-35	4,83	10	2674	2000
ТП 7-22	146	160	ВА57-35	2,98	10	1385	1200
ТП 7-57	83	160	ВА57-35	2,04	10	910	800
ТП 7-42	95	160	ВА57-35	1,94	10	910	800
ТП 7-23	157	250	ВА57-35	2,65	10	1387	1250

## 8.2 Выбор и проверка оборудования 10 кВ

### 8.2.1 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП

Для защиты на каждом трансформаторе используются предохранители ПКТ101 – 10У1 [26].

Порядок выбора предохранителей 10 кВ по расчетному току ТП 7-37 приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (71)$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9 \text{ А};$$

$$I_{\text{номПР}} \geq I_{\text{расч}}, \quad (72)$$

$$20 \text{ A} \geq 9 \text{ A},$$

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

$$10 \text{ A} \geq 9 \text{ A},$$

где  $I_p$  – максимальный рабочий ток ТП 7-37 на стороне 10 кВ.

Выше показан образец выбора предохранителей для защиты ТП села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 21, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 21 – Выбор предохранителей 10 кВ для защиты трансформаторов ТП

№ ТП	$I_{\text{РАСЧ}}$ , А	$I_{\text{номПП}}$ , А	$I_{\text{вст ПП}}$ , А	Тип предохранителя
ТП 7-37	9	20	10	ПКТ101 – 10У1
ТП 7-20	14	20	20	ПКТ101 – 10У1
ТП 7-33	23	40	20	ПКТ101 – 10У1
ТП 7-22	9	20	10	ПКТ101 – 10У1
ТП 7-57	6	20	10	ПКТ101 – 10У1
ТП 7-42	6	20	10	ПКТ101 – 10У1
ТП 7-23	9	20	10	ПКТ101 – 10У1

### 8.2.2 Выбор выключателей нагрузки

Для защиты на каждом трансформаторе используются выключатели нагрузки ВНП - 10/400 [14].

Порядок выбора выключателя нагрузки 10 кВ по расчетному току ТП 7-37 приведен в [14] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{РАСЧ}} = \frac{S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}; \quad (74)$$

$$I_{\text{РАСЧ}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9 \text{ A};$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{расч}}, \quad (75)$$

$$400 \text{ A} \geq 9 \text{ A}.$$

Порядок вычисления ожидаемого теплового импульса для проверки термической стойкости выключателя нагрузки 10 кВ ТП 7-37 приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{но.ТП7-37}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{отк}} + t_{\text{неч}} + T_a); \quad (76)$$

$$B_{\text{к}} = 7,19^2 \cdot (0,5 + 0,5 + 0,015) = 51,9 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $t_{\text{неч}}$  - время, обусловленное нечувствительностью предохранителя в составе выключателя нагрузки 0,5 с;

$t_{\text{отк}}$  - собственное время отключения выключателя нагрузки для ТП 7-37, 0,5 с;

$T_a$  – постоянная времени затухания тока короткого замыкания, 0,015 с.

Порядок вычисления номинального теплового импульса для проверки термической стойкости выключателя нагрузки 10 кВ ТП 7-37 приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}; \quad (77)$$

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

где  $I_{\text{терм}}$  – ток термической стойкости выключателя нагрузки для ТП 7-37, 10 кА;

$t_{\text{терм}}$  – время термической стойкости выключателя нагрузки для ТП 7-37, 4 с.

Порядок проверки термической стойкости выключателя нагрузки 10 кВ ТП 7-37 приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$B_k < B_{k \text{ ном}}; \quad (78)$$

$$51,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Порядок проверки динамической стойкости выключателя нагрузки 10 кВ ТП 7-37 приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$I_{уд} < I_{дин}; \quad (79)$$

$$10,39 \text{ кА} < 30 \text{ кА};$$

где  $I_{дин}$  – ток динамической стойкости выключателя нагрузки для ТП 7-37, 30 кА.

Выше показан образец выбора и проверки выключателя нагрузки для защиты ТП села Климоуцы, анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 22, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 22 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ

№ ТП	$I_p$ ТП, А	$I_n$ , А	$I^{(3)}_{по}$ , кА	$t_{отк}$ , с	$t_{неч}$ , с	$T_a$ , с	$B_{кр}$ , кА <sup>2</sup> с	$B_{кн}$ , кА <sup>2</sup> с	$I_{уд}$ , кА	$I_{дин}$ , кА
ТП 7-37	9	400	7,19	0,5	0,5	0,015	51,9	400	10,39	30
ТП 7-20	14	400	3,21	1,0	0,5	0,011	15,6	400	4,54	30
ТП 7-33	23	400	2,02	0,5	0,5	0,018	4,1	400	2,85	30
ТП 7-22	9	400	1,63	1,0	0,5	0,023	4,1	400	2,31	30
ТП 7-57	6	400	1,10	1,5	0,5	0,034	2,5	400	1,56	30
ТП 7-42	6	400	0,84	2,5	0,5	0,045	2,1	400	1,19	30
ТП 7-23	9	400	0,91	2,0	0,5	0,041	2,1	400	1,29	30

Выключатели нагрузки марки ВМП - 10/400 проходят по соответствию всем условиям.

### 8.2.3 Выбор трансформаторов тока

Используются трансформаторы тока марки ТОЛ 10 в реконструируемых КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», класс точности принимается  $K_t=0,5$  для планируемой вторичной нагрузке.

Порядок выбора трансформаторов тока 10 кВ по установочному напряжению для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Порядок выбора трансформаторов тока 10 кВ по расчетному току для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{ном} \geq I_{расч},$$

$$50 \text{ А} \geq 38 \text{ А}.$$

Порядок проверки динамической стойкости трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{уд} \leq I_{дин};$$

$$3,1 \text{ кА} \leq 15 \text{ кА};$$

где  $I_{дин}$  – ток динамической стойкости трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», 15 кА.

Порядок вычисления ожидаемого теплового импульса для проверки термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$B_K = I_{н.о.РУ10кВ}^2 \cdot (t_{отк} + t_{сел} + T_{A1});$$

$$B_K = 1,22^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 2) = 3 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $t_{сел}$  - время, обусловленное селективностью настройки защит, 2 с;

$t_{отк}$  - собственное время отключения выключателя 10 кВ, 0,045 с;

$T_a$  – постоянная времени затухания тока короткого замыкания, 0,01 с.

Порядок вычисления номинального теплового импульса для проверки термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$B_{НК} = I_T^2 \cdot t_T ;$$

$$B_{НК} = 2,47^2 \cdot 3 = 18 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где  $I_T$  – ток термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», 2,47 кА;

$t_T$  – время термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», 3 с.

Порядок проверки термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$B_K < B_{НК};$$

$$3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 18 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Нагрузка вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» заносится в таблицу 23.

Таблица 23 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ

Прибор	Тип	Подключения по фазе А	Подключения по фазе В	Подключения по фазе С
Амперметр цифровой щитовой	А2-Р 221		0.55 ВА	
Счетчик интеллектуальной системы учёта	РиМ 489.01	0.2 ВА		0.2 ВА
Ватметр цифровой щитовой	А2-Р 222	0.6 ВА		0.6 ВА
Варметр цифровой щитовой	А2-Р 223	0.6 ВА		0.6 ВА
Итого		1.4 ВА	0.55 ВА	1.4 ВА

Порядок вычисления номинальное сопротивление вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [10] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}; \quad (80)$$

$$Z_{2H} = \frac{5}{5^2} = 0.2 \text{ Ом};$$

где  $S_{2H}$ - номинальная полная нагрузка вторичной обмотки, 5 ВА.

Порядок вычисления сопротивления включаемых приборов во вторичную обмотку трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}; \quad (81)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1.4}{5^2} = 0.056 \text{ Ом.}$$

где  $S_{\text{ПРИБ}}$  – нагрузка приборов фактическая, ВА;

$I_2$  – вторичный номинальный ток, 5 А.

Порядок вычисления сопротивления проводов во вторичной обмотке трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}; \quad (82)$$

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

где  $q$  - площадь сечения жил проводов, 4 мм<sup>2</sup>;

$\rho$  – погонное сопротивление жил проводов АКРВГ (4x4), 0,0283 Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$l$  - протяженность проводов АКРВГ, 5 м.

Порядок вычисления нагрузочного сопротивления вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}; \quad (83)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.035 + 0.056 = 0.191 \text{ Ом,}$$

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

Порядок проверки вторичной полной нагрузки трансформаторов тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$Z_2 = r_2 \leq Z_{2H}, \quad (84)$$

$$0.191 \text{ Ом} \leq 0,2 \text{ Ом}.$$

Выше показан образец выбора и проверки трансформатора тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 24, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 24 – Выбор трансформатора тока 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы»

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$
$I_{\text{ном}} = 50 \text{ А}$ $I_{\text{ном}} = 50 \text{ А}$	$I_{\text{р.л1}} = 38 \text{ А}$ $I_{\text{р.л2}} = 14 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$
$Z_{2H} = 0.2 \text{ Ом}$	$Z_{\text{Нр}} = 0.191 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{\text{Нр}}$
$V_{\text{Кн}} = 18 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{\text{Кр}} = 3 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{\text{Кн}} \geq V_{\text{Кр}}$
$I_{\text{дин}} = 15 \text{ кА}$	$I_{\text{уд}} = 3,1 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$

#### 8.2.4 Выбор трансформатора напряжения

Используются трансформаторы напряжения марки НАМИ-10УЗ в реконструируемых КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», класс точности принимается  $K_t=0,5$  для планируемой вторичной нагрузке.

Порядок выбора трансформаторов напряжения 10 кВ по установочному напряжению для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

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

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Порядок вычисления нагрузочной мощности вторичной обмотки трансформаторов напряжения 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi_{\text{приб}}\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi_{\text{приб}}\right)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (85)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{36^2 + 87,6^2} = 94,7 \text{ ВА}$$

Нагрузка вторичных цепей трансформаторов напряжения 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» заносится в таблицу 25.

Таблица 25 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор	Тип	Snпр	Nпр	Cos φ	Sin φ	P <sub>приб</sub> , Вт	Q <sub>приб</sub> , ВА
Вольтметр цифровой щитовой	B2-P 221	2 Вт	1	1	0	2	-
Ватметр цифровой щитовой	A2-P 222	1,5 Вт	2	1	0	3	-
Счетчик интеллектуальной системы учёта	РиМ 489.01	3.6 Вт	5	0.38	0.925	18	43.8
Счетчик интеллектуальной системы учёта	РиМ 489.01	3.6 Вт	5	0.38	0.925	18	43.8
Итого	-	-	-	-	-	36	87.6

Порядок проверки вторичной полной нагрузки трансформаторов напряжения 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{2Н} \quad (86)$$

$$94.7 \text{ ВА} \leq 150 \text{ ВА.}$$

Выше показан образец выбора и проверки трансформатора напряжения 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 26, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 26 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
U <sub>уст</sub> = 10 кВ S <sub>p</sub> = 94.7 ВА	U <sub>ном</sub> = 10 кВ S <sub>H</sub> = 150 ВА	U <sub>ном</sub> ≥ U <sub>уст</sub> S <sub>H</sub> ≥ S <sub>p</sub>

### 8.2.5 Выбор КРУ

Принимаем к установке КРУ серии К-63 со встроенными вакуумными выключателями марки ВВ/Тел-10–12,5-20/630.

Порядок выбора КРУ 10 кВ по установочному напряжению для ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Порядок выбора КРУ 10 кВ по расчетному току для ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$I_{ном} \geq I_{расч},$$

$$630 \text{ А} \geq 38 \text{ А}.$$

Порядок проверки динамической стойкости КРУ 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$i_{скв} \geq i_{уд};$$

$$32 \text{ кА} \geq 3,1 \text{ кА}.$$

Порядок вычисления ожидаемого теплового импульса для проверки термической стойкости КРУ 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$B_K = I_{н.о.РУ10кВ}^2 \cdot (t_{отк} + T_{A1});$$

$$B_K = 1,22^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 2) = 3 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Порядок вычисления номинального теплового импульса для проверки термической стойкости КРУ 10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

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

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

где  $I_{терм}$  – ток термической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», 20 кА;

$t_{терм}$  – время термической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», 4 с.

Порядок проверки термической стойкости КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$B_K < B_{Кном};$$

$$3 \text{ кА}^2\text{с} < 1600 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Выше показан образец выбора и проверки КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 27, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 27 – Выбор КРУ 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$ $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 32 \text{ кА}$ $W_{\text{к.ном}} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс л1}} = 38 \text{ А}$ $I_{\text{макс л2}} = 14 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 3,1 \text{ кА}$ $W_{\text{к.}} = 3 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$  $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $W_{\text{к.ном}} \geq W_{\text{к}}$

### 8.2.6 Выбор выключателей 10 кВ

На стороне 10 кВ ПС «Климоуцы» выбираем вакуумные выключатели ВВ/Тел-10–12,5-20/630.

Порядок выбора выключателей 10 кВ по установочному напряжению для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

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

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Порядок выбора выключателей 10 кВ по расчетному току для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{расч}},$$

$$630 \text{ А} \geq 38 \text{ А}.$$

Порядок выбора выключателей 10 кВ по отключающей способности периодической составляющей тока КЗ для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

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

$$12,5 \text{ кА} \geq 1,7 \text{ кА}.$$

Порядок проверки динамической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$i_{скв} \geq i_{уд};$$

$$32 \text{ кА} \geq 3,1 \text{ кА};$$

где  $i_{скв}$  – сквозной ток динамической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», 32 кА.

Порядок вычисления ожидаемого теплового импульса для проверки термической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$B_K = I_{н.о.РУ10кВ}^2 \cdot (t_{отк} + T_{A1});$$

$$B_K = 1,22^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 2) = 3 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Порядок вычисления номинального теплового импульса для проверки термической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

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

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

где  $I_{терм}$  – ток термической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», 20 кА;

$t_{терм}$  – время термической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», 4 с.

Порядок проверки термической стойкости выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$B_k < B_{Кном};$$

$$3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Порядок выбора выключателей 10 кВ по отключающей способности апериодической составляющей тока КЗ для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{ном откл}; \quad (87)$$

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

$$i_{а.ном} \geq i_{ат}, \quad (88)$$

$$11,31 \text{ кА} \geq 1,7 \text{ кА};$$

где  $\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе, 40%;

Порядок выбора выключателей 10 кВ по отключающей способности полного тока КЗ для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [26] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$\sqrt{2} \cdot I_{no PV10kV}^{(3)} + i_{atPC} \leq \sqrt{2} \cdot I_{HOМOTK} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right); \quad (89)$$

$$\sqrt{2} \cdot 1,22 + 1,7 \cdot 0,54 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0,40}{100}\right);$$

$$2,7 \leq 39,59 \text{ кА}.$$

Выше показан образец выбора и проверки выключателей 10 кВ КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 28, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 28 – Выбор выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{НОМ} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{НОМ} = 630 \text{ А}$ $I_{НОМ} = 630 \text{ А}$ $i_{СКВ} = 32 \text{ кА}$ $B_{К.НОМ} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{ВКЛ} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{ОТКЛ} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{а.НОМ} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{макс л1} = 38 \text{ А}$ $I_{макс л2} = 14 \text{ А}$ $i_{уд} = 3,1 \text{ кА}$ $B_{к.} = 3 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 1,7 \text{ кА}$ $I_{по} = 1,7 \text{ кА}$ $i_{at} = 1,7 \text{ кА}$	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$ $I_{НОМ} \geq I_{max}$ $i_{СКВ} \geq i_{уд}$ $B_{К.НОМ} \geq B_{к}$ $I_{ВКЛ} \geq I_{по}$ $I_{ОТКЛ} \geq I_{по}$ $i_{а.НОМ} \geq i_{at}$

## 9 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Порядок вычисления ёмкостного тока сети 10 кВ села Климоуцы приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_{ВЛ}}{350}; \quad (90)$$

$$I_c = \frac{10 \cdot 13,79}{350} = 0,4 \text{ А.}$$

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

$L_{ВЛ}$  – суммарная длина распределительной сети села Климоуцы, 13,79 км.

Порядок проверки необходимости компенсировать ёмкостной ток на ПС «Климоуцы» приведен в [29] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$I_{емк ПУЭ} \geq I_c; \quad (91)$$

$$20 \text{ А} \geq 0,4 \text{ А.}$$

Компенсировать ёмкостной ток на ПС «Климоуцы» нецелесообразно.

## 10 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Использование микропроцессорных терминалов в соответствии с рекомендациями [22] для защиты распределительных сетей 10 кВ села Климоуцы обеспечит надёжность и оперативность при эксплуатации сетей 10 кВ.

### 10.1 Токовая отсечка без выдержки времени

Порядок вычисления первичного тока срабатывания блока токовой отсечки линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{но\ 10\ кВ}, \quad (92)$$

$$I_{с.з.} = 2,02 \cdot 1,1 = 2,22 \text{ кА},$$

где  $k_n$  – коэффициент надёжности блока токовой отсечки, 1,1;

$I_{но\ 10\ кВ}$  – расчётный трехфазный ток КЗ на стороне 10 кВ ТП 7-33, 2,02 кА.

Порядок вычисления коэффициента трансформации трансформатора тока линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$n_T = I_{ТТ\ перв} / I_{ТТ\ втор}; \quad (93)$$

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

где  $I_{ТТ\ перв}$  - ток первичной обмотки трансформатора тока, 50 А;

$I_{ТТ\ втор}$  - ток вторичной обмотки трансформатора тока, 5 А.

Порядок проверки чувствительности блока токовой отсечки линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (94)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{0,73}{2,22} = 0,33 \leq 2,$$

где  $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$  – расчётный двухфазный ток КЗ на стороне 10 кВ ТП 7-42, 0,73 кА.

Порядок вычисления вторичного тока срабатывания блока токовой отсечки линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{с.р.}} = k_{\text{сх}} \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_{\text{T}}}. \quad (95)$$

$$I_{\text{с.р.}} = 1 \cdot \frac{2220}{10} = 222 \text{ A}.$$

Выдержка времени срабатывания блока токовой отсечки линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 при недостаточной чувствительности:

$$t_{\text{с.з.}} \approx 0,5 \text{ с}.$$

Выше показан образец расчёта токовой отсечки для линии 10 кВ ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 29, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 29 – Токовая отсечка линий 10 кВ ПС «Климоуцы»

Линия	$I_{(3)по},$ кА	$I_{(2)по},$ кА	$I_{лин},$ А	$I_{н тт},$ А	$I_{с.з.},$ кА	пт	$I_{с.р.}$ А	$K_{ч}$
ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42	2,02	0,73	38	50	2,220	10	222	0,33
ТП -7-37/7-20	7,19	2,80	14	50	7,910	10	791	0,35

## 10.2 Максимальная токовая защита линий

Порядок вычисления первичного тока срабатывания блока максимальной токовой защиты линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_{в}; \quad (96)$$

$$I_{с.з.} = 0,2 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 0,232 \text{ кА};$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности блока максимальной токовой защиты, 1,1;

$k_{с.з.}$  – коэффициент запуска блока максимальной токовой защиты, 1;

$k_{в}$  – коэффициент возврата блока максимальной токовой защиты, 0,95;

$I_{раб.}$  – максимальный рабочий ток провода СИП-3 (3х35), 200 А.

Порядок проверки чувствительности блока максимальной токовой защиты линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (97)$$

$$K_{ч} = \frac{2,22}{0,23} = 3,2 \geq 1,5.$$

Порядок вычисления вторичного тока срабатывания блока максимальной токовой защиты линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{c.p.} = I_{c.з.} \cdot k_{cx} / n_T, \quad (98)$$

$$I_{c.p.} = 232 \cdot 1 / 10 = 23.$$

где  $k_{cx}$  – коэффициент включения трансформаторов тока по схеме треугольника, 1.

Выдержка времени срабатывания блока максимальной токовой защиты от времени токовой отсечки линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 при недостаточной чувствительности:

$$t_{c.з.} = t_{p.з.} + \Delta t, \quad (99)$$

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

Выше показан образец расчёта максимальной токовой защиты для линии 10 кВ ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 30, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 30 – Максимальная токовая защита линий 10 кВ ПС «Климоуцы»

Линия	$I_{(2)по}$ , кА	$I_{раб}$ , А	$I_{н\text{ ТТ}}$ , А	$I_{c.з.}$ , кА	пТ	$I_{c.p.}$ , А	$K_{ч}$
ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42	0,73	200	50	0,232	10	23	3,2
ТП -7-37/7-20	2,80	200	50	0,232	10	23	12,1

### 10.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Порядок вычисления тока замыкания на землю линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{U_{\text{Н}} \cdot L_{\text{ВЛ}}}{350}; \quad (100)$$

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{10 \cdot 5,2}{350} = 0,149 \text{ А};$$

где  $L_{\text{ВЛ}}$  – длина линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 распределительной сети села Климоуцы, 5,2 км.

Порядок вычисления тока через блок защиты от замыкания на землю линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}, \quad (101)$$

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = 0,4 - 0,149 = 0,245 \text{ А}.$$

Порядок вычисления тока срабатывания блока защиты от замыкания на землю линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42 приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{ТНП.повр.л}} / k_{\text{ч}} \quad (102)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 0,2457 / 1,5 = 0,16.$$

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

Выше показан образец расчёта защиты от замыкания на землю для линии 10 кВ ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 31, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 31 – Защита от замыкания на землю линий 10 кВ ПС «Климоуцы»

Линия	$I_{\text{повр.л}}, \text{ А}$	$I_{\text{ТП.повр.л}}, \text{ А}$	$I_{\text{с.з.}}, \text{ А}$	$t_{\text{н.с.}}, \text{ с}$
ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42	0,149	0,245	0,16	0,5
ТП -7-37/7-20	0,049	0,345	0,23	0,5

### 10.5 Устройства автоматического включения резерва

Порядок вычисления напряжения срабатывания блока автоматического включения резерва ПС «Климоуцы» приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$U_{\text{с.з.}} = 0,4 \cdot U_{\text{ном}}; \quad (103)$$

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

Порядок вычисления напряжения срабатывания блока защиты автоматического включения резерва ТП 10/0,4 кВ приведен в [20] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$U_{\text{с.з.}} = 0,4 \cdot U_{\text{ном}}; \quad (104)$$

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

Выдержка времени срабатывания блока автоматического включения резерва от времени максимальной токовой защиты линии 10 кВ ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42:

$$t_{\text{с.з.}} = t_{\text{п.з.}} + \Delta t, \quad (105)$$

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

#### 10.4 Уставки срабатывания защит

Выше показан образец расчёта уставок защит для линий 10 кВ ПС «Климоуцы», анализировать результаты схожих расчётов удобно в виде таблицы 32, в которую заносятся исходные и расчётные величины.

Таблица 32– Время срабатывания защит

Линия	ТО	МТЗ	АВР
ТП -7-33/7-22/7-57/7-23/7-42	0,5	1,0	1,5
ТП -7-37/7-20	0,5	1,0	1,5

## 11 ЗАЗЕМЛЕНИЕ

### 11.1 Заземляющее устройство ТП

Рассчитывается заземлитель ТП 7-37 в виде системы горизонтальных и вертикальных электродов, заглубленных в грунт.

Порядок вычисления активного стационарного сопротивления одного вертикального электрода приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (106)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{120}{\pi \cdot 2 \cdot 2} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 0,3 + 2)}{0,02 \cdot (4 \cdot 0,3 + 2)} \right] = 55 \text{ Ом},$$

где  $l_B$  - длина вертикального электрода, м;

$h_3$  - глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{грунт}$  - удельное сопротивление почвы по [18] 120 Ом·м;

$d$  - диаметр электродов, 0,02 м.

Порядок вычисления активного стационарного сопротивления одного горизонтального электрода приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[ \frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (107)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{120}{\pi \cdot 4} \cdot \ln \left[ \frac{1,5 \cdot 4}{\sqrt{2 \cdot 0,02 \cdot 0,3}} \right] = 19 \text{ Ом},$$

где  $l$  – длина горизонтальной полосы, м.

Порядок вычисления общего стационарного сопротивления заземлителя приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_G \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (108)$$

$$R = \frac{55 \cdot 19}{0,75 \cdot (4 \cdot 19 + 8 \cdot 55)} = 2,7 \text{ Ом},$$

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

$n_B$  - число вертикальных электродов, 4 шт;

$n_G$  - число горизонтальных электродов, 8 шт;

Порядок вычисления импульсного сопротивления вертикального электрода приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (109)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 55}{0,75 \cdot 4} = 18 \text{ Ом},$$

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

Порядок вычисления удельной индуктивности горизонтального заземлителя приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$L_o = 0,2 \cdot \left( \ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (110)$$

$$L_o = 0,2 \cdot \left( \ln \frac{4}{0,02/2} - 0,31 \right) = 1,14 \text{ мкГн/м.}$$

Порядок вычисления импульсного коэффициента протяженного заземлителя приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{L_o \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{ЭГ}}}, \quad (111)$$

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{1,14 \cdot 4}{3 \cdot 2 \cdot 19} = 1,04,$$

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

Порядок вычисления импульсного сопротивления протяженного заземлителя приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{ЭГ}}, \quad (112)$$

$$R_{u\Gamma} = 1,04 \cdot 19 = 20 \text{ Ом.}$$

Порядок вычисления общего импульсного сопротивления заземлителя приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{n_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}. \quad (113)$$

$$R_u = \frac{20 \cdot 18}{0,75 \cdot (4 \cdot 20 + 8 \cdot 18)} = 2,2 \text{ Ом.}$$

Вертикальные электроды количеством 4 шт, длиной 2 м, диаметром 20 мм закладываем на глубину 0,3 м, соединяем между собой электродами того же диаметра.

Порядок проверки импульсного сопротивления заземлителя приведен в [21] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$R_{и} \leq R_{имп доп}; \quad (114)$$

$$2,2 \text{ Ом} \leq 9 \text{ Ом}.$$

Порядок проверки стационарного сопротивления заземлителя приведен в [19] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$R \leq R_{стац доп}; \quad (115)$$

$$2,7 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}.$$

Заземлитель ТП 7-37 обеспечивает молниезащиту и защиту от поражения током при прикосновении к токоведущим частям.

### 11.2 Выбор ограничителей перенапряжений

На стороне ВН ТП и в КРУ приняты ОПН марки ОПН – РВ/TEL У1 с классом напряжения 10 кВ.

Порядок выбора ОПН 10 кВ по установочному напряжению для КРУ-10 кВ ПС «Климоуцы» приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Порядок вычисления энергии поглощения ОПН приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$\mathcal{E} = \frac{U - U_{ocm}}{z} \cdot U_{ocm} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \quad (116)$$

$$\mathcal{E} = \frac{40 - 25,8}{200} \cdot 25,8 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^{-2} \cdot 20 = 5,8 \text{ кДж},$$

где  $U$  - величина неограниченного перенапряжения, определяемая в процентном соотношении от пятидесятипроцентного напряжения, принимается равной 40 кВ в соответствии с [18].

$U_{ocm}$  - остающееся напряжение ОПН, 25,8 кВ [18];

$z$  - волновое сопротивление провода СИП-3 (3x35), 200 Ом;

$n$  - количество последовательных токовых импульсов.

Порядок вычисления времени распространения волны, поступающей на ОПН, приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстанции исходных данных:

$$T = \frac{l}{v}; \quad (117)$$

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

где  $l$  - длина защищенного подхода, 2,5 км;

$v$  - скорость распространения перенапряжения в виде волны.

Порядок вычисления удельной энергоемкости ОПН приведен в [18] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{ном}}, \quad (118)$$

$$\mathcal{E}^* = \frac{5,8}{10} = 0,58 \text{ кВт/кВ.}$$

Используется ОПН-10 кВ первого класса энергоёмкости, так как удельная энергия поглощения менее 1.2 кДж/кВ.

## 12 БЕЗОПАСНОСТЬ

Предлагаемый объём работы по реконструкции распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы Свободненского района Амурской области включает в себя замену проводов на существующих ВЛ 0,4-10 кВ. В таком случае обеспечение безопасности работников является неотъемлемой частью комплекса мероприятий по выполнению работ по реконструкции сетей напряжением 0,4 и 10 кВ села Климоуцы.

### 12.1 Безопасность

Реконструкция распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы включает в себя работы на высоте, при которых работник находится на высоте более 1,5 м от поверхности земли, опорных конструкций, с которых проводятся работы, иного уровня, на который осуществляется подъём работника для выполнения своих обязанностей и поручений. К проведению работ на высоте в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы могут быть допущены работники старше 18 лет при наличии у которых действующее удостоверение, подтверждающее факт прохождения обучения безопасным видам работ и прошедшие медицинский осмотр [27].

Частота прохождения медицинских осмотров составляет 1 раз в год при условии отсутствия производственных травм и несчастных случаев.

Проведению работ на высоте в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы разрешено с опорных конструкций шириной не менее 1 м и ограждением в виде перил высотой не менее 1 м, лестницы и стремянки, прилегающие к конструкции должны быть исправны, все крепежные запоры, замки и фиксаторы должны быть в рабочем состоянии и проверены перед выполнением работ на высоте. Допускается применять опорные конструкции без перил при работах на высоте в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы, в таком случае обязательно каждый работник снабжается предохранительным поясом, оформленном в установленном порядке в специальном журнале учёта и испытаний.

Все имеющиеся в рабочей зоне предохранительные пояса должны иметь поверочные паспорта, подтверждающие факт их проверки, в противном случае предохранительные пояса к использованию не допускаются, работник не может приступать к работам на высоте с не проверенным предохранительным поясом. Карабины предохранительных поясов должны иметь исправные запирающие пружины, работы на высоте в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы, при которых карабины предохранительных поясов предстоит крепить к передвижным лестницам и стремянкам не допускаются и место крепления предохранительных поясов назначается ответственным работником повторно.

Работы на высоте в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы не разрешаются в тех случаях, когда в непосредственной близости от рабочего места расположены работающие машины, осуществляют деятельность рабочие механизмы, токоведущие части, которые находятся или могут находиться под напряжением при этом не имеющие защиты от случайного прикосновения к ним. Разрешение на работе на высоте в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы вблизи токоведущих частей может быть получено если устроено их заземление, а питающие электроустановки отключены.

Погодные условия учитываются при допуске к работам на высоте в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы, в случае гололёдообразования, порывистого и шквального ветра, дождя или снегопада вне помещений работы на высоте не проводятся.

При выполнении монтажных работ в сетях напряжением 0,4 и 10 кВ села Климоуцы разрешается применять только исправный ручной инструмент, на котором не выявлены препятствующие безопасной работе повреждения, разрушения, иные отягчающие безопасную работу неисправности [28].

Работы ручным инструментом в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы проводятся при обязательном оснащении работников защитной и специальной одеждой, исправными защитными очками и обувью, а также тканевыми или диэлектрическими перчатками.

Весь ручной инструмент при работах им в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы должен иметь исправные изоляционные накладки или покрытие, устойчивые к воде, маслам и смазке, не подвергающиеся механическому разрушению от незначительных усилий. При обнаружении недостаточной области покрытия изоляции рукоятей рабочего инструмента, дефектов изоляционного покрытия, разрушения упоров для безопасной работы проводится замена ручного инструмента на соответствующий требованиям безопасного проведения работ.

Весь электроинструмент при работах им в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы подлежит предварительной проверке работником, при осмотре контролируется усилие и направление затяжки фиксаторных болтов, отсутствие люфтов и биений в движущихся частях электроинструмента, целостность изоляции и разъёма питающего провода. При обнаружении дефектов и неисправностей для безопасной работы проводится замена электроинструмента на соответствующий требованиям безопасного проведения работ.

Для безопасности работников при работах электроинструментом в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы не разрешается разбирать включенный в электрическую сеть электроинструмент, а также проводить манипуляции с вращающимися частями электроинструмента при его работе вблизи проводов питания, принудительно останавливать вращающиеся части электроинструмента руками или иными травмоопасными способами, очищать загрязнения и следы работы электроинструмента без его полной остановки, работать электроинструментом с приставных лестниц.

В распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы не разрешается выполнение измерений переносными приборами одним работником, так как измерение осуществляется бригадой работников, состоящей из минимум двух человек, группа по электробезопасности одного работника не ниже 4, другого работника в бригаде не ниже 3. При выполнении измерений переносными приборами напряжение с электроустановки или токоведущей части должно быть снято как для случая работы без разрыва электрической цепи, так и при работах

с разрывом электрической цепи. При использовании мегаомметра в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы для измерения сопротивления изоляции электрооборудования, проводов и кабелей должна быть исключена возможность прикосновения работниками к неизолированным частям объекта измерения и проводов вторичной цепи прибора мегаомметра [28].

При работах по измерению сопротивлений в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы с использованием мегаомметра должна быть исключена возможность пробоя напряжением конденсаторов и полупроводниковых приборов, для чего последние закорачиваются шунтом или проводом.

В распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы работы по пайке в РУ 0,4 кВ ТП запрещено проводить в закрытом помещении РУ. Общие правила безопасности при работе с паяльными преобразователями сводятся к предотвращению воздействия нагретой части прибора на оборудование, работников и подручные инструменты при касании, падении, перемещении. Разрешено использование паяльных преобразователей, подключенных к индивидуальным трансформаторам соответствующей мощности при величине выходного напряжения не выше 42 В переменного тока. Не разрешено использование паяльных преобразователей в закрытом помещении РУ 0,4 кВ ТП села Климоуцы, подключенных к индивидуальным трансформаторам соответствующей мощности при величине выходного напряжения 220 В переменного тока без устройства защитного отключения.

При работах в шкафах РУ 0,4 кВ систем контроля и управления, питания систем пожарной сигнализации, телеизмерений, используемых в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы, запрещено использовать инструмент с неизолированными рабочими частями.

Работы по испытанию оборудования и пробные включения оборудования в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы проводятся только после того, как будут выведены все работники из пространства, вблизи токоведущих частей электроустановки.

Пробные включения оборудования в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы проводятся только по завершении всех монтажных работ, выверки схемы включения с проектом, техно-рабочей документацией заверенной редакцией с соответствующими подписями ответственных за актуализацию лиц. Соответствие рабочей схемы включения оборудования в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ села Климоуцы проектной схеме подтверждается согласованной и утверждённой схемой включения.

## 12.2 Экологичность

Возможность выполнения маслоприёмников для минимизации экологического ущерба окружающей среде в случае разлива трансформаторного масла не рассматривается при реконструкции распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы, так как трансформаторы 10/0,4 кВ с массой масла более 600 кг не использованы в реконструируемых сетях села Климоуцы [29].

Возможность определения площади отводимых земель в постоянное и временное пользование не рассматривается при реконструкции распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы, так как места расположения ТП 10/0,4 кВ и трассы прохождения ВЛ 0,4-10 кВ не изменяются после реконструкции и нового отчуждения земли муниципалитета не происходит.

При подготовке мероприятий по реконструкции распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы Свободненского района Амурской области принимались в рассмотрение существующие нагрузки ТП 10/0,4 кВ, после анализа которых были сделаны выводы о необходимости замены силовых трансформаторов ТП 10/0,4 кВ. Для ТП 7-42 предусматривается установка силового трансформатора ТМ-100/10 и устройство ТП 7-42 по типу мачтовой ТП, с открытой установкой трансформатора на площадке обслуживания. В результате чего требуется проверить соблюдение требований по шуму для ближайших к ТП 7-42 жилых домов.

Для оценки допустимого уровня шума на территории жилых домов села Климоуцы, расположенных рядом с ТП 7-42 учтены требования норматива [31]. В ночное время суток с 23 до 7 часов предельная величина шума составляет  $L_A$

=45 дБА. В дневное время суток с 7 до 23 часов предельная величина шума составляет  $L_A=55$  дБА.

За допустимый уровень шума принята величина для ночного времени суток как минимальная из нормируемых для жилых домов  $L_A=45$  дБА.

Порядок вычисления минимального расстояния от ТП 7-42 до жилых домов села Климоуцы приведен в [30] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$R = \sqrt{\frac{10^{\frac{L_{A\Sigma}-L_A}{10}}}{2\pi}}, \quad (119)$$

$$R_{\text{жилые дома расч}} = \sqrt{\frac{10^{\frac{59-45}{10}}}{2 \cdot 3.14}} = 2 \text{ м},$$

где  $L_{A\Sigma}$  - уровень звуковой мощности одного силового трансформатора 10/0,4 кВ мощностью 100 кВА, установленного открыто на ТП 7-42, 59 дБА, [32].

Порядок проверки требований по шуму для ТП 7-42 села Климоуцы приведен в [10] и состоит в использовании формулы следующего вида при соблюдении очередности подстановки исходных данных:

$$R_{\text{жилые дома расч}} \leq R_{\text{жилые дома факт}}, \quad (120)$$

$$2 \text{ м} \leq 20 \text{ м},$$

где  $R_{\text{жилые дома факт}}$  - фактическое расстояние от ближайших жилых домов сеа Кимоуцы для ТП 7-42, 20 м, находится по фактическому плану подключения домов, рисунок 4.

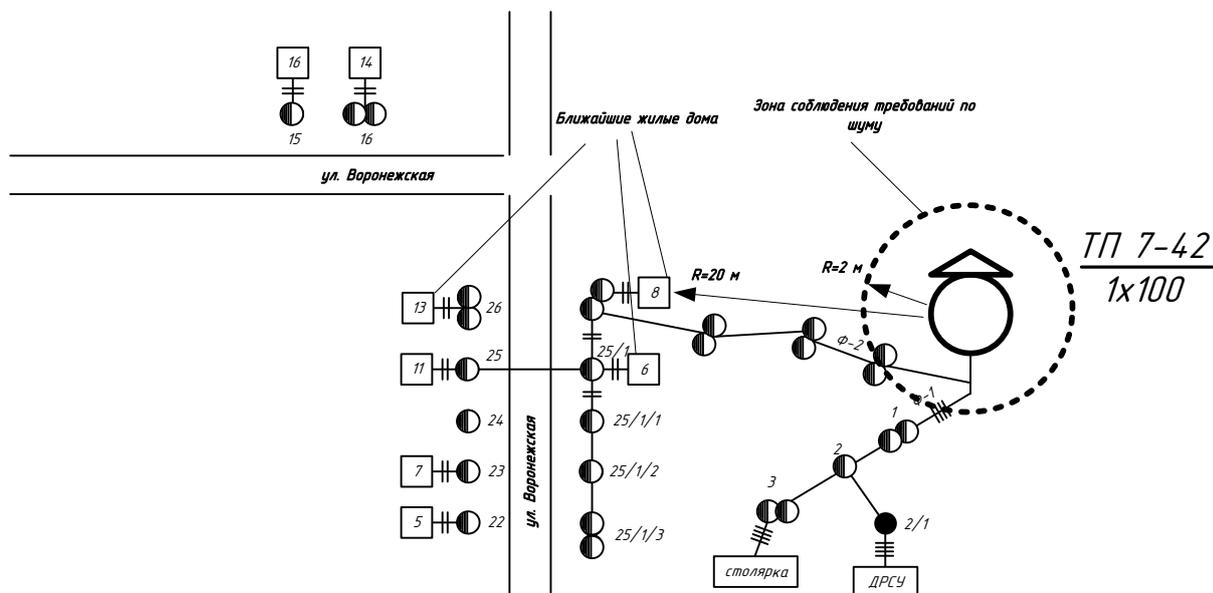


Рисунок 4 – План подключения жилых домов к ТП 7-42 села Климоуцы

По рисунку 10 делается вывод о соблюдении требований по шуму для жилых домов по близости от ТП 7-42 села Климоуцы.

Требования по шуму в отношении имеющихся ТП 10/0,4 кВ села Климоуцы не проверяются, так как исполнение ТП закрытое с силовыми трансформаторами мощностью не более 400 кВА.

### 12.3 Чрезвычайные ситуации

В данной выпускной квалификационной работе, так как ТП относятся к пожаровзрывоопасным объектам, в качестве чрезвычайной ситуации, как наиболее вероятной, принимается пожар или возгорание в электроустановках ТП села Климоуцы. Отнести подобную чрезвычайную ситуацию следует к техногенным ЧС.

Порядок тушения пожара в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы осуществляется по требованиям [33].

Первому заметившему возгорание из числа работников Свободненского сетевого участка следует незамедлительно передать сообщение о возгорании в пожарную охрану, далее работник осуществляет мероприятия по тушению пожара имеющимися средствами в случае отсутствия опасности для самого работника.

Сообщение о возгорании в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы должно содержать информацию о работнике, осуществляющем передачу сообщения о возгорании, месте и масштабе возгорания с учётом имеющихся диспетчерских наименований или обозначений оборудования на местности

Старший дежурный Свободненского участка при возможности лично определяет место возгорания либо при содействии дежурного персонала уточняет место пожара, вероятные пути его развития на находящееся в работе электрооборудование и участки действующей электрической схемы, попадающие в зону пожара [34].

Как только определен очаг возгорания в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы старший дежурный Свободненского участка или дежурный персонал должен обезопасить пожарные подразделения, прибывающие для ликвидации пожара, от возможных поражающих факторов возгорания, связанных с разливом трансформаторного масла трансформаторов ТП 10/0,4 кВ и иного маслonaполненного оборудования, а также с отключением от силовой цепи оставшегося оборудования, охваченного пожаром. Старший дежурный Свободненского участка или дежурный персонал приступает к тушению пожара имеющимися силами и средствами. Направление к подъездным путям и водоисточникам и сопровождение пожарных подразделений осуществляет работник из числа дежурного или ремонтного персонала, хорошо знающий их расположение и состояние.

Перед прибытием пожарных подразделений старший дежурный Свободненского участка является руководителем тушения пожара в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы.

После прибытия пожарных подразделений старший дежурный Свободненского участка передает руководство тушением пожара в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы старшему командиру пожарного подразделения.

Подверженное возгоранию оборудования распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы отключается без предварительного получения разрешения старшего дежурного Свободненского участка или вышестоящего руководства, информирование о произведенном отключении вышестоящего руководства работником, выполнившим отключение, осуществляется в кратчайший срок [35].

После прибытия пожарных подразделений старший дежурный Свободненского участка или работники из числа технического персонала проводят инструктаж сотрудникам пожарных подразделений и выдают письменное разрешение на тушение пожара.

В процессе работы пожарных подразделений при тушении пожара на оборудовании распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы принимаются во внимание указания старшего лица технического персонала, содержащие рекомендации соблюдения правил техники безопасности, рекомендации по тушению рядом стоящего оборудования, рекомендации по плану действий, включающих расстановку сил и средств пожаротушения.

Нахождение личного состава пожарных подразделений за огражденными токоведущими частями, не отключенными от напряжения при тушении пожара на оборудовании распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы не допускается. Охрана территории и не допущение приближения посторонних лиц к месту пожара на оборудовании распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы выполняется руководителем тушения пожара.

В РУ-10 кВ ПС «Климоуцы» установлены на видных местах и не имеют препятствий для доступа к ним пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения. Пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения в РУ-10 кВ ПС «Климоуцы» окрашены масляной краской в красный цвет.

При тушении пожара в непосредственной близости от трансформаторов 10/0,4 кВ и иного оборудования распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы выполняется орошение подверженной перегреву поверхности оборудования распыленной водой, при этом оборудование заранее должно быть

отключено. В случае разлива трансформаторного масла использование компактных водяных струй запрещено.

В процессе работы пожарных подразделений при тушении пожара на оборудовании щитов управления, релейных панелей и иных ответственных электроустановок должен быть учтён риск повреждения такого оборудования вследствие попадания излишнего количества огнетушащих средств и воды, соответственно по возможности следует избегать подобных воздействий.

Территория ПС «Климоуцы» и ТП 10/0,4 кВ регулярно подвергаются противопожарной очистке от сухой травы и находятся вне зоны распространения палов. В РУ-10 кВ ПС «Климоуцы» установлены 2 ручных углекислотных огнетушителя ОУ-5 [36].

Рабочие места оперативного персонала распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ села Климоуцы обеспечены достаточным количеством копий инструкции по эксплуатации устройств автоматики пожаротушения и инструкции по эксплуатации устройств пожарной сигнализации, утвержденными в соответствующем порядке и актуальными на момент их использования. Утверждение инструкций осуществляется главным инженером Свободненского участка, раз в 3 года проводится их пересмотр и актуализация.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении данной выпускной квалификационной работы проведена реконструкция системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Климоуцы Центрального участка Свободненского РЭС.

Выполнен расчёт нагрузок по порядку: трёхфазный ввод потребителей, головные участки линий 0,4 кВ, шины ТП 0,4 кВ, шины ТП 10 кВ, головные участки линии 10 кВ, шины 10 кВ ПС «Климоуцы», итоговая величина нагрузки на ПС «Климоуцы» - 715 кВт.

Для линий 0,4 кВ использован провод СИП-2 для исключения воровства электроэнергии, для линий 10 кВ – СИП – 3 для улучшения эксплуатационных характеристик сети 10 кВ.

Выбраны и проверены электрические аппараты и устройства – выключатели 10 кВ ВВ/Тел, трансформаторы тока 10 кВ ТОЛ, трансформаторы напряжения НАМИ, предохранители ПК, автоматические выключатели ВА – 51, выключатели нагрузки ВМП. КРУ К-63.

Выбраны провода СИП в сети 10-0,4 кВ для повышения надёжности функционирования сети 10-0,4 кВ.

Рассчитано стационарное и импульсное сопротивление заземления ТП, удовлетворяющее требованиям ПУЭ;

Рассмотрены вопросы безопасности при эксплуатации электрооборудования сетей в части организации защитного заземления при работах в электроустановках;

Приведены правила пожарной безопасности на электроустановках сетевого участка.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Воротницкий В.Э, Калинкина М.А. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. М.: ИПКГосслужбы, 2007 г. , 64 с.
- 2 Воротницкий В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях: анализ и опыт снижения. НТФ «Энергопрогресс», 2006.-104 стр. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 4(88).
- 3 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.
- 4 Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 326
- 5 Эксплуатация систем электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140211 - Электроснабжение / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Г. Ротачева, Д. Н. Панькова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 156 с.
- 6 Электроснабжение объектов [Текст] : учеб. пособие для СПО / Е. А. Коныхова. - 9-е изд., испр. - М. : Академия, 2013. - 320 с. : рис., табл. - (Среднее проф. образование. Электротехника). - Библиогр. : с. 311
- 7 Паспорт Свободненского района [Электронный ресурс] : URL: [https://www.svobregion.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1423&Itemid=165](https://www.svobregion.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=1423&Itemid=165) (дата обращения: 10.04.2023).
- 8 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.
- 9 Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф.

- Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014 - ., Ч. 1. - 2014. - 106 с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7123.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7123.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

10 Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : сб.-учеб. метод. материалов для направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост.: Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 182 с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/9662.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9662.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

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

12 Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2014. - 192 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 154 .

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

14 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.

15 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](https://www.amurobl.ru/upload/iblock/f9e/SIPR-AO-2020_2024.pdf) (дата обращения: 10.02.2023).

16 Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей : справочник / Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

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

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

19 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).

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](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](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/4322.pdf) (дата обращения: 24.05.2023).

24 Постановление №227-пр/э от 25.12.2022г. Управления государственного регулирования цен и тарифов Амурской области (Об установлении тарифа для сетевых организаций, покупающих электрическую энергию для компенсации потерь электрической энергии на территории Амурской области у гарантирующего поставщика ПАО ДЭК филиал Амурэнергосбыт на 2023 год.)

25 Козлов А. Н. Релейная защита и автоматика электрических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / сост. А. Н. Козлов, В. А. Козлов, Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн. ф. - 4-е изд., испр. . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 160 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/9689.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9689.pdf) (дата обращения: 24.05.2023).

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

27 РД 153-34.0-03.150-00. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. – утв. Министерством энергетики РФ приказом от 27 декабря 2000 г. № 163.

28 Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957)

29 Правила устройства электроустановок [Текст] : Гл. 6.1-6.6, 7.1, 7.2 (утв. Минтопэнерго РФ 6 октября 1999 г.); гл. 1.1, 1.2, 1.7, 1.9, 7.5, 7.6, 7.10 (утв. приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. №204); Гл. 1.8 (утв. приказом Минэнерго РФ от 9 апреля 2003 г. № 150). - 7-е изд. - М. : Омега-Л, 2006. - 269 с. - (Безопасность и охрана труда). - ISBN 5-365-00299-7

30 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.

31 Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

32 Шум. Трансформаторы силовые масляные ГОСТ 12.2.024—87 ССБТ.

33 Правила пожарной безопасности в Российской Федерации ППБ-01-93. – Зарегистрировано в Минюсте РФ 27 декабря 1993 г., № 445.

34 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. – М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. – 116 с.

35 Акимов В. А. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. А. Акимов, Ю. Л. Воробьев, М. И. Фалеев. - М. :Абрис, 2012. - 599 с.

36 Михайлов Л. А. Чрезвычайные ситуации природного, техногенного и социального характера и защита от них : учеб. : доп. УМО / Л. А. Михайлов, В. П. Соломин ; под ред. Л. А. Михайлова. - СПб. : Питер, 2008. - 235 с.