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

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____Н.В. Савина
«_____»_____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Модернизация системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка Ивановского района Амурской области

Исполнитель
студент группы 842-узб _____ В.Е. Слесаревич
подпись, дата

Руководитель
профессор,
канд.техн.наук, доцент _____ Ю.В. Мясоедов
подпись, дата

Консультант по
безопасности и
экологичности
канд.техн.наук, доцент _____ А.Б. Булгаков
подпись, дата

Нормоконтроль
ст. преподаватель _____ Л.А. Мясоедова
подпись, дата

Благовещенск 2022

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

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ Н.В. Савина
«_____»_____ 20___ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Слесаревич Владимира Евгеньевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Модернизация системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка Ивановского района Амурской области

(утверждена приказом от ___.___.2022г. №_____)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта)_____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: схема сетей 0,4-10 кВ села Варваровка, однолинейная схема ПС «Варваровка», контрольный замер в электрических сетях за 2021 год, схема и план развитии Амурской области на период до 2030 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика района электроснабжения, электрические нагрузки сети 0,4 кВ, электрические нагрузки сети 10 кВ, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка оборудования, компенсация емкостных токов замыкания на землю, релейная защита и автоматика, заземляющее устройство трансформаторной подстанции, безопасность и экологичность

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план села Варваровка с линиями 0,4 кВ, реконструкция сетей 10 кВ села Варваровка по 1 и 2 варианту, однолинейная схема сети 10 кВ, микропроцессорная автоматика в сети 10 кВ, микропроцессорная защита линии 10 кВ, однолинейная схема и внешний вид КТП

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

7. Дата выдачи задания_____

Руководитель выпускной квалификационной работы:_____

_____

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

Задание принял к исполнению (дата):_____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 111 с, 10 рисунков, 35 таблиц, 31 источник.

ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ, КАТЕГОРИЙНОСТЬ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПО НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, НАГРУЗКА ОСВЕЩЕНИЯ, УЧЁТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА.

Объектом разработки работы выбирается система электроснабжения напряжением 10 – 0,4 кВ села Варваровка Ивановского района Амурской области. В работе выполняется модернизация системы электроснабжения села Варваровка для того, чтобы повысить надёжность сети и снизить потери электроэнергии. Цель работы – провести модернизацию и техническое перевооружение системы электроснабжения напряжением 10 – 0,4 кВ села Варваровка. 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.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения 6
Введение 7
1 Характеристика района электроснабжения 9
2 Электрические нагрузки сети 0,4 кВ 13
2.1 Нагрузки сельских жилых домов 13
2.2 Нагрузки производственных потребителей 14
2.3 Нагрузки общественных зданий и сооружений 15
2.4 Нагрузка уличного освещения 16
2.5 Расчёт электрических нагрузок, выбор и проверка проводников распределительной сети 0,4 кВ 17
2.6 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ трансформаторных подстанций 24
2.7 Количество трансформаторов в трансформаторных подстанциях 26
2.8 Определение потерь мощности в трансформаторах трансформаторных подстанций 31
3 Электрические нагрузки сети 10 кВ 33
3.1 Нагрузки на стороне 10 кВ трансформаторных подстанций 33
3.2 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ 33
3.3 Расчёт электрических нагрузок на шинах подстанции «Варваровка» 39
4 Расчет токов короткого замыкания 41
4.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ 41
4.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ 45
4.3 Проверка линий 10 кВ на воздействие токов короткого замыкания 49
4.4 Расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ подстанции для проверки оборудования комплектного распределительного устройства 51
5 Выбор и проверка оборудования 56
5.1 Выбор предохранителей 10 кВ трансформаторов 10/0,4 кВ 56
5.2 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ 58

5.3 Выбор трансформаторов тока 61
5.4 Выбор трансформаторов напряжения 66
5.5 Выбор выключателей нагрузки 68
5.6 Выбор комплектного распределительного устройства 70
5.7 Выбор выключателей 10 кВ 73
5.8 Выбор токоведущих частей комплектного распределительного устройства 77
5.9 Выбор изоляторов 80
5.10 Выбор ограничителей перенапряжений 82
6 Компенсация емкостных токов замыкания на землю 84
7 Релейная защита и автоматика 85
7.1 Токовая отсечка без выдержки времени 85
7.2 Максимальная токовая защита линий 87
7.3 Защита от однофазных замыканий на землю 89
7.4 Устройства автоматического включения резерва 90
7.5 Уставки срабатывания защит 90
8 Заземляющее устройство трансформаторной подстанции 92
9 Безопасность и экологичность 96
9.1 Безопасность 96
9.2 Экологичность 99
9.3 Чрезвычайные ситуации 103
Заключение 108
Библиографический список 109

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;

АЭС – Амурские электрические сети;

ВЛ - воздушная линия;

ВН – высокое напряжение;

ДРСК – Дальневосточная распределительная сетевая компания;

КЗ – короткое замыкание;

КЛ - кабельная линия;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ЛЭП – линия электропередачи;

МТЗ – максимальная токовая защита;

НН – низкое напряжение;

РЗ - релейная защита;

СИП – самонесущий изолированный провод;

СП – структурное подразделение;

ТО – токовая отсечка;

ТП – трансформаторная подстанция.

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетным направлением в электроснабжении потребителей является обеспечение качества и надёжности поставляемой электроэнергии конечным потребителям. Задействованный в процессе передачи и распределения электроэнергии электросетевой комплекс в ряде случаев ограничен возможностями реализации инвестиционных программ, что приводит к снижению темпов обновления электрооборудования центров питания, кабельных и воздушных линий электропередачи.

Складывающаяся ситуация в экономической сфере требует от электросетевых компаний увеличивать планируемые затраты на реновацию электросетевого имущества с более строгим подходом к выделению средств на те или иные объемы инвестиций в электросетевой комплекс. С одной стороны, модернизация электрических сетей преследует цель снижения издержек на эксплуатацию электрооборудования, с другой стороны модернизация должна обеспечивать возможность развития электрических сетей для подключения новых потребителей электроэнергии.

Вновь вводимые в эксплуатацию электроустановки потребителей и заявки на технологическое присоединение, поступающие в электросетевые компании способствуют наращиванию темпов модернизации того состава электротехнического оборудования, который более всего нуждается в модернизации.

Целесообразность проработки выбранной темы бакалаврской работы состоит в том, что в Ивановском районе Амурской области для села Варваровка отмечается величина отчётных потерь электроэнергии 13% в распределительных сетях 0,4 - 10 кВ по итогу 2021 года. Снижение потерь до теоретически возможного уровня 10% возможно с учётом замены голых проводов ВЛ, оптимальной загрузки трансформаторов ТП 10/0,4 кВ, переключением части потребителей по менее затратным с точки зрения потерь электроэнергии схемам [1].

Исходными данными для разработки темы бакалаврской работы являются поопорные и однолинейные схемы сетей 10-0,4 кВ села Варваровка.

Цель бакалаврской работы – провести модернизацию системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка Ивановского района Амурской области.

Поставлены и решены следующие задачи модернизации сетей 0,4 – 10 кВ села Варваровка: расчёт марки и длины проводов типа СИП для сетей 0,4 – 10 кВ; оптимально загрузить трансформаторы ТП; обеспечить соблюдение качества электроэнергии по итогу модернизации; выбрать и проверить микропроцессорные терминалы защиты линий 10 кВ.

Актуальность бакалаврской работы – выполнить замену проводов сетей 10-0,4 кВ села Варваровка для снижения потерь электроэнергии, улучшения качества электроэнергии по ГОСТ 32144-2013.

Новизна бакалаврской работы – использование современных типов проводов ВЛ 0,4-10 кВ марки СИП для снижения хищений электроэнергии и улучшения эксплуатационных характеристик, повышения надёжности средств релейной защиты и автоматики засчёт использования микропроцессорных терминалов.

Практическая значимость бакалаврской работы – полученные расчётные параметры и схемы подключения ТП 10/0,4 кВ села Варваровка, использование которых совместно со сметными расчётами упрощает подготовку технической и рабочей документации на модернизацию сетей 10-0,4 кВ села Варваровка.

По мере проработки вопросов модернизации распределительных сетей 0,4-10 кВ села Варваровка использованы методы сбора и анализа информации по потребителям электрической энергии, планам их расположения на территории села Варваровка, схем подключения ТП 10/0,4 кВ.

Расчёты параметров оборудования и нагрузок выполнены на персональном рабочем месте в программе Microsoft Office Excel профессиональный плюс 2016. Оформление пояснительной записки выполнено на персональном рабочем месте в программе Microsoft Office Word профессиональный плюс 2016. Графические материалы выполнены на персональном рабочем месте в программе Microsoft Office Visio профессиональный плюс 2016.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Характеристика фактического состава оборудования сетей 0,4 села Варваровка оформлена как таблица 1 [9].

Таблица 1 – Характеристика сетей 0,4 кВ села Варваровка за 2021 год

№ ТП	сеть 0,4 кВ, км.	марка провода	тип нагрузки
215	гр.1 L=0,52	АС-50(0,32), АС-35(0,2)	бытовая
	гр.2 L=0,48	АС-35(0,24), СИП 4х50(0,16), АС-25(0,08)	смешанная
172	гр.1 L=0,36	СИП 4х70	производственная
	гр.2 L=0,42	СИП 4х70(0,2), СИП 2х25(0,1), АС-25 (0,12)	смешанная
	гр.3 L=0,36 вед. 0,2	СИП 4х70(0,36) вед.АС-25(0,2)	производственная
280	гр.1 L=0,05	АС-35	производственная
	гр.2 L=0,15 вед.	СИП 4х25	бытовая
281	гр.4 L=0,15	СИП 3х70+1х95	производственная
	гр.8 L=0,36	СИП 3х70+1х95(0,16), АС-25(0,2)	смешанная
	гр.9 L=0,05	СИП 4х25	производственная
	гр.14 L=	кабель	производственная
282	гр.1 L=	кабель	производственная
	гр.3 L=0,56	АС-35	бытовая
284	гр.8 L=0,15	АС-50	бытовая
	гр.16 L=	кабель	бытовая
	гр.19 L=	кабель	бытовая
	гр.17 L=	кабель	бытовая
53	гр.1 L=1,52	АС-25(0,76), АС-16(0,76)	бытовая
	гр.2 L=0,6	АС-25(0,4), АС-16(0,2)	бытовая
285	гр.1 L=0,05	СИП 3х70+1х95	бытовая
	гр.3 L=0,06	СИП 3х70+1х95	бытовая
125	гр.1 L=0,88	АС-25	бытовая
	гр.2 L=1,32	АС-25	бытовая
231	гр.7 L=0,32	АС-35(0,2) СИП 4х25(0,12)	производственная
111	гр.1 L=0,88 вед.0,16	АС-35(0,6) АС-25(0,28) вед.АС-25(0,16)	бытовая вед. - производственная
	гр.2 L=0,72	АС-35(0,32) АС-25(0,4)	бытовая
206	гр.1 L=0,4 вед.	АС-35	производственная
207	гр.1 L=0,2	АС-35	смешанная
	гр.2 L=1,08	АС-35	смешанная
210	гр.1 L=0,09	СИП 4х70	производственная
	гр.2 L=0,28	СИП 3х70+1х95	бытовая
214	гр.1 L=0,05	АС-35	производственная
	гр.2 L=0,44 вед.0,2	АС-50(0,4) АС-35(0,04) вед.АС-25(0,2)	производственная
145	гр.1 L=0,05	СИП 3х70+1х95	производственная

Из таблицы 1 видно, что в среднем около половины всех сетей 0,4 кВ села Варваровка выполнены голым проводом марки АС, что способствует наличию воровства электроэнергии.

Для снижения сверхнормативных потерь необходимо:

- использовать СИП для исключения фактов хищения ЭЭ;
- эффективно подключить потребителей;
- выбрать эффективный режим работы сети.

Поопорная схема линии 10 кВ ПС Варваровка Ф-26 рассматриваемого района указывается на рисунке 1.

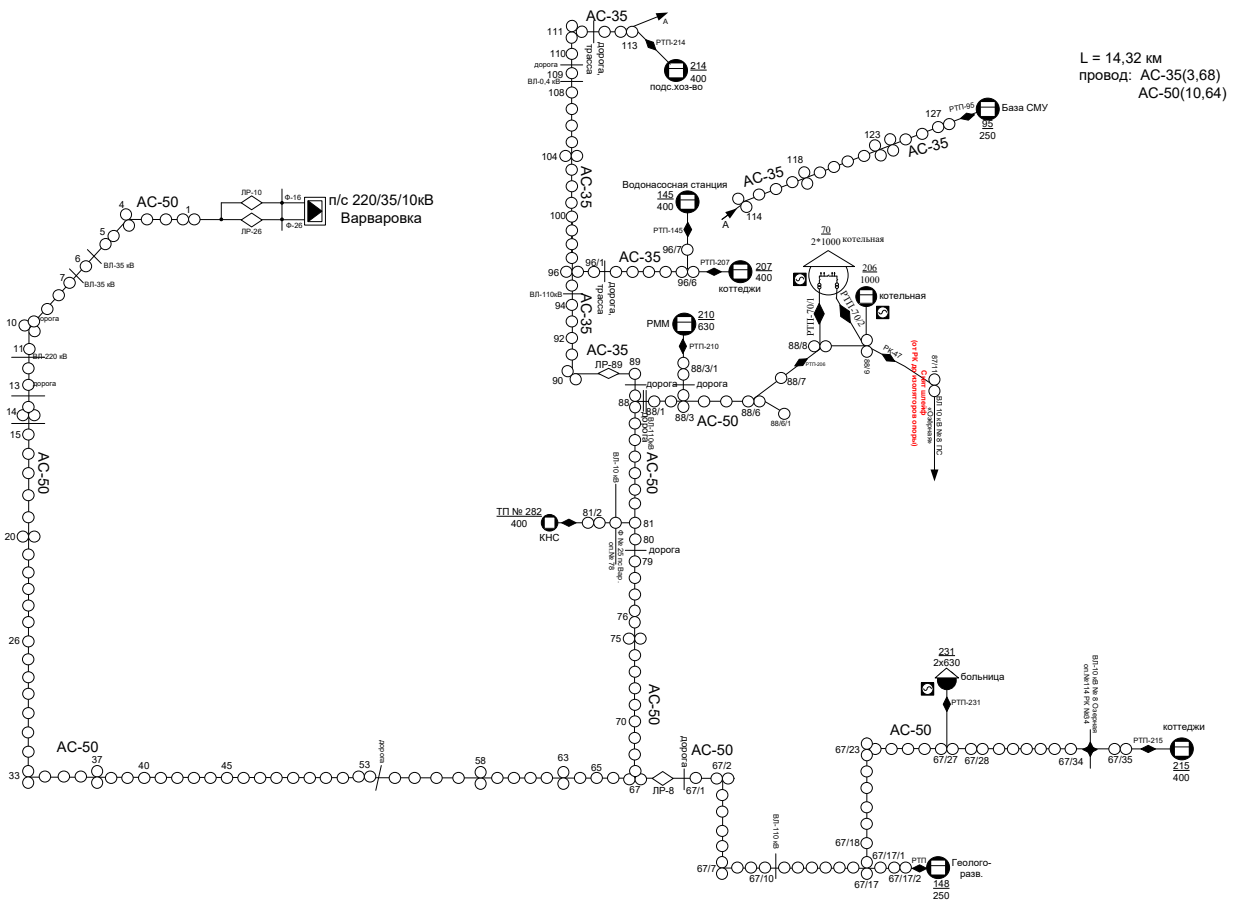

Рисунок 1 – Поопорная схема линии 10 кВ ПС Варваровка Ф-26

Поопорная схема линии 10 кВ ПС Варваровка Ф-25 рассматриваемого района указывается на рисунке 1.

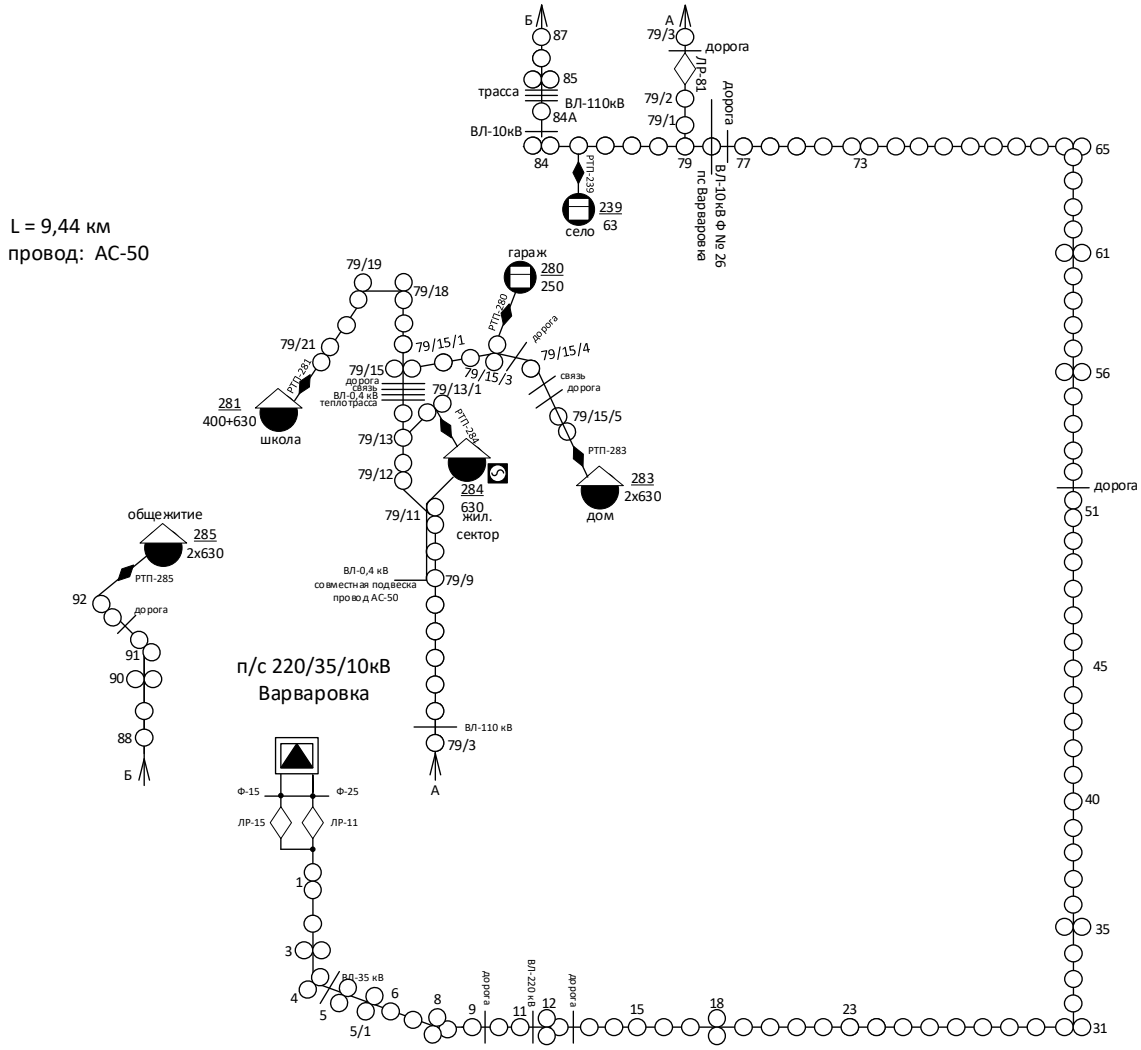

Рисунок 2 – Поопорная схема линии 10 кВ ПС Варваровка Ф-25

Из рисунков 1-2 видно, что провода сети 10 кВ марки АС, их необходимо также заменить на изолированные провода марки СИП-3.

Для характеристики района используем данные [2]. В состав муниципального образования «Варваровский сельсовет» входит одно село – Варваровка. Площадь границ муниципального образования составляет 110,07 кв.км., площадь населенного пункта 2 кв.км.

Часть населения села Варваровка проживает в многоквартирных домах с коммунальными услугами. Большая часть населения проживает в двухквартирных благоустроенных домах или индивидуальных домах без коммунальных услуг.

В селе имеются: начальная и средняя школы с актовым и спортивным залами, филиал музыкальной школы, детский сад с танцевальным залом, Дом культуры и библиотека, филиал Сбербанка, стоматологический кабинет, пожарная часть, почта, ателье по пошиву и ремонту одежды, кабельное телевидение, парикмахерские, большая сеть магазинов.

На территории расположен туберкулезный диспансер. Медицинская помощь в селе Варваровка осуществляется амбулаторией с отделением скорой помощи, но отсутствие лаборанта на протяжении ряда лет создает большие неудобства для населения.

2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ СЕТИ 0,4 КВ

Электрические нагрузки села Варваровка принимаются на основе справочных данных исходя из количества квартир жилых домов и наименования потребителей коммунально-бытового потребления [13].

На этапе составления экспликации потребителей по справочным данным в соответствии с методикой расчёта сельских потребителей используются наибольшие величины активной и реактивной мощности из дневного и вечернего максимума нагрузки.

2.1 **Нагрузки сельских жилых домов**

Нагрузка сельских жилых домов принимается на вводе 0,4 кВ и является трёхфазной симметричной нагрузкой.

В ходе определения активной нагрузки на вводе 0,4 кВ в жилой двухквартирный дом села Варваровка выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$P_P = P_{P\,уд} \cdot n \quad ; \tag{1}$$

$$P_P = 6 \cdot 2 = 12 \text{ кВт;}$$

где $P_{P\,уд}$ - удельная нагрузка;

n - количество квартир или жилых помещений, 2.

В ходе определения полной нагрузки на вводе 0,4 кВ в жилой двухквартирный дом села Варваровка выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_B = \frac{K_{УВ} \cdot P_P}{\cos\varphi_B} ; \tag{2}$$

$$S_Д = \frac{K_{УД} \cdot P_Р}{\cos\varphi_Д}, \quad (3)$$

$S_В$=1·12/0,97=12,2 кВА;

$S_Д$=1·12/0,97=12,2 кВА.

где $K_{УД}$, $K_{УВ}$ - коэффициенты участия в дневном и вечернем максимуме нагрузок двухквартирного дома;

$\cos\varphi_Д$; $\cos\varphi_В$ - коэффициентов мощности нагрузки дневного и вечернего потребления двухквартирного дома;

$P_Р$ - расчетная активная нагрузка на вводе в двухквартирный дом.

После расчёта нагрузки на вводе в жилой двухквартирный дом села Варваровка для всех потребителей села получен массив данных, который оформлен как таблица 2 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 2 – Расчётные нагрузки жилых зданий села Варваровка

Объект	Рв, кВт	Qв, квар	Рд, кВт	Qд, квар	Sр, кВА	cos(φ)	Категория по надёжности
Одноквартирный дом (электроплита)	6	1,496	3	0,748	6	0,97	3
Двухквартирный дом (электроплита)	12	2,992	6	1,496	12,2	0,97	3
общежития	96	23,936	48	11,968	99	0,97	3
гостиница	50	20	50	20	54	0,93	3

2.2 **Нагрузки производственных потребителей**

Нагрузка производственных потребителей принимается на вводе 0,4 кВ и является трёхфазной симметричной нагрузкой. Для определения нагрузки производственных потребителей используются справочные данные по нагрузке [13].

В ходе определения нагрузки на вводе 0,4 кВ центральной котельной села Варваровка выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$P^{В}{}_{Р} = P^{Д}{}_{Р} = 100$ кВт – вечерняя и дневная нагрузка одинакова;

$Q^{В}{}_{Р} = Q^{Д}{}_{Р} = 50$ квар– вечерняя и дневная нагрузка одинакова.

2.3 **Нагрузки общественных зданий и сооружений**

Нагрузка школы принимается на вводе 0,4 кВ и является трёхфазной симметричной нагрузкой. Для определения нагрузки школы используются справочные данные по нагрузке [13].

$P^{В}{}_{Р} = 12$ кВт;

$P^{Д}{}_{Р} = 21$ кВт;

$Q^{В}{}_{Р} = 8$ квар;

$Q^{Д}{}_{Р} = 8{,}1$ квар.

После расчёта нагрузки на вводе производственных потребителей, общественных зданий и сооружений села Варваровка для всех потребителей получен массив данных, который оформлен как таблица 3 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 3 –Расчётные нагрузки общественных зданий и сооружений села Варваровка

Объект	Рв, кВт	Qв, квар	Рд, кВт	Qд, квар	Sр, кВА	cos(φ)	Категория по надёжности
1	2	3	4	5	6	7	8
Склад	1	1	20	12	23	0,86	3
магазин	10	5	10	5	11	0,89	3
больница(диспансер)	50	35	50	35	61	0,82	2
Насосная станция	28	20	28	20	34	0,81	2
контора	4	2	10	6	12	0,34	3
пожарное депо	65	55	20	12	85	0,76	1
гараж 10 машин	10	8	20	17	26	0,76	3

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
РММ	30	10	60	50	78	0,77	3
Школа (старая, новая)	12	8,0	21	8,1	23	0,93	3
детский сад	12	8,0	21	8,1	23	0,93	2
хозяйство	25	20	25	20	32	0,78	3
столовая	6	3	18	8	20	0,91	3
Склад	1	1	20	12	23	0,86	3
центральная котельная	100	50	100	50	112	0,89	3
пилорама	20	10	50	40	64	0,78	3

2.4 **Нагрузка уличного освещения**

В ходе определения нагрузки уличного освещения для ТП-215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$P_{ос} = P_{ос.уд} \cdot l, \quad (4)$$

$$P_{ос} = 5 \cdot 0{,}69 = 3{,}5 \text{ кВт},$$

где $P_{ос.уд}$ – удельная мощность, для освещения улиц по [13] принимаем 5 кВт/км.

l –длина фидеров 0,4 кВ от шин НН КТП, так как в линейные провода СИП-2 предусмотрен дополнительный провод освещения, км.

После расчёта нагрузки уличного освещения для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 4 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 4 – Нагрузка освещения села Варваровка

Наименование ТП	$P_{ос.уд}$, кВт/км.	l, км	$P_{ос}$, кВт
ТП-215	5	0,69	3,45
ТП-231	5	0,69	3,45
ТП-283	5	1,46	7,3
ТП-285	5	1,38	6,9
ТП-210	5	1,17	5,85
ТП-111	5	2,67	13,35
ТП-53	5	2,25	11,25
ТП-172	5	1,65	8,25

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

Распределительные сети 0,4 кВ села Варваровка выполняются воздушными линиями проводом СИП-2А по магистральным схемам для потребителей 3й категории по надёжности электроснабжения частного сектора и кабельными линиями кабелями АВВГ по резервированным радиальным линиям для потребителей 2й категории по надёжности.

В ходе определения активной нагрузки линии 0,4 кВ ф-1 ТП-111 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$P_P = K_o \cdot P_i \cdot n_i, \tag{5}$$

$$P_P = 0.31 \cdot 17 \cdot 6 = 33\,\text{кВт},$$

где K_o - коэффициент одновременности [13];

n_i - количество однотипных потребителей линии 0,4 кВ ф-1 ТП-111, 17 двухквартирных домов;

P_i - активная мощность на вводе 0,4 кВ потребителя определенной группы электроснабжения.

В ходе определения полной нагрузки линии 0,4 кВ ф-1 ТП-111 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_P = K_o \cdot S_i. \tag{6}$$

$$S_P = 0.31 \cdot 111 = 35\ кВА..$$

где S_i - полная мощность на вводе 0,4 кВ потребителя определенной группы электроснабжения с одинаковым коэффициентом мощности для обоснованности применение формулы, по которой допускается суммирование полной нагрузки через коэффициент одновременности

В ходе определения расчётного тока линии 0,4 кВ ф-1 ТП-111 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{P\,МАКС} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \tag{7}$$

$$I_{P\,МАКС} = \frac{29}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 40\,\text{А},$$

где U_H - номинальное напряжение НН ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения села Варваровка, кВ

В ходе определения допустимого по нагреву сечения линии 0,4 кВ ф-1 ТП-111 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{\text{р МАК}} \le I_{\text{ДОП}}; \tag{8}$$

48 А≤100 А, условие выполняется.

где $I_{\text{ДОП}}$ - допустимый по нагреву ток провода сечением жил 16 $мм^2$ СИП 2А 3х16+1х25, 100 А [24].

В ходе определения потери напряжения по линии 0,4 кВ ф-1 ТП-111 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

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

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 40 \cdot 0,45 \cdot \frac{100}{400} \cdot (1,91 \cdot 0.97 + 0.1 \cdot 0.2) = 15,4\%,$$

где *cos(φ)* – средний коэффициент мощности по линии 0,4 кВ ТП-111;

sin(φ) – средний коэффициент активной мощности по линии 0,4 кВ, ТП-111;

l – длина фидера 1 0,4 кВ от ТП-111, км;

I_p– расчетный ток фидера 1 0,4 кВ от ТП-111, А;

$r_{\text{уд}}$ - удельное активное сопротивление проводов фидера 1 0,4 кВ от ТП-111, Ом/км [24];

$x_{\text{уд}}$ - удельное реактивное сопротивление проводов фидера 1 0,4 кВ от ТП-111, Ом/км [24].

Потеря напряжения превышает 10%, поэтому увеличим сечение линии магистрального СИПа до 35 $мм^2$. В таком случае:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 40 \cdot 0,45 \cdot \frac{100}{400} \cdot (1,2 \cdot 0.97 + 0.09 \cdot 0.2) = 9,7\%.$$

В ходе проверки на потерю напряжения по линии 0,4 кВ ф-1 ТП-111 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

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

$$9,7\% < 10\%,$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – величина допустимого падения напряжения 10%, [6].

Условие проверки на допустимую потерю напряжения соблюдается для ввода наиболее удаленного потребителя по линии, на вводе ближайшего потребителя по линии при поддержании номинального значения напряжения на шинах 0,4 кВ ТП превышения напряжения сверх нормы не будет.

В ходе определения нагрузки линий 0,4 кВ для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 5 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 5 –Нагрузки линий 0,4 кВ для всех ТП села Варваровка

Наименование ТП	Характер нагрузки	$N_{потр}$	$P_{сумм}$, кВт	$S_{сумм}$, кВА	K_o	P_P, кВт	S_P, кВА	I_P, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП-215								
ф-1	большая часть бытового сектора	9	120	134	0.4	48	54	69
ф-2	производственный сектор	9	92	100	0.4	37	40	53
ВЛ	магистраль освещения		5.52			5.5		8
ТП-231								
ф-1	бытовой сектор	1	50	61	1	50	61	72
ф-2	бытовой сектор	29	65	85	1	65	85	94
ф-3	бытовой сектор	3	60	73	0.62	37	45	54
ВЛ	магистраль освещения		5.52			5.5		8
ТП-283								
ф-1	большая часть бытового сектора	6	96	116	0.47	45	54	65
ф-2	бытовой сектор	1	21	23	1	21	23	30
ф-3	большая часть бытового сектора	8	110	120	0.41	45	49	65
ф-4	производственный сектор	1	100	112	1	100	112	145
ф-5	большая часть бытового сектора	3	52	56	0.62	32	35	47
ВЛ	магистраль освещения		11.68			11.7		17
ТП-285								
ф-1	большая часть бытового сектора	2	33	35	0.73	24	25	35
ф-2	бытовой сектор	4	149	160	0.56	83	90	121
ф-3	большая часть бытового сектора	13	212	238	0.34	72	81	104

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ф-4	бытовой сектор	11	154	171	0.37	57	63	82
ВЛ	магистраль освещения		13.8			13.8		20
ТП-210								
ф-1	производственный сектор	11	196	247	0.64	125	158	181
ф-2	бытовой сектор	2	120	156	0.85	102	133	147
ф-3	ком-бытовой сектор	6	111	143	0.725	80	104	116
ВЛ	магистраль освещения		9.36			9.4		14
ТП-111								
ф-1	бытовой сектор	17	108	111	0.31	33	35	48
ф-2	большая часть бытового сектора	4	50	58	0.56	28	33	40
ф-3	производственный сектор	3	90	117	0.8	72	93	104
ф-4	производственный сектор	3	90	114	0.8	72	91	104
ф-5	бытовой сектор	8	48	49	0.41	20	20	28
ф-6	бытовой сектор	5	30	31	0.5	15	15	22
ВЛ	магистраль освещения		21.36			21.4		31
ТП-53								
ф-1	бытовой сектор	11	78	80	0.37	29	30	42
ф-2	бытовой сектор	13	84	87	0.34	29	29	41
ф-3	бытовой сектор	13	96	99	0.34	33	34	47
ф-4	бытовой сектор	18	114	117	0.3	34	35	49
ВЛ	магистраль освещения		22.5			22.5		33
ТП-172								
ф-1	производственный сектор	3	60	79	0.8	48	63	69
ф-2	бытовой сектор	6	98	119	0.47	46	56	67
ф-3	бытовой сектор	5	66	75	0.5	33	38	48
ф-4	бытовой сектор	16	102	105	0.31	32	33	46
ВЛ	магистраль освещения		16.5			16.5		24

По рассчитанным нагрузкам линий 0,4 кВ выбираются сечения проводов СИП таким образом, чтобы соблюдалось условие по нагреву рабочим током.

В ходе выбора проводов линий 0,4 кВ для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 6 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 6 – Выбор проводов линий 0,4 кВ для всех ТП села Варваровка

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	$I_Р$, А	$I_{ДОП}$, А	$F_{пров/каб}$, мм^2	L, км	cos(φ)	sin(φ)
1	2	3	4	5	6	7
ТП-215						
ф-1	69	160	35	0,33	0,89	0,4
ф-2	53	130	25	0,36	0,92	0,4
ВЛ	8	100	16	0,36	1,00	0,0
ТП-231						
ф-1	72	130	25	0,06	0,82	0,6
ф-2	94	160	35	0,27	0,76	0,6
ф-3	54	130	25	0,36	0,82	0,6
ВЛ	8	100	16	0,36	1,00	0,0
ТП-283						
ф-1	65	160	35	0,42	0,83	0,6
ф-2	30	130	25	0,09	0,93	0,4
ф-3	65	160	35	0,3	0,92	0,4
ф-4	145	293	95	0,38	0,89	0,4
ф-5	47	130	25	0,27	0,93	0,4
ВЛ	17	100	16	0,42	1,00	0,0
ТП-285						
ф-1	35	130	25	0,15	0,95	0,3
ф-2	121	195	50	0,27	0,93	0,4
ф-3	104	240	70	0,42	0,89	0,5
ф-4	82	240	70	0,54	0,90	0,4
ВЛ	20	100	16	0,54	1,00	0,0
ТП-210						
ф-1	181	240	70	0,3	0,79	0,6
ф-2	147	195	50	0,21	0,77	0,6
ф-3	116	340	120	0,66	0,78	0,6
ВЛ	14	100	16	0,66	1,00	0,0
ТП-111						
ф-1	48	160	35	0,51	0,97	0,2
ф-2	40	130	25	0,21	0,86	0,5
ф-3	104	290	95	0,57	0,77	0,6
ф-4	104	201	50	0,36	0,79	0,6
ф-5	28	132	25	0,33	0,97	0,2
ф-6	22	130	25	0,69	0,97	0,2
ВЛ	31	160	35	0,69	1,00	0,0
ТП-53						
ф-1	42	160	35	0,51	0,97	0,2
ф-2	41	130	25	0,36	0,97	0,2
ф-3	47	160	35	0,48	0,97	0,2
ф-4	49	240	70	0,9	0,97	0,2

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
ВЛ	33	195	50	0,9	1,00	0,0
ТП-172						
ф-1	69	130	25	0,12	0,76	0,6
ф-2	67	160	35	0,33	0,82	0,6
ф-3	48	130	25	0,33	0,88	0,5
ф-4	46	240	70	0,87	0,97	0,2
ВЛ	24	195	50	0,87	1,00	0,0

В ходе проверки проводов линий 0,4 кВ для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 7 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 7 – Потери напряжения в сетях 0,4 кВ села Варваровка

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	I_P, А	L, км	cos(φ)	sin(φ)	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔU, %
1	2	3	4	5	6	7	8
ТП-215							
ф-1	69	0,33	0,89	0,4	0,87	0,09	8,5
ф-2	53	0,36	0,92	0,4	1,2	0,09	9,9
ВЛ	8	0,36	1,00	0,0	1,91	0,1	2,5
ТП-231							
ф-1	72	0,06	0,82	0,6	1,2	0,09	2,0
ф-2	94	0,27	0,76	0,6	0,87	0,09	8,3
ф-3	54	0,36	0,82	0,6	1,2	0,09	9,1
ВЛ	8	0,36	1,00	0,0	1,91	0,1	2,5
ТП-283							
ф-1	65	0,42	0,83	0,6	0,87	0,09	9,6
ф-2	30	0,09	0,93	0,4	1,2	0,09	1,4
ф-3	65	0,3	0,92	0,4	0,87	0,09	7,4
ф-4	145	0,38	0,89	0,4	0,33	0,06	8,0
ф-5	47	0,27	0,93	0,4	1,2	0,09	6,6
ВЛ	17	0,42	1,00	0,0	1,91	0,1	6,2
ТП-285							
ф-1	35	0,15	0,95	0,3	1,25	0,07	2,9
ф-2	121	0,27	0,93	0,4	0,64	0,09	9,3
ф-3	104	0,42	0,89	0,5	0,45	0,06	8,5
ф-4	82	0,54	0,90	0,4	0,44	0,09	8,8
ВЛ	20	0,54	1,00	0,0	1,91	0,1	9,4
ТП-210							
ф-1	181	0,3	0,79	0,6	0,44	0,09	10,0
ф-2	147	0,21	0,77	0,6	0,64	0,09	7,7

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
ф-3	116	0,66	0,78	0,6	0,253	0,09	8,8
ВЛ	14	0,66	1,00	0,0	1,91	0,1	7,8
ТП-111							
ф-1	48	0,51	0,97	0,2	0,87	0,09	9,7
ф-2	40	0,21	0,86	0,5	1,2	0,09	4,2
ф-3	104	0,57	0,77	0,6	0,32	0,09	8,2
ф-4	104	0,36	0,79	0,6	0,63	0,06	9,1
ф-5	28	0,33	0,97	0,2	1,25	0,07	5,3
ф-6	22	0,69	0,97	0,2	1,2	0,09	8,1
ВЛ	31	0,69	1,00	0,0	0,87	0,09	8,4
ТП-53							
ф-1	42	0,51	0,97	0,2	0,89	0,06	8,5
ф-2	41	0,36	0,97	0,2	1,2	0,09	8,0
ф-3	47	0,48	0,97	0,2	0,89	0,06	9,1
ф-4	49	0,9	0,97	0,2	0,44	0,09	9,1
ВЛ	33	0,9	1,00	0,0	0,64	0,09	8,5
ТП-172							
ф-1	69	0,12	0,76	0,6	1,25	0,07	3,8
ф-2	67	0,33	0,82	0,6	0,87	0,09	7,7
ф-3	48	0,33	0,88	0,5	1,25	0,07	8,1
ф-4	46	0,87	0,97	0,2	0,44	0,09	8,1
ВЛ	24	0,87	1,00	0,0	0,64	0,09	6,0

По потере напряжения согласно ГОСТ 32144-2013 все линии 0,4 кВ села Варваровка проходят проверку.

2.5 **Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ трансформаторных подстанций**

Расчётная нагрузка головных участков линий 0,4 кВ суммируется на шинах 0,4 кВ ТП по таблицам добавок мощности [4], в результате использования которых для наибольшей из активных нагрузок линий 0,4 кВ подбирается соответствующая добавка.

В ходе определения активной нагрузки на шинах НН ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$P_{P\,ТП215} = P_{P\,ТП215\,л1} + P_{P\,ТП215\,л2*} + P_{осв\,ТП215}; \quad (11)$$

$$P_{P\,ТП215} = 48 + 24,2 + 5,5 = 78\,\text{кВт};$$

где $P_{P\,ТП215\,л1}$ - расчётная активная нагрузка головного участка линии 1, определена ранее, 48 кВт;

$P_{P\,ТП215\,л2*}$ - добавка от расчётной активной нагрузки головного участка линии 2, определена по [4], 24,2 кВт;

$P_{осв\,ТП215}$ - активная нагрузка осветительной магистрали вдоль трассы прокладки линий 0,4 кВ ТП 215.

В ходе определения полной нагрузки на шинах НН ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{P\,ТП215} = \frac{P_{P\,ТП215}}{\cos\varphi}; \quad (12)$$

$$S_{P\,ТП215} = \frac{78}{0.9} = 83\,\text{кВА}.$$

где cosφ - коэффициент мощности для шин НН ТП, 0,9.

В ходе определения нагрузки на стороне 0,4 кВ для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 8 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 8 – Нагрузки ТП на стороне 0,4 кВ села Варваровка

№ ТП	$S_р$, кВА	$P_Р$, кВт	$Q_Р$, квар
1	2	3	4
ТП-215	83	78	29,1
ТП-231	151	129	79,4
ТП-283	224	206	89,7
ТП-285	215	201	76,6

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
ТП-210	311	260	171,8
ТП-111	229	203	104,9
ТП-53	118	115	28,6
ТП-172	160	137	81,6

2.6 **Количество трансформаторов в трансформаторных подстанциях**

Для потребителей села Варваровка проведена классификация их категорийности по надёжности электроснабжения, в результате чего определено, что для ответственных потребителей 2 и 1 категории по надёжности электроснабжения по [10] выбираются 2 трансформатора 10/0,4 кВ на питающих ТП, для потребителей 3 категории по надёжности электроснабжения по [14] выбирается 1 трансформатор 10/0,4 кВ на питающих ТП.

В ходе определения расчётной мощности силовых трансформаторов на ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{PT} = \frac{S_{ТП}}{n_T \cdot K_C}, \tag{13}$$

$$S_{PT} = \frac{83}{1 \cdot 0,8} = 104\ кВА\ ,$$

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

n_T - число трансформаторов;

K_c - коэффициент допустимой систематической нагрузки, принимаемый 0,8 [13].

В ходе выбора номинальной мощности силовых трансформаторов на ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{НОМТР} \geq S_{РТ}, \quad (14)$$

160 кВА≥104 кВА, выбирается трансформатор ТМ-160/10.

В ходе проверки силовых трансформаторов на ТП 215 по загрузке в нормальном режиме выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$K_{З\,норм} = \frac{S_P}{S_{НОМТР} \cdot N_{ТР}}; \quad (15)$$

$$K_{З\,норм} = \frac{83}{160 \cdot 1} = 0,52 \geq 0,5;$$

В ходе проверки силовых трансформаторов на ТП 215 по загрузке в послеаварийном режиме выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$K_{З\,па} = \frac{S_P}{S_{НОМТР} \cdot (N_{ТР} - 1)}; \quad (16)$$

$$K_{З\,па} = \frac{83}{160 \cdot (1)} = 0,52 \leq 1,4 .$$

Для обоснования замены трансформаторов на ТП-215 проверим фактически установленные трансформаторы по загрузке. На ТП-215 установлен трансформатор ТМ-400:

$$K_{З\,норм} = \frac{S_P}{S_{НОМТР} \cdot N_{ТР}}; \quad (17)$$

$$K_{З\,норм} = \frac{83}{400 \cdot 1} = 0,21.$$

Из расчёта видно, что фактически установленный трансформатор недогружен. Поэтому считается целесообразным провести замену трансформатора 400 кВА на трансформатор мощностью 160 кВА. Кроме того, согласно листу графической части №1, проводится разукрупнение некоторых ТП, что позволяет переключить потребителей от менее загруженных ТП и демонтировать трансформаторы на неиспользуемых разукрупненных ТП, рисунок 3.

Снижение количества трансформаторов в системе электроснабжения 10/0,4 кВ села Варваровка позволит снизить потери холостого хода и нагрузочные потери в трансформаторах, нагрузочные потери в линиях 0,4 и 10 кВ.

Выбор мощности трансформаторов на оставшихся в работе ТП села Варваровка с допустимыми коэффициентами загрузки позволит сохранить возможность подключения новых потребителей без существенного увеличения резервируемой мощности в системе электроснабжения.

Совместно со снижением количества ТП 10/0,4 кВ села Варваровка проводится пересмотр схемы включения в сеть 10 кВ имеющихся ТП, их модернизация в соответствии с предлагаемой схемой включения, в результате чего получены характеристики двух вариантов соединения схемы сети 10 кВ.

Согласно рисунку 3, демонтируемые ТП:

- ТП 280 котельная 1х250;
- ТП 148 пожарное депо 1х250;
- ТП 284 насосная депо 1х630;
- ТП 281 школа 630+400;
- ТП 206 котельная 1х1000;
- ТП 145 водозабор 1х400;
- ТП 282 КНС 1х400;
- ТП 239 село 1х63;
- ТП 95 база СМУ 1х250;

- ТП 125 село 1х100;
- ТП 207 коттеджи 1х400;
- ТП 214 хозяйство 1х400.

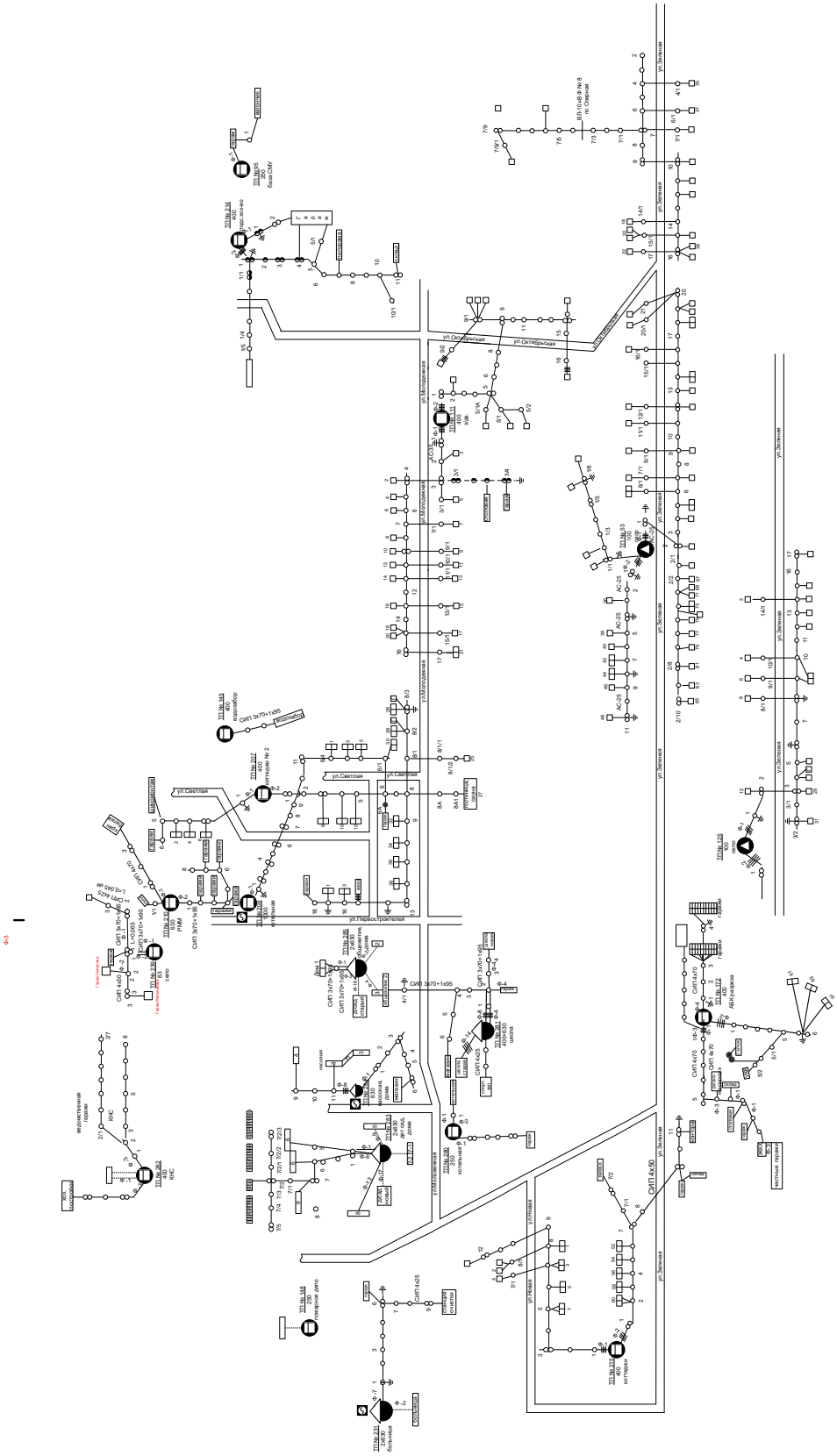

Рисунок 3 – Схема 0,4 кВ села Варваровка до реконструкции

В ходе определения номинальной мощности трансформаторов для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 9 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 9 – Выбор трансформаторов 10/0,4 кВ села Варваровка

№ ТП	$S_р$, кВА	$N_{тр}$	$К_{загр}$	$S_{расч}$, кВА	$S_{ном}$, кВА	$К_{загр\ факт}$	$К_{загр\ авар}$
ТП-215	83	1	0,8	104	160	0,52	0,52
ТП-231	151	2	0,7	108	160	0,5	1
ТП-283	224	2	0,7	160	160	0,70	1,40
ТП-285	215	2	0,7	153	160	0,67	1,34
ТП-210	311	1	0,8	389	400	0,78	0,78
ТП-111	229	1	0,8	286	400	0,57	0,57
ТП-53	118	1	0,8	148	160	0,74	0,74
ТП-172	160	1	0,8	199	250	0,64	0,64

Все выбранные трансформаторы ТП села Варваровка загружены оптимально, недогруженных ТП с коэффициентом загрузки менее 0,5 нет, перегруженных ТП с коэффициентом загрузки более 1,4 нет.

В ходе проверки номинальной мощности фактически задействованных трансформаторов для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 10 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 10 – Проверка фактически установленных трансформаторов

№ ТП	$S_р$, кВА	$S_{ном\ факт}$, кВА	$К_{загр\ факт}$	Характеристика
ТП-215	83	400	0,21	недогружен
ТП-231	151	1260	0,12	недогружен
ТП-283	224	1260	0,18	недогружен
ТП-285	215	1260	0,17	недогружен
ТП-210	311	630	0,49	недогружен
ТП-111	229	400	0,6	Оптимальная загрузка
ТП-53	118	100	1,2	перегружен
ТП-172	160	400	0,4	недогружен

2.7 **Определение потерь мощности в трансформаторах трансформаторных подстанций**

В ходе определения полных активных потерь мощности силовых трансформаторов на ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_з^2 \cdot \Delta P_K, \tag{18}$$

$$\Delta P_T = 0,56 + 0,52^2 \cdot 2,65 = 1,3 \text{ кВт};$$

где ΔP_X - номинальные активные потери холостого хода ТМ-160 [7];

ΔP_K - номинальные активные потери короткого замыкания ТМ-160 [7].

В ходе определения реактивных потерь холостого хода силовых трансформаторов на ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \tag{19}$$

$$\Delta Q_X = 160 \cdot \frac{2,4}{100} = 3,84 \text{ квар};$$

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора ТМ-160 [7];

I_x - ток холостого хода трансформатора ТМ-160 [7].

В ходе определения реактивных потерь короткого замыкания силовых трансформаторов на ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_к}{100}, \quad (20)$$

$$\Delta Q_K = 160 \cdot \frac{4,5}{100} = 7,2 \text{ квар;}$$

где $U_к$ - напряжение короткого замыкания трансформатора ТМ-160 [7].

В ходе определения полных реактивных потерь силовых трансформаторов на ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_з^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (21)$$

$$\Delta Q_T = 3,84 + 0,52^2 \cdot 7,2 = 5,8 \text{ квар.}$$

где ΔQ_X - реактивные потери холостого хода трансформатора ТМ-160;

ΔQ_K - реактивные потери короткого замыкания трансформатора ТМ-160.

В ходе определения потерь мощности трансформаторов для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 11 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 11 – Потери мощности в трансформаторах ТП села Варваровка

№ ТП	$\Delta P_т$, кВт	$\Delta Q_т$, квар
ТП-215	1,3	5,8
ТП-231	1,2	5,4
ТП-283	1,9	7,4
ТП-285	1,8	7,1
ТП-210	4,4	19,3
ТП-111	2,8	14,3
ТП-53	2,0	7,8
ТП-172	2,3	10,3

3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ СЕТИ 10 КВ

3.1 **Нагрузки на стороне 10 кВ трансформаторных подстанций**

В ходе определения нагрузки на стороне 10 кВ силовых трансформаторов на ТП 215 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{10кВ\,ТП} = \sqrt{(P_{ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + \Delta Q_{ТП})^2}\,, \tag{22}$$

$$S_{10кВ\,ТП} = \sqrt{(78+1{,}3)^2 + (29{,}1+5{,}8)^2} = 86\,\text{кВА}.$$

В ходе определения нагрузки на стороне 10 кВ трансформаторов для всех ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 12 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 12 - Нагрузка ТП на стороне 10 кВ

№ ТП	$P_{пр}$, кВт	$Q_{пр}$, квар	$S_{пр}$, кВА
ТП-215	79	35	86
ТП-231	131	90	159
ТП-283	209	104	234
ТП-285	204	91	223
ТП-210	264	191	326
ТП-111	206	119	238
ТП-53	117	36	122
ТП-172	139	92	167

3.2 **Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ**

Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ проводится на основании технико-экономического сравнения 2 вариантов выполнения ВЛ 10 кВ проводом СИП – 3, [6]. Для сравнения использована петлевая конфигурация

как рекомендуемая и подходящая для обеспечения резервного питания ТП по стороне 10 кВ от ПС Варваровка.

Выбираем ориентировочное сечение проводов ВЛ-10 кВ села Варваровка СИП - 3, при условии:

- Точка размыкания петли принимается условно исходя из равномерности загрузки плеч петли для минимизации потерь электроэнергии в линиях 10 кВ;
- Протяженность плеч петлевой схемы выбирается условно и подлежит проверке по потере напряжения.

В ходе определения активной нагрузки линии питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$P_{P\,ЛИН} = \kappa_O \cdot (P_{ТП\,231} + P_{ТП\,215} + P_{ТП\,172} + P_{ТП\,53}), \quad (23)$$

$$P_{P\,ЛИН} = 0{,}9 \cdot (79 + 131 + 117 + 139) = 420 \text{ кВт},$$

где κ_o - коэффициент одновременности для ТП в количестве 4 шт принимается 0,9 [4];

$P_{ТП231}$, $P_{ТП215}$, $P_{ТП172}$, $P_{ТП53}$ – активная нагрузка на стороне 10 кВ ТП ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 соответственно, кВт.

В ходе определения реактивной нагрузки линии питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$Q_{P\,ЛИН} = \kappa_O \cdot (Q_{ТП\,231} + Q_{ТП\,215} + Q_{ТП\,172} + Q_{ТП\,53}), \quad (24)$$

$$Q_{P\,ЛИН} = 0.9 \cdot (35 + 90 + 36 + 92) = 228 \text{ квар},$$

где κ_o - коэффициент одновременности для ТП в количестве 4 шт принимается 0,9 [4];

$Q_{ТП231}$, $Q_{ТП215}$, $Q_{ТП172}$, $Q_{ТП53}$ – реактивная нагрузка на стороне 10 кВ ТП ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 соответственно, квар.

В ходе определения полной нагрузки линии питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{P\ ЛИН} = \sqrt{(P_{P\ ЛИН})^2 + (Q_{P\ ЛИН})^2}\ , \tag{25}$$

$$S_{P\ ЛИН} = \sqrt{(420)^2 + (228)^2} = 478\,\text{кВА},$$

В ходе определения токовой нагрузки линии питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_P = \frac{S_{P\ ЛИН}}{\sqrt{3} \cdot U_H}\ ; \tag{26}$$

$$I_P = \frac{478}{\sqrt{3} \cdot 10} = 28\,\text{А}.$$

В ходе выбора сечения проводов СИП-3 линии питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_p \leq I_{доп}; \tag{27}$$

28 А$\leq$ 210 А;

где $I_{доп}$ – допустимый по нагреву ток провода СИП-3-35, 210 А.

В ходе определения потери напряжения по линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot l \cdot \frac{100}{U_{н}} \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos(\varphi) + x_{\text{уд}} \cdot \sin(\varphi)), \quad (28)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 28 \cdot 2,4 \cdot \frac{100}{10000} \cdot (0,986 \cdot 0.97 + 0.1 \cdot 0.2) = 1\%.$$

где *cos(φ)* – средний коэффициент мощности по линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1;

sin(φ) – средний коэффициент активной мощности по линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1;

l – длина линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1, км;

$I_р$– расчетный ток линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1, А;

$r_{\text{уд}}$ - удельное активное сопротивление проводов линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1, Ом/км.

$x_{\text{уд}}$ - удельное реактивное сопротивление проводов линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 варианта 1, Ом/км.

В ходе проверки на потерю напряжения по линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}}, \quad (29)$$

$1\% < 10\%$.

В ходе определения нагрузки и характеристик линий 10 кВ села Варваровка по каждому предлагаемому варианту модернизации выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 13 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 13 - Нагрузка линий 10 кВ

Линия	$P_{сум}$, кВт	$Q_{сум}$, кВАр	$S_{сум}$, кВА	Ко	$P_Р$, кВт	$Q_Р$, кВАр	$S_Р$, кВА	$I_Р$, А	$I_{доп}$, А	F СИП-3, мм^2	L, км	$n_ц$	$R_л$, Ом/км	$X_л$, Ом/км	$\Delta W_л$, кВтч	$\Delta U_л$, %
Вариант №1																
231,215, 172,53	466	254	531	0,90	420	228	478	28	210	35	2,4	1	0,986	0,10	32383	1,0
283,285, 210,111	884	505	245	0,90	795	455	221	13	210	35	2,5	1	0,986	0,10	124167	2,1
послеаварийный режим	1350	759	1549	0,85	1147	645	1316	76	210	35	5,0	1	0,986	0,10	512539	6,0
Вариант №2																
231,215, 172,283	559	322	645	0,90	503	289	580	34	210	35	2,4	1	0,986	0,10	47798	1,3
210,111, 53,285	791	437	904	0,90	712	394	814	47	210	35	3,4	1	0,986	0,10	133146	2,5
послеаварийный режим	1350	759	1549	0,85	1147	645	1316	76	210	35	5,3	1	0,986	0,10	543291	6,3

Потеря напряжения в послеаварийном режиме менее 10%, требования ГОСТ 32144-2013 выполняются.

В ходе определения потерь мощности по линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\Delta W_{ВЛ}=(P_Л^2+Q_Л^2)/U_{ном}^2\cdot R_{уд}\cdot L\cdot T; \quad (30)$$

$$\Delta W_{ВЛ}=(420^2+228^2)/10^2\cdot 0{,}986\cdot 2{,}4\cdot 6000=32383 \text{ кВтч};$$

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

$Q_Л$ – потоки реактивной мощности по линии, квар;

$R_{уд}$ - удельное активное сопротивление линии 10 кВ, Ом/км;

L – протяженность линии 10 кВ питания ТП-231, ТП-215, ТП-172, ТП-53, 2,4 км;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, 10 кВ;

T – число часов максимальных потерь электроэнергии, для сельских сетей Амурской области принимается 6000 ч.

В ходе определения приведенных затрат по вариантам сети 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$З=E_н\cdot(K_{ВЛ}+K_{ВЫКЛ})+a_{ам.ПС}\cdot K_{ВЫКЛ}+a_{ам.ВЛЭП}\cdot K_{ВЛ}+C_0\cdot\Delta W_{ВЛ}; \quad (31)$$

$З_{вариант1}$=0,1·(1600+309)+0,059·1600 + 0,005·309+ 2,2·(32383+124167)=
=727 тыс.руб.;

где $E_н$ - норматив дисконтирования, 0,1 [16];

$K_{ВЛ}$ - стоимость ВЛ-10 кВ в каждом из предлагаемых вариантов сети;

$K_{ВЫКЛ}$ - стоимость выключателей 10 кВ на ПС Варваровка без учёта стоимости ячейки КРУ-10 кВ, [23];

C_0– удельная стоимость потерь электроэнергии, 2,2 руб/кВт·ч [10];

$a_{ам.ПС}$ - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание выключателей 10 кВ, 5,9%;

$a_{ам.ВЛЭП}$ - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание линий 10 кВ, 0,5%;

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

Проводим сравнение вариантом по меняющимся частям, поэтому капиталовложения в трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ села Варваровка не

учитываем, ввиду того, что количество и мощность ТП для обоих вариантов одинаковы.

В ходе определения приведенных затрат на модернизацию системы электроснабжения 10 кВ села Варваровка по каждому предлагаемому варианту модернизации выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 14 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 14 – Сравнение вариантов сети 10 кВ

№ Варианта	1	2	
$N_{выкл}$, шт	2	2	
$L_{пров35}$, км	5,6	6,2	
$C_{выкл}$, тыс. руб	800	800	
$C_{пров35}$, тыс. руб	55,17	55,17	
$C_{потерь\ ээ}$, руб/кВтч	1,7	1,7	
$И_{пров\ экспл}$, тыс. руб	2	2	
$И_{выкл\ экспл}$, тыс. руб	94	94	
$И_{аморт}$, тыс. руб	95	97	
$И_{потерь\ ээ}$, тыс. руб	344	398	13%
З, тыс. руб	727	785	8%

В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что вариант 1 дешевле на 8%.

3.3 **Расчёт электрических нагрузок на шинах подстанции «Варваровка»**

В ходе определения максимальной активной нагрузки линии 10 кВ с центром питания ПС Варваровка, к которой подключены все ТП села Варваровка выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$P_{Р\ макс\ Л} = K_0 \cdot (P_{ТП\ 231}+P_{ТП\ 215}+P_{ТП\ 172}+P_{ТП\ 53}+P_{ТП\ 283}+P_{ТП\ 285}+P_{ТП\ 210}+ +P_{ТП\ 111}); \quad (32)$$

$$P_{Р\ макс\ Л} = 0{,}85 \cdot (79+131+209+204+264+206+117+139)=1147 \text{ кВт},$$

где K_0 - коэффициент одновременности для ТП в количестве 8 шт принимается 0,85 [4];

В ходе определения максимальной реактивной нагрузки линии 10 кВ с центром питания ПС Варваровка, к которой подключены все ТП села Варваровка выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$Q_{Р\ макс\ Л} = K_0 \cdot (Q_{ТП\ 231} + Q_{ТП\ 215} + Q_{ТП\ 172} + Q_{ТП\ 53} + Q_{ТП\ 283} + Q_{ТП\ 285} + Q_{ТП\ 210} + Q_{ТП\ 111}); \quad (33)$$

$$Q_{Р\ макс\ Л} = 0{,}85 \cdot (35+90+104+91+191+119+36+92) = 645 \text{ квар},$$

В ходе определения максимальной полной нагрузки линии 10 кВ с центром питания ПС Варваровка, к которой подключены все ТП села Варваровка выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{Р\ макс\ Л} = \sqrt{(P^2_{Р\ макс\ Л} + Q^2_{Р\ макс\ Л})}; \quad (34)$$

$$S_{Р\ макс\ Л} = \sqrt{(1147^2 + 645^2)} = 1316 \text{ кВА}.$$

В ходе определения максимальной токовой нагрузки линии 10 кВ с центром питания ПС Варваровка, к которой подключены все ТП села Варваровка выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{Р\ макс\ Л} = S_{Р\ макс\ Л} / \sqrt{3} \cdot U_{ном}; \quad (35)$$

$$I_{Р\ макс\ Л} = 1316 / \sqrt{3} \cdot 10 = 76 \text{ А}.$$

4 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

4.1 **Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ**

Начальным этапом расчётов токов КЗ является составление исходной схемы сети 10 кВ по варианту выполнения, который прошел технико-экономическое сравнение.

В ходе определения оптимального варианта сети 10 кВ села Варваровка выполняемой работы получена конфигурация сети 10 кВ, которая оформлена как рисунок 4 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

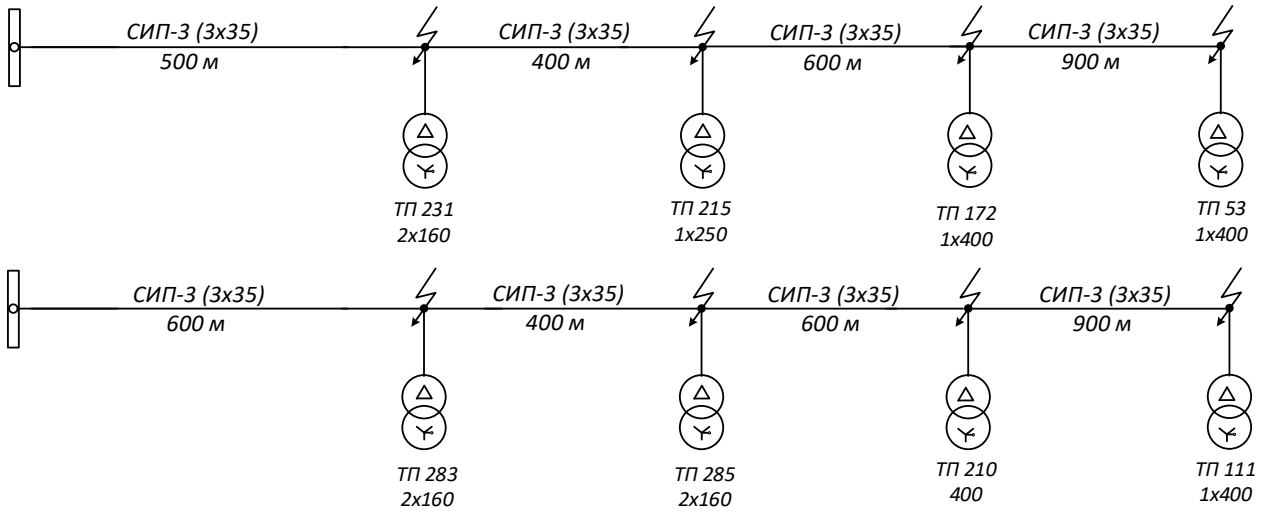

Рисунок 4 - Конфигурация сети 10 кВ села Варваровка

Следующим этапом расчётов токов КЗ является составление схемы замещения сети 10 кВ по варианту выполнения, который прошел технико-экономическое сравнение.

В схему замещения вводятся активные и реактивные сопротивления участков линий 10 кВ, сопротивление системы относительно шин 10 кВ ПС Варваровка по отключающей способности выключателя на головном участке линий 10 кВ.

Отключающая способность выключателя принимается исходя из минимальной выпускаемых серийно вакуумных выключателей 10 кВ - 12,5 кА при номинальном токе выключателя 630 А.

В ходе определения оптимального варианта сети 10 кВ села Варваровка выполняемой работы получена схема замещения сети 10 кВ, которая оформлена как рисунок 5 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

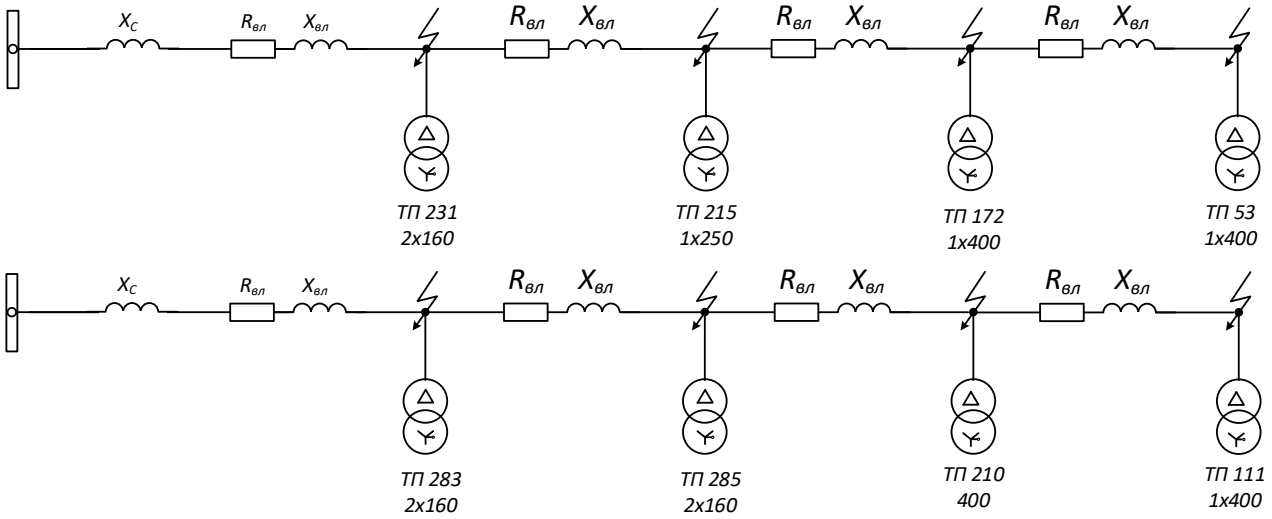

Рисунок 5 - Схема замещения сети 10 кВ села Варваровка

В ходе определения сопротивления системы линии 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$X_C = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} \cdot I_{отк}}; \tag{36}$$

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

где $I_{отк}$ – отключающая способность выключателя ВВ/Tel-10–12,5-20/630 УХЛ2 на головном участке сети, минимальное значение при номинальном токе выключателя 630 А $I_{отк}$=12,5 кА.

В ходе определения активного сопротивления участков линий 10 кВ до ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$R_Л = r_{уд} \cdot L \,, \tag{37}$$

$$R_Л = 0,986 \cdot 0,5 = 0,49 \text{ Ом;}$$

где $r_{уд}$ - удельное активное сопротивление провода СИП-3, Ом/км;

L – длина участка провода, км.

В ходе определения реактивного сопротивления участков линий 10 кВ до ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$X_Л = x_{уд} \cdot L \,; \tag{38}$$

$$X_Л = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ Ом;}$$

где $x_{уд}$ - удельное реактивное сопротивление провода СИП-3, Ом/км.

В ходе определения периодической составляющей тока короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{по} = \frac{U_{СРНН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K2}{}^2 + X_{\Sigma K2}{}^2}} \;; \tag{39}$$

$$I_{по} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,5^2 + (0,05 + 0,485)^2}} = 7,95 \text{ кА.}$$

В ходе определения тока несимметричного двухфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая

позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ТП-231:

$$I_{поТП}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{поТП}^{(3)} \ ; \tag{40}$$

$$I_{поТП}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,95 = 6,92\,кА.$$

В ходе определения постоянной затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания на ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$T_{ТП} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \tag{41}$$

$$T_{ТП} = \frac{(0,05 + 0,485)}{0,5 \cdot 314} = 0,03\,\text{с}.$$

В ходе определения коэффициента затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания на ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$K_{удТП} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{ТП}}}, \tag{42}$$

$$K_{удТП} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,03}} = 1,04\ .$$

В ходе определения ударного тока короткого замыкания на ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$i_{удТП} = K_{удТП} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{поТП}, \quad (43)$$

$$i_{удТП} = 1,04 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,95 = 11,7 \text{ кА}.$$

В ходе определения токов КЗ в системе электроснабжения 10 кВ села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 15 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 15 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

ТП	231	215	172	53	283	285	210	111
Lл 10кВ, км	0,5	0,9	1,5	2,4	0,6	1	1,6	2,5
Rл 10кВ, Ом	0,49	0,89	1,48	2,37	0,59	0,99	1,58	2,47
Z_{Σ}, Ом	0,73	1,06	1,61	2,47	0,80	1,15	1,70	2,57
$I^{(3)}_{по}$, кА	7,95	5,47	3,59	2,34	7,19	5,04	3,39	2,25
$I^{(2)}_{по}$, кА	6,92	4,76	3,13	2,03	6,26	4,39	2,95	1,96
T, с	0,003	0,006	0,010	0,016	0,004	0,006	0,010	0,016
$K_{УД}$	1,04	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00
$I_{УД}$, кА	11,71	7,76	5,08	3,30	10,39	7,15	4,80	3,18

4.2 **Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ**

Токи КЗ в сети 0,4 кВ рассчитываются в именованных единицах, при этом учитывается ток КЗ на высокой стороне 10 кВ ТП.

В ходе определения токов КЗ в сети 0,4 кВ села Варваровка выполняемой работы получены конфигурация сети 0,4 кВ и схема замещения от шин ВН ТП, которая оформлены как рисунок 6 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

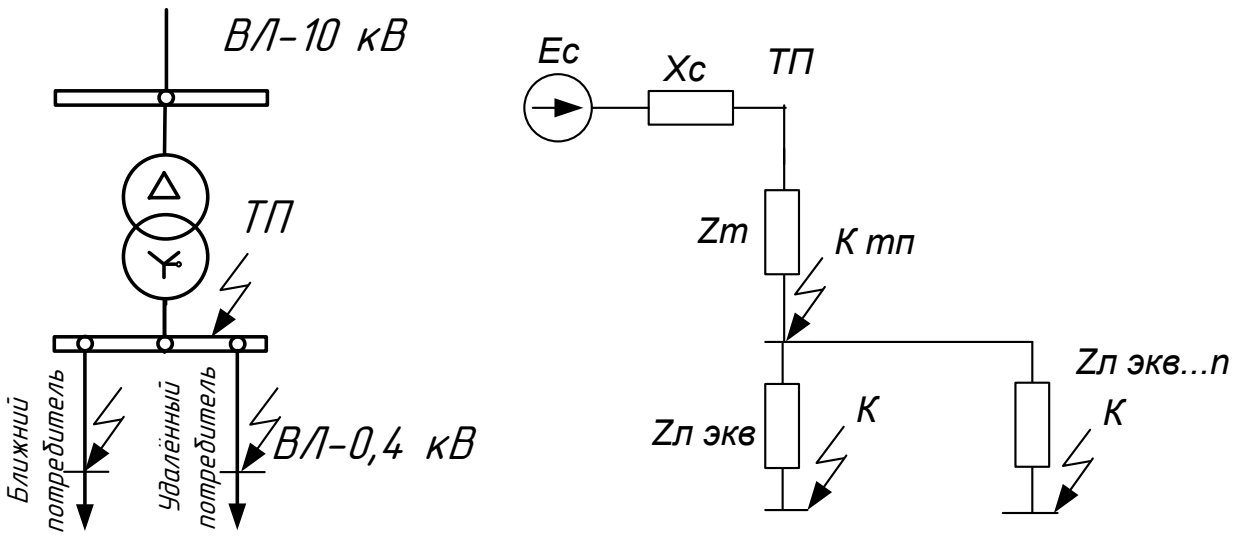

Рисунок 6 - Схема замещения и исходная схема сети 0,4 кВ

Сопротивления трансформаторов 10/0,4 кВ, автоматических выключателей, переходные сопротивления взяты в [8].

В ходе определения сопротивления системы на стороне ВН ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$x_C = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot I^{(3)}_{КЗ\ ВНТП}}; \tag{44}$$

$$x_C = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 7{,}95} = 2{,}9 \text{ мОм};$$

где $I^{(3)}_{КЗ\ ВНТП}$ - ток КЗ не стороне ВН ТП-231.

В ходе определения тока однофазного КЗ на стороне НН ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I^{(1)}_{П0} = \frac{U_{НН} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(2 \cdot R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}; \tag{45}$$

$$I_{П0}^{(1)} = \frac{400 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(70,36)^2 + (161,14)^2}} = 1,31 \text{ кА};$$

где $X_{0л}$ - реактивное сопротивление линий 0,4 кВ;

$R_{0л}$ - активное сопротивление линий 0,4 кВ;

$U_{НН}$ - напряжение на стороне НН ТП, 400 В.

Реактивное сопротивление нулевой последовательности линий 0,4 кВ упрощенно определяется как:

$$X_{0л} = 3.5 \cdot X_{1л}. \quad (46)$$

Активное сопротивление нулевой последовательности линий 0,4 кВ упрощенно определяется как:

$$R_{0л} = 10 \cdot R_{1л}. \quad (47)$$

В ходе определения токов КЗ на шинах 0,4 кВ ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 16 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

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

ТП	Хт, мОм	Rт, мОм	$R_{перех}$, мОм	$X_{авт\ ввод}$, мОм	$R_{авт\ ввод}$, мОм	Хс, мОм	Z_{Σ}, мОм	$I^{(3)}_{по}$, кА	$I^{(1)}_{по}$, кА	Т, с	$К_{УД}$	$I_{УД}$, кА
231	52,7	16,6	20	0,13	0,56	2,9	66,99	3,45	1,31	0,005	1,12	5,483
215	52,7	16,6	20	0,7	1,7	4,2	69,19	3,34	1,30	0,005	1,12	5,312
172	38,2	9,4	21	0,13	0,56	6,4	54,43	4,25	1,77	0,005	1,11	6,692
53	52,7	16,6	22	0,17	0,85	9,9	74,13	3,12	1,26	0,005	1,14	5,024
283	52,7	16,6	23	0,5	1,5	3,2	69,80	3,31	1,30	0,004	1,10	5,160
285	52,7	16,6	20	0,5	1,5	4,6	69,21	3,34	1,30	0,005	1,13	5,320
210	28,1	5,9	20	0,7	1,7	6,8	45,06	5,13	2,31	0,004	1,09	7,894
111	28,1	5,9	20	0,7	1,7	10,3	47,85	4,83	2,24	0,005	1,11	7,578

В ходе определения токов КЗ на линиях 0,4 кВ ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 17 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 17 – Результаты расчетов токов КЗ на линиях 0,4 кВ

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	$R_л$, мОм	$X_л$, мОм	$Z_Σ$, мОм	$I^{(3)}_{по}$, кА	$I^{(1)}_{по}$, кА	Т, с	$К_{УД}$	$I_{УД}$, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП-215								
ф-1	287,1	29,7	288,6	0,7	0,3	0,000	1,0	1,0
ф-2	432,0	32,4	433,2	0,5	0,2	0,000	1,0	0,7
ТП-231								
ф-1	72,0	5,4	72,2	1,9	0,6	0,000	1,0	2,7
ф-2	234,9	24,3	236,2	0,8	0,4	0,000	1,0	1,2
ф-3	432,0	32,4	433,2	0,5	0,2	0,000	1,0	0,7
ТП-283								
ф-1	365,4	37,8	367,3	0,5	0,3	0,000	1,0	0,7
ф-2	108,0	8,1	108,3	1,5	0,5	0,000	1,0	2,1
ф-3	261,0	27,0	262,4	0,7	0,4	0,000	1,0	1,1
ф-4	62,7	11,4	63,7	1,7	0,7	0,001	1,0	2,5
ф-5	324,0	24,3	324,9	0,6	0,2	0,000	1,0	0,8
ТП-285								
ф-1	93,8	5,3	93,9	1,4	0,5	0,000	1,0	2,0
ф-2	172,8	24,3	174,5	0,9	0,5	0,000	1,0	1,3
ф-3	94,5	12,6	95,3	1,4	0,5	0,000	1,0	2,0
ф-4	237,6	48,6	242,5	0,7	0,3	0,001	1,0	1,0
ТП-210								
ф-1	132,0	27,0	134,7	1,1	0,7	0,001	1,0	1,6
ф-2	134,4	18,9	135,7	1,1	0,7	0,000	1,0	1,6
ф-3	167,0	59,4	177,2	0,9	0,5	0,001	1,0	1,3
ТП-111								
ф-1	443,7	45,9	446,1	0,5	0,2	0,000	1,0	0,7
ф-2	252,0	18,9	252,7	0,9	0,4	0,000	1,0	1,3
ф-3	182,4	51,3	189,5	1,2	0,5	0,001	1,0	1,7
ф-4	113,4	10,8	113,9	2,0	0,5	0,000	1,0	2,9
ф-5	206,3	11,6	206,6	1,1	0,3	0,000	1,0	1,6
ф-6	828,0	62,1	830,3	0,3	0,1	0,000	1,0	0,4
ТП-53								
ф-1	227,0	15,3	227,5	1,0	0,2	0,000	1,0	1,4
ф-2	432,0	32,4	433,2	0,5	0,2	0,000	1,0	0,8
ф-3	213,6	14,4	214,1	1,1	0,2	0,000	1,0	1,5

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ф-4	396,0	81,0	404,2	0,6	0,2	0,001	1,0	0,8
ТП-172								
ф-1	75,0	4,2	75,1	3,1	0,6	0,000	1,0	4,4
ф-2	287,1	29,7	288,6	0,8	0,3	0,000	1,0	1,1
ф-3	206,3	11,6	206,6	1,1	0,3	0,000	1,0	1,6
ф-4	382,8	78,3	390,7	0,6	0,2	0,001	1,0	0,8

4.3 **Проверка линий 10 кВ на воздействие токов короткого замыкания**

В ходе определения приведённого времени воздействия тока КЗ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$t_{П} = t_{рз} + t_{ов} + t_{сел}, \tag{48}$$

$$t_{П} = 0,01 + 0,045 + 0,1 = 0,155\,\text{с},$$

где $t_{рз}$ - время срабатывания релейной защиты, 0,01с;

$t_{ов}$ - времени отключения выключателя на головном участке линии, 0,045с;

$t_{сел}$ - ступень селективности, 0,1 с.

В ходе определения термически стойкого к токам КЗ сечения линии до ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{T} = \frac{I_{КЗ} \cdot \sqrt{t_{П}}}{K_{T}}, \tag{49}$$

$$S_{T\,ТП231} = \frac{7950 \cdot \sqrt{(0.01 + 0.045 + 0.1)}}{95} = 33\,мм^2;$$

где $I_{КЗ}$ - значение тока КЗ на стороне 10 кВ ТП-231;

K_T - температурный коэффициент, равный 95.

В ходе проверки термически стойкого к токам КЗ сечения линии до ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_Ф \leq S_T; \quad (50)$$

33 мм^2≤35 мм^2.

Полученное значение меньше минимального сечения СИП – 3 в 35 $мм^2$ на рассматриваемом участке ВЛ-10 кВ села Варваровка, выбранного по расчётному току и проверенного по допустимой потере напряжения.

В ходе проверки термически стойкого к токам КЗ ранее выбранного сечения линий 10 кВ села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 18 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 18 – Проверка сечений линий 10 кВ

ТП	$I^{(3)}_{по}$, кА	$t_П$, с	K_T	$S_{ТС}$, мм^2	$S_Ф$, мм^2	Условие $S_Ф < S_Т$
231	7,95	0,155	95	33,0	35	выполнено
215	5,47	0,255	95	29,1	35	выполнено
172	3,59	0,355	95	22,5	35	выполнено
53	2,34	0,455	95	16,6	35	выполнено
283	7,19	0,155	95	29,8	35	выполнено
285	5,04	0,255	95	26,8	35	выполнено
210	3,39	0,355	95	21,3	35	выполнено
111	2,25	0,455	95	16,0	35	выполнено

Провода линий 10 кВ на каждом участке проверку по термической стойкости проходят для всех участков подключения трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ.

4.4 **Расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ подстанции для проверки оборудования комплектного распределительного устройства**

Расчет токов КЗ проводится в относительных единицах с приближённым приведением. Для определения мощности КЗ системы используется информация об уровне токов КЗ на шинах 220 кВ ПС «Завитая» $I_K^{(3)} = 14,2$ кА.

В ходе определения токов КЗ на шинах 10 кВ ПС Варваровка выполняемой работы получена исходная конфигурация сети 220 кВ, которая оформлена как рисунок 7 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

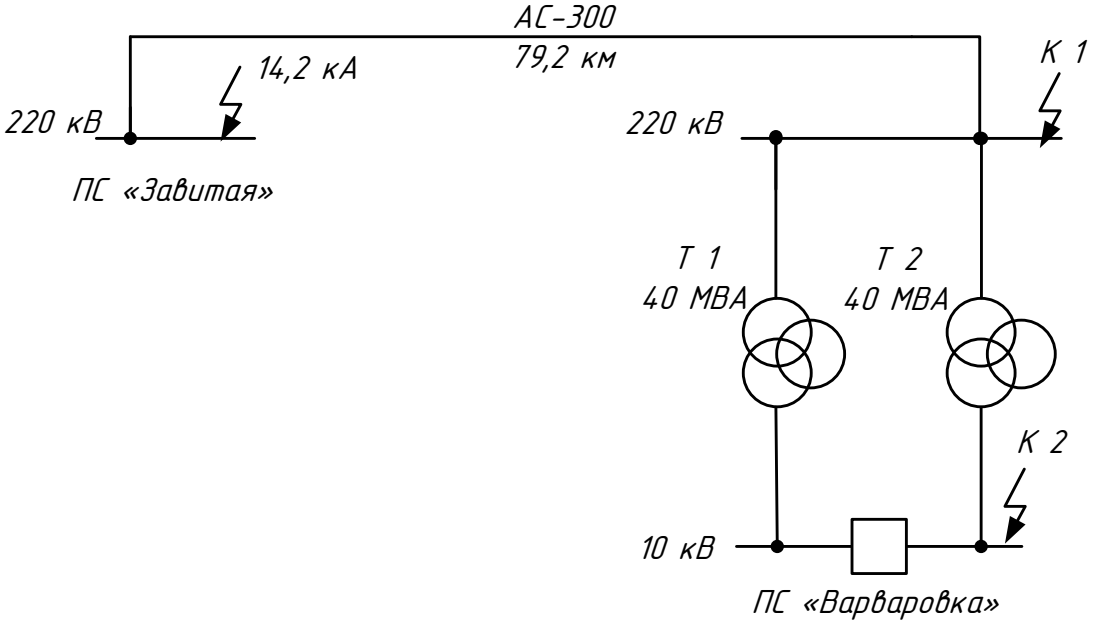

Рисунок 7 – Исходная конфигурация для расчёта токов КЗ на ПС «Варваровка»

В ходе определения токов КЗ на шинах 10 кВ ПС Варваровка выполняемой работы получена схема замещения для расчёта токов КЗ на ПС Варваровка, которая оформлена как рисунок 8 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Выбирается базисная мощность и базисное напряжение в качестве базисных условий:

$S_Б = 10$ МВА;

$U_{Б1} = 220$ кВ;

$U_{Б2} = 10$ кВ.

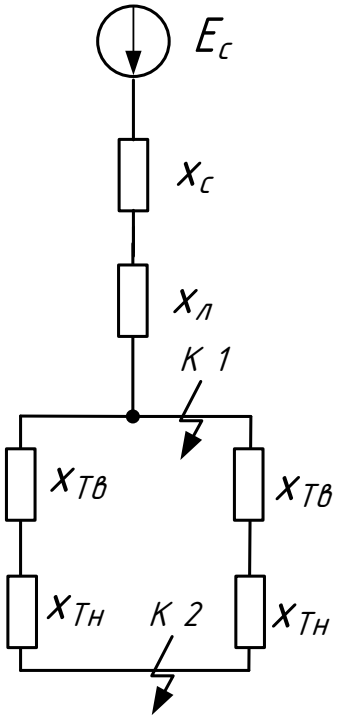

Рисунок 8 – Схема замещения для расчёта токов КЗ на ПС «Варваровка»

В ходе определения базисного тока КЗ на стороне 220 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{Б1} = \frac{S_Б}{\sqrt{3} \cdot U_{Б1}}; \tag{51}$$

$$I_{Б1} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 220} = 0{,}026 кА .$$

В ходе определения базисного тока КЗ на стороне 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{Б2} = \frac{S_Б}{\sqrt{3} \cdot U_{Б2}};$$

$$I_{Б2} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,58 кА .$$

В ходе определения сопротивления трансформаторов в относительных единицах выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$X_{тв} = \frac{(u_{квс} + u_{квн} - u_{ксн})}{200} \cdot \frac{S_б}{S_{тном}}; \quad (52)$$

$$X_{тн} = \frac{(u_{квн} + u_{ксн} - u_{квс})}{200} \cdot \frac{S_б}{S_{тном}}; \quad (53)$$

$$X_{тв} = \frac{(12,5 + 22 - 9,5)}{200} \cdot \frac{10}{40} = 0,031;$$

$$X_{тн} = \frac{(22 + 9,5 - 12,5)}{200} \cdot \frac{10}{40} = 0,024;$$

где $u_{квс}$ - напряжение короткого замыкания между обмотками В-С, 12,5%;

$u_{квн}$ - напряжение короткого замыкания между обмотками В-Н, 22% [12];

$u_{ксн}$ - напряжение короткого замыкания между обмотками С-Н, 9,5% [12];

$S_{тном}$ - номинальная мощность трансформаторов ПС Варваровка, 40 МВА.

В ходе определения сопротивления системы в относительных единицах выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$X_C = \frac{I_{Б1}}{I_K}, \tag{54}$$

$$X_C = \frac{0,026}{14,2} = 0.0018,$$

где I_K - ток КЗ на шинах 220 кВ ПС «Завитая», $I_K^{(3)} = 14,2$ кА [9].

В ходе определения сопротивления линии 220 кВ в относительных единицах выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$X_Л = X_{УД} \cdot L \cdot \frac{S_Б}{U_Б^{\ 2}}; \tag{55}$$

$$X_Л = 0.4 \cdot 79,2 \cdot \frac{10}{220^2} = 0.0065;$$

где L - длина линии, 79,2 км;

$X_{УД}$ - удельное сопротивление линии 220 кВ, принимается $X_{УД} = 0.4$, Ом/км.

В ходе определения тока трёхфазного КЗ для точки К-1 в начальный момент выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{П0\,К1} = \frac{E_C \cdot I_{Б1}}{X_C + X_Л}; \tag{56}$$

$$I_{П0\,К1} = \frac{1 \cdot 0,165}{0,0018 + 0,0065} = 3,1\ кА\ .$$

В ходе определения тока трёхфазного КЗ для точки К-2 в начальный момент выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{П0\,К2} = \frac{E_C \cdot I_{Б2}}{X_C + X_Л + X_T}; \tag{57}$$

$$I_{П0\,К2} = \frac{1 \cdot 0,58}{0,0018 + 0,0065 + 0,031 + 0,024} = 9,2\ кА$$

В ходе определения токов КЗ на ПС Варваровка по ходу выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 19 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 19 – Токи КЗ на ПС «Варваровка»

Точка КЗ	К-1 220кВ	К-2 10 кВ
$I_{ПО}$, кА	3,1	9,2
$I_{а0}$, кА	4,408	13
$T_а$, с	0,025	0,05
$i_{УД}$, кА	7,4	23,64

5 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ

5.1 **Выбор предохранителей 10 кВ трансформаторов 10/0,4 кВ**

На каждый трансформатор 10/0,4 кВ из числа ТП села Варваровка устанавливаем предохранитель типа ПКТ101 – 10У1.

В ходе определения расчетного тока ВН трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-231 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{РАСЧ} = \frac{1,4 \cdot S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}; \quad (58)$$

$$I_{РАСЧ} = \frac{1.4 \cdot 160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 13\ A;$$

где $S_{ТП}$ - номинальная мощность трансформатора 10/0,4 кВ ТП-231.

В ходе выбора предохранителей 10 кВ по расчётному току выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{расч} \leq I_B \leq I_{номПР}, \quad (59)$$

13 А ≤ 20 А ≤ 20 А,

где I_B - ток плавкой вставки предохранителя 10 кВ ПКТ101 – 10У1 на ТП-231, 20 А;

$I_{номПР}$ – номинальный ток предохранителя 10 кВ ПКТ101 – 10У1 на ТП-231, 20 А.

В ходе проверки предохранителей 10 кВ по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для вводов 0,4 кВ ТП-231:

$$I^{(3)}{}_{по} \leq I_{отк}, \tag{60}$$

7,95 кА ≤ 10 кА,

где $I_{отк}$ – максимальный ток отключаемого КЗ, 10 кА для ПКТ101 – 10У1 на ТП-231.

В ходе выбора и проверки предохранителей 10 кВ трансформаторов 10/0,4 кВ сети 10 кВ села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 20 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 20 – Выбор и проверка предохранителей 10 кВ для защиты трансформаторов ТП 10/0,4 кВ

№ ТП	$I_{РАСЧ}$, А	$I_{номПР}$, А	$I_{ВСТ}$, А	$I^{(3)}{}_{по}$, кА	$I_{отк}$, кА	Тип предохранителя
ТП-215	13	20	20	5,47	10	ПКТ101 – 10У1
ТП-231	13	20	20	7,95	10	ПКТ101 – 10У1
ТП-283	13	20	20	7,19	10	ПКТ101 – 10У1
ТП-285	13	20	20	5,04	10	ПКТ101 – 10У1
ТП-210	32	32	32	3,39	10	ПКТ101 – 10У1
ТП-111	32	32	32	2,25	10	ПКТ101 – 10У1
ТП-53	13	20	20	2,47	10	ПКТ101 – 10У1
ТП-172	20	20	20	3,59	10	ПКТ101 – 10У1

На каждой ТП 10/0,4 кВ села Варваровка предохранители 10 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.2 **Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ**

На ТП для защиты отходящих линий 0,4 кВ и трансформаторов 10/0,4 кВ со стороны 0,4 кВ применяются автоматические выключатели марки ВА57-33, ВА57-35, ВА57-37, ВА57-39 с номинальным током 160 А, 250 А, 400 А, 630 А соответственно.

В ходе выбора автоматических выключателей 0,4 кВ по расчётному току выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ТП-215, ф-1:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_{\text{р.}}, \tag{61}$$

100 А $\geq$ 69 А,

где $I_{\text{р}}$ – максимальный рабочий ток для ТП-215, ф-1.

В ходе проверки автоматических выключателей 0,4 кВ по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ТП-215, ф-1:

$$I^{(3)}{}_{по} \leq I_{отк}, \tag{62}$$

0,7 кА $\leq$ 5 кА,

где $I_{\text{отк}}$ – максимальный ток отключаемого КЗ, 5 кА для ВА57-33.

В ходе проверки автоматических выключателей 0,4 кВ по чувствительности к токам КЗ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ТП-215, ф-1:

$$I^{(1)}{}_{по} \geq 1{,}25 \cdot I_{СР\ РАСЦ}, \tag{63}$$

0,32 кА ≥ 1,25·0,1 кА,

0,32 кА ≥ 0,125 кА,

где $I_{СР\ РАСЦ}$ – ток срабатывания расцепителя, 0,1 кА для ВА57-33.

В ходе выбора и проверки автоматических выключателей 0,4 кВ отходящих линий 0,4 кВ ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 21 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 21 - Выбор и проверка автоматических выключателей для защиты линий 0,4 кВ

фидер 0,4 кВ	$I_Р$, А	Тип ВА	$I_{ном.\ расц}$, А	$I^{(3)}_{по}$, кА	$I_{отк}$, кА	$I^{(1)}_{по}$, кА	$1{,}25I_{ср\ расц}$, кА
1	2	3	4	5	6	7	8
ТП-215							
ф-1	69	ВА57-33	100	0,7	5,0	0,32	0,125
ф-2	53	ВА57-33	100	0,5	5,0	0,24	0,125
ТП-231							
ф-1	72	ВА57-33	100	1,9	5,0	0,64	0,125
ф-2	94	ВА57-33	100	0,8	5,0	0,39	0,125
ф-3	54	ВА57-33	100	0,5	5,0	0,23	0,125
ТП-283							
ф-1	65	ВА57-33	100	0,5	5,0	0,26	0,125
ф-2	30	ВА57-33	100	1,5	6,0	0,45	0,125
ф-3	65	ВА57-33	100	0,7	7,0	0,35	0,125
ф-4	145	ВА57-35	160	1,7	5,0	0,69	0,2
ф-5	47	ВА57-33	100	0,6	5,0	0,17	0,125
ТП-285							
ф-1	35	ВА57-33	100	1,4	5,0	0,52	0,125
ф-2	121	ВА57-35	160	0,9	6,0	0,47	0,2
ф-3	104	ВА57-35	160	1,4	5,0	0,49	0,2
ф-4	82	ВА57-33	100	0,7	7,0	0,31	0,125
ТП-210							
ф-1	181	ВА57-37	250	1,1	5,0	0,70	0,3125
ф-2	147	ВА57-35	160	1,1	5,0	0,71	0,2
ф-3	116	ВА57-35	160	0,9	5,0	0,51	0,2
ТП-111							
ф-1	48	ВА57-33	100	0,5	5,0	0,22	0,125
ф-2	40	ВА57-33	100	0,9	6,0	0,39	0,125

Продолжение таблицы 21

1	2	3	4	5	6	7	8
ф-3	104	ВА57-35	160	1,2	7,0	0,50	0,2
ф-4	104	ВА57-35	160	2,0	5,0	0,45	0,2
ф-5	28	ВА57-33	100	1,1	6,0	0,26	0,125
ф-6	22	ВА57-33	100	0,3	5,0	0,13	0,125
ТП-53							
ф-1	42	ВА57-33	100	1,0	5,0	0,23	0,125
ф-2	41	ВА57-33	100	0,5	6,0	0,23	0,125
ф-3	47	ВА57-33	100	1,1	5,0	0,25	0,125
ф-4	49	ВА57-33	100	0,6	7,0	0,25	0,125
ТП-172							
ф-1	69	ВА57-33	100	3,1	5,0	0,65	0,125
ф-2	67	ВА57-33	100	0,8	6,0	0,33	0,125
ф-3	48	ВА57-33	100	1,1	5,0	0,26	0,125
ф-4	46	ВА57-33	100	0,6	7,0	0,20	0,125

Все автоматические выключатели 0,4 кВ для защиты линий 0,4 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверки

В ходе выбора автоматических выключателей 0,4 кВ по расчётному току выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для вводов 0,4 кВ ТП-215:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_{\text{р.}}, \tag{64}$$

160 А $\geq$ 109 А.

В ходе проверки автоматических выключателей 0,4 кВ по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для вводов 0,4 кВ ТП-215:

$$I^{(3)}{}_{по} \leq I_{отк}, \tag{65}$$

3,34 кА $\leq$ 5 кА,

где $I_{отк}$ – максимальный ток отключаемого КЗ, 5 кА для ВА57-33.

В ходе проверки автоматических выключателей 0,4 кВ по чувствительности к токам КЗ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для вводов 0,4 кВ ТП-215:

$$I^{(1)}_{по} \geq 1,25 \cdot I_{СР\,РАСЦ}, \quad (66)$$

1315 А $\geq$ 1,25·1000 А;

1315 А $\geq$ 1200 А.

В ходе выбора и проверки автоматических выключателей 0,4 кВ вводов 0,4 кВ ТП села Варваровка выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 22 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 22 – Выбор и проверка вводных автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	$I_{Р\ АВТ}$, А	$I_{ном.\ расц}$, А	Марка выключателя	$I^{(3)}_{по}$, кА	Iотк, кА	$I_{по}$, А	$1,25I_{ср\ расц}$, А
231	120	160	ВА57-33	3,45	5	1315	1250
215	109	160	ВА57-33	3,34	5	1299	1250
172	162	250	ВА57-35	4,25	5	1765	1250
53	155	160	ВА57-33	3,12	5	1262	1250
283	450	630	ВА57-39	3,31	5	1299	1250
285	330	400	ВА57-37	3,34	5	1298	1250
210	171	250	ВА57-35	5,13	5	2314	1575
111	230	250	ВА57-35	4,83	5	2242	2000

Все автоматические выключатели 0,4 кВ для защиты вводов 0,4 кВ ТП удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.3 Выбор трансформаторов тока 10 кВ

На стороне 10 кВ ПС Варваровка проводится выбор и проверка трансформаторов тока ТОЛ-10-У2, встроенных в КРУ-10 кВ [22].

В ходе выбора трансформаторов тока 10 кВ по напряжению установки выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (67)$$

10 кВ ≤ 10 кВ.

В ходе выбора трансформаторов тока 10 кВ по расчётному току выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$I_H \geq I_{pmax}; \quad (68)$$

100 А ≥ 76 А.

В ходе определения номинального теплового импульса для трансформаторов тока 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T; \quad (69)$$

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

где I_T – номинальный ток термической стойкости для трансформаторов тока 10 кВ ТОЛ-10-У2, 10 кА;

В ходе определения расчётного теплового импульса для трансформаторов тока 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допусти-

мой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$B_{кр}=I^2_{по}\cdot(t_{отк}+t_{рз}+t_{сел}); \quad (70)$$

$$Bк = 7,95^2 \cdot (0.045 + 0,01 + 2) = 130\,кА^2с;$$

где $t_{отк}$ – время отключения выключателя 10 кВ, 0,045 с;

$t_{рз}$ – время подачи команды блоками релейной защиты на отключение выключателя 10 кВ, 0,01 с;

$t_{сел}$ – время селективной работы выключателя 10 кВ, 2 с.

В ходе проверки трансформаторов тока 10 кВ по термической стойкости выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$B_{НК}\geq B_{кр}; \quad (71)$$

300 кА^{2}с ≥130 кА^{2}с.

В ходе проверки трансформаторов тока 10 кВ по динамической стойкости выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$I_{дин}\geq I_{уд}; \quad (72)$$

20 кА ≥11,7 кА.

В ходе определения нагрузки измерительных приборов трансформаторов тока 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 23 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 23 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ

Прибор	Тип	$S_{ПРИБ}$, ВА		
		A	B	C
Амперметр	Э-365		0.55	
Счетчик АЭ и РЭ	ЦЭ 6850М (Энергомера)	0.2		0.2
Ватметр	Ц-1428	0.6		0.6
Варметр	Ц-1628	0.6		0.6
всего		1.4	0.55	1.4

В ходе определения сопротивления приборов, подключаемых к вторичным цепям трансформаторов тока 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}, \tag{73}$$

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

где $S_{ПРИБ}$ – мощность, потребляемая приборами в наиболее загруженной фазе;

I_2 –номинальный ток вторичных цепей, 5 А.

В ходе определения сопротивления проводов, подключаемых к вторичным цепям трансформаторов тока 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$r_{пр} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \tag{74}$$

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

где q – площадь сечения проводов с алюминиевыми жилами вторичных цепей, 4 мм^2;

ρ - удельное сопротивление проводов с алюминиевыми жилами, 0,0283 Ом·м/мм^2;

l - длина проводов, 5 м.

В ходе определения нагрузки вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}; \tag{75}$$

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

где $r_{КОНТ}$ - сопротивление контактов, 0.1 Ом.

В ходе определения номинального сопротивления нагрузки трансформаторов тока 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$Z_{2\text{Н}} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}; \tag{76}$$

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

где S_{2H} - мощность вторичной обмотки трансформаторов тока ТОЛ-10-У2 на 100 А, 5 ВА.

В ходе проверки по вторичной нагрузке трансформаторов тока 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$r_2 \leq r_{2НОМ}, \quad (77)$$

0.191 Ом ≤ 0,2 Ом.

В ходе выбора и проверки трансформаторов тока 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 24 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим линиям 10 кВ.

Таблица 24 – Выбор трансформатора тока 10 кВ

Каталожные данные	Расчетные денные	Условия выбора
Линия на ТП 231,215,172,53		
$U_{ном}$ = 10 кВ	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_Н$ = 100 А	$I_{Р\ л1}$ = 76 А	$I_Н \geq I_{pmax}$
$Z_{2Н}$ = 0.2 Ом (для класса точности 0.2)	$Z_{Нр}$ =0.191 Ом	$Z_{2Н} \geq Z_{Нр}$
$B_{Кн}$ = 300 кА^{2}с	$B_{Кр}$ = 130 кА^{2}с	$B_{Кн} \geq B_{кр}$
$I_{ДИН}$ = 20 кА	$I_{УД}$ = 11,7 кА	$I_{ДИН} \geq I_{УД}$
Линия на 283,285,210,111		
$U_Н$ = 10 кВ	$U_Н$ = 10 кВ	$U_Н \geq U_Р$
$I_Н$ = 100 А	$I_{Р\ л1}$ = 76 А	$I_Н \geq I_{pmax}$
$Z_{2Н}$ = 0.2 Ом (для класса точности 0.2)	$Z_{Нр}$ =0.191 Ом	$Z_{2Н} \geq Z_{Нр}$
$B_{Кн}$ = 300 кА^{2}с	$B_{Кр}$ = 106 кА^{2}с	$B_{Кн} \geq B_{кр}$
$I_{ДИН}$ = 20 кА	$I_{УД}$ = 10,4 кА	$I_{ДИН} \geq I_{УД}$

Трансформаторы тока 10 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.4 **Выбор трансформаторов напряжения 10 кВ**

На стороне 10 кВ ПС Варваровка проводится выбор и проверка трансформаторов напряжения НАЛИ-10У3, встроенных в КРУ-10 кВ [22].

В ходе выбора трансформаторов напряжения 10 кВ по напряжению установки выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$U_{уст} \leq U_{ном}$;

10 кВ ≤ 10 кВ.

В ходе определения нагрузки измерительных приборов трансформаторов напряжения 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 25 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 25 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор	Тип	Sпр кат , ВА	Число катушек	Cos φ	Sin φ	$P_{приб}$, Вт	$Q_{приб}$, ВА
Вольтметр	Э-365	2	1	1	0	2	-
Ватметр	Ц-1428	1,5	2	1	0	3	-
Счетчик АЭ	ЦЭ 6850М	3.6 Вт	5	0.38	0.925	18	43.8
Счетчик РЭ	ЦЭ 6850М	3.6 Вт	5	0.38	0.925	18	43.8
Итого	-	-	-	-	-	36	87.6

В ходе определения мощности приборов, подключаемых к вторичным цепям трансформаторов напряжения 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2_{приб} + Q^2_{приб}}, \quad (78)$$

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

В ходе проверки по вторичной нагрузке трансформаторов напряжения 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (79)$$

94,7 ВА ≤ 150 ВА,

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трансформаторов напряжения НАЛИ-10У3 в выбранном классе точности, 150 ВА.

В ходе выбора и проверки трансформаторов напряжения 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 26 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим секциям шин ПС Варваровка 10 кВ.

Таблица 26 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ на 1 сш

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_Н$ = 10 кВ $S_Р$ = 94.7 ВА (для класса точности 0,2)	$U_{НТ}$ = 10 кВ $S_Н$ =150 ВА	$U_{НТ} \geq U_Н$ $S_Н \geq S_Р$

Все трансформаторы напряжения 10 кВ для удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.5 **Выбор выключателей нагрузки**

На стороне 10 кВ всех ТП села Варваровка устанавливаем выключатели нагрузки марки ВНП - 10/400 [22].

В ходе выбора выключателей нагрузки 10 кВ по напряжению установки выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ТП-231:

$U_{уст} \leq U_{ном}$;

10 кВ ≤ 10 кВ.

В ходе выбора выключателей нагрузки 10 кВ по расчётному току выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ТП-231:

$I_Н \geq I_{pmax}$;

400 А ≥ 13 А.

В ходе определения номинального теплового импульса для выключателей нагрузки 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для стороны ВН ТП-231:

$$B_{НК} = I_T^2 \cdot t_T;$$

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

где I_T – номинальный ток термической стойкости для выключателя нагрузки марки ВНП - 10/400, 10 кА;

В ходе определения расчётного теплового импульса для выключателей нагрузки 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для стороны ВН ТП-231:

$$B_к = I^2_{по} \cdot (t_{отк} + t_{рз} + T_a);$$

$$Bк = 7{,}95^2 \cdot (0.5 + 0.5 + 0{,}003) = 63{,}4 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – время отключения выключателя нагрузки 10 кВ, 0,5 с;

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ в сети 10 кВ, 0,003 с;

$t_{сел}$ – время селективной работы выключателя нагрузки 10 кВ, 0,5 с.

В ходе проверки выключателей нагрузки 10 кВ по термической стойкости выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ТП-231:

$B_{НК} \geq B_{кр}$;

400 кА^{2}с ≥ 63,4 кА^{2}с.

В ходе проверки выключателей нагрузки 10 кВ по динамической стойкости выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для стороны ВН ТП-231:

$I_{дин} \geq I_{уд}$;

30 кА ≥7,95 кА.

В ходе выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 27 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим ТП 10/0,4 кВ.

Таблица 27 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ

№ ТП	$I_{Р\ ТП}$, А	$I_{Н}$, А	$I^{(3)}_{по}$, кА	$t_{отк}$, с	$t_{неч}$, с	$T_а$, с	$B_{Кр}$, кА^{2}с	$B_{Кн}$, кА^{2}с	$I_{УД}$, кА	$I_{ДИН}$, кА
ТП-215	13	400	5,47	0,5	1,0	0,006	45,1	400	7,76	30
ТП-231	13	400	7,95	0,5	0,5	0,003	63,4	400	11,71	30
ТП-283	13	400	7,19	0,5	0,5	0,004	51,9	400	10,39	30
ТП-285	13	400	5,04	0,5	1,0	0,006	38,3	400	7,15	30
ТП-210	32	400	3,39	0,5	1,5	0,010	23,1	400	4,80	30
ТП-111	32	400	2,25	0,5	2,0	0,016	12,7	400	3,18	30
ТП-53	13	400	2,47	0,5	2,0	0,016	15,4	400	3,30	30
ТП-172	20	400	3,59	0,5	1,5	0,010	25,9	400	5,08	30

Все выключатели нагрузки 10 кВ для защиты трансформаторов 10/0,4 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.6 **Выбор комплектного распределительного устройства**

На стороне 10 кВ ПС Варваровка проводится выбор и проверка КРУ 10 кВ К-129 «Оптима» («Мосэлектрощит», г.Москва), как наиболее современных

на рынке предлагаемой электротехнической продукции и обладающих высокими эксплуатационными характеристиками [22].

В ходе выбора КРУ 10 кВ по напряжению установки выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$U_{уст} \leq U_{ном}$;

10 кВ ≤ 12 кВ.

В ходе выбора КРУ 10 кВ по расчётному току выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$I_H \geq I_{pmax}$;

630 А ≥ 76 А.

В ходе определения номинального теплового импульса для КРУ 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T;$$

$$B_{HK} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

где I_T – номинальный ток термической стойкости для КРУ 10 кВ К-129, 20 кА;

В ходе определения расчётного теплового импульса для КРУ 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$B_{кр}=I^2_{по}\cdot(t_{отк}+t_{рз}+t_{сел});$

$Вк = 9,2^2 \cdot (0.045 + 0,01 + 2) = 172$ кА^{2}с;

где $t_{отк}$ – время отключения выключателя 10 кВ, 0,045 с;

$t_{рз}$ – время подачи команды блоками релейной защиты на отключение выключателя 10 кВ, 0,01 с;

$t_{сел}$ – время селективной работы выключателя 10 кВ, 2 с.

В ходе проверки КРУ 10 кВ по термической стойкости выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$B_{НК}\geq B_{кр};$

1200 кА^{2}с ≥172 кА^{2}с.

В ходе проверки КРУ 10 кВ по динамической стойкости выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$I_{дин}\geq I_{уд};$

50 кА ≥ 23,6 кА.

В ходе выбора и проверки КРУ 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 28 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим линиям 10 кВ.

Таблица 28 – Выбор и проверка КРУ 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
Линия на ТП 231,215,172,53		
$U_{ном}$ = 12 кВ $I_{ном}$ =630 А $I_{дин}$ =50 кА $B_{к.ном}$ =1200 кА^{2}с	$U_{уст}$ = 10 кВ $I_{Р\ л1}$ = 76 А $I_{уд}$ = 23,6 кА $B_{к.}$ =172 кА^{2}с	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{pmax}$ $I_{дин} \geq I_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_к$
Линия на 283,285,210,111		
$U_{ном}$ = 12 кВ $I_{ном}$ =630 А $I_{дин}$ =50 кА $B_{к.ном}$ =1200 кА^{2}с	$U_{уст}$ = 10 кВ $I_{Р\ л1}$ = 76 А $I_{уд}$ = 23,6 кА $B_{к.}$ =172 кА^{2}с	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{pmax}$ $I_{дин} \geq I_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_к$

Все КРУ 10 кВ для защиты линий 10 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.7 **Выбор выключателей 10 кВ**

На стороне 10 кВ ПС Варваровка проводится выбор и проверка вакуумных выключателей 10 кВ VF12-10 («Элтехника», г.Санкт-Петербург), встроенных в КРУ-10 кВ [22].

В ходе выбора выключателей 10 кВ по напряжению установки выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10\ кВ \leq 10\ кВ.$$

В ходе выбора выключателей 10 кВ по расчётному току выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$I_H \geq I_{pmax}$;

630 А ≥ 76 А.

В ходе определения номинального теплового импульса для выключателей 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T;$$

$$B_{HK} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

где I_T – номинальный ток термической стойкости для выключателей 10 кВ VF12-10, 20 кА;

В ходе определения расчётного теплового импульса для выключателей 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$B_{кр}=I^2_{по}\cdot(t_{отк}+t_{рз}+t_{сел});$$

$$Bк = 9,2^2 \cdot (0.045 + 0,01 + 2) = 172 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – время отключения выключателя 10 кВ, 0,045 с;

$t_{рз}$ – время подачи команды блоками релейной защиты на отключение выключателя 10 кВ, 0,01 с;

$t_{сел}$ – время селективной работы выключателя 10 кВ, 2 с.

В ходе проверки выключателей 10 кВ по термической стойкости выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$B_{НК} \geq B_{кр}$;

1200 кА^{2}с ≥172 кА^{2}с.

В ходе проверки выключателей 10 кВ по динамической стойкости выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$I_{дин} \geq I_{уд}$;

50 кА ≥ 23,6 кА.

В ходе проверки выключателей 10 кВ по отключающей способности выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$I_{по} \leq I_{откл\ ном}$;

9,2 кА ≤ 20 кА

В ходе определения номинальной апериодической составляющей тока КЗ для выключателей 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta\text{н} \cdot I_{\text{ном откл}}, \quad (80)$$

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

где βн – номинальное значение для выключателя VF12-10, 40%.

В ходе проверки выключателей 10 кВ по отключающей способности апериодической составляющей выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$\text{i}_{\text{а.ном}} \geq \text{i}_{\text{at}}, \quad (81)$$

11,31 кА ≥ 9,2 кА.

Для линейного выключателя ПС «Варваровка»:

В ходе проверки выключателей 10 кВ по отключающей способности полного тока КЗ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$\sqrt{2} \cdot I^{(3)}{}_{по\ РУ10кВ} + i_{atПС} \leq \sqrt{2} \cdot \text{I}_{\text{номотк}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right); \quad (82)$$

$$\sqrt{2} \cdot 9,2 + 9,2 \cdot 0,54 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0.40}{100}\right);$$

$$17,9 \leq 39.59 \text{кА}.$$

В ходе выбора и проверки выключателей 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 29 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим линиям 10 кВ.

Таблица 29 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
Линия на ТП 231,215,172,53		
$U_{ном}$ = 10 кВ $I_{ном}$ =630 А $I_{ДИН}$ =50 кА $B_{к.ном}$ =1200 кА^{2}с $I_{вкл}$ = 20 кА $I_{откл}$ = 20 кА $i_{а.ном}$ =11,31 кА	$U_{уст}$ = 10 кВ $I_{Р\ л1}$ = 76 А $I_{УД}$ = 23,6 кА $B_{к.}$ =172 кА^{2}с $I_{по}$= 9,2 кА $I_{пt}$= 9,2 кА i_{at}= 9,2 кА	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{pmax}$ $I_{ДИН} \geq I_{УД}$ $B_{к.ном} \geq B_к$ $I_{вкл} \geq I_{по}$ $I_{откл} \geq I_{пt}$ $i_{а.ном} \geq i_{at}$
Линия на 283,285,210,111		
$U_{ном}$ = 10 кВ $I_{ном}$ =630 А $I_{ДИН}$ =50 кА $B_{к.ном}$ =1200 кА^{2}с $I_{вкл}$ = 20 кА $I_{откл}$ = 20 кА $i_{а.ном}$ =11,31 кА	$U_{уст}$ = 10 кВ $I_{Р\ л1}$ = 76 А $I_{УД}$ = 23,6 кА $B_{к.}$ =172 кА^{2}с $I_{по}$= 9,2 кА $I_{пt}$= 9,2 кА i_{at}= 9,2 кА	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{pmax}$ $I_{ДИН} \geq I_{УД}$ $B_{к.ном} \geq B_к$ $I_{вкл} \geq I_{по}$ $I_{откл} \geq I_{пt}$ $i_{а.ном} \geq i_{at}$

Все выключатели 10 кВ для защиты линий 10 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.8 **Выбор токоведущих частей комплектного распределительного устройства**

В КРУ 10 кВ К-129 проводится выбор и проверка однополюсных алюминиевых шин прямоугольного сечения 60×8 мм^2 АДО [22].

В ходе выбора жестких шин 10 кВ по допустимому току выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений для ВЛ-10 кВ на ТП 231,215,172,53:

$$I_{\max} \leq I_{доп},$$

76 А ≤ 1025 А.

В ходе определения сечения жестких шин по условию термической стойкости для КРУ 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{Bк}}{C}, \tag{83}$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{172 \cdot 10^6}}{91} = 144\,мм^2.$$

В ходе определения момента инерции и сопротивления жестких шин для КРУ 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \tag{84}$$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}; \tag{85}$$

$$J = \frac{0.8 \cdot 6^3}{12} = 14.4\,\text{см}^4;$$

$$W = \frac{0.8^2 \cdot 6}{6} = 0,64\,\text{см}^3.$$

В ходе определения расчётного пролёта между точками крепления жестких шин по условию не превышения резонансной частоты 200 Гц для КРУ 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$l^2 \le \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}; \quad (86)$$

$$l^2 \le \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{14.4}{480}};$$

0,9 м≤1.2 м,

где l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, для КРУ К-159 0,9 м;

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

В ходе определения расчётного напряжения материала жестких шин КРУ 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{УД}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (87)$$

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{23600^2 \cdot 0.9^2}{0.64 \cdot 0.45} = 27,2 \text{ МПа},$$

где а - расстояние между фазами, для КРУ К-129, 0,45 м.

В ходе проверки жестких шин 10 кВ по механической прочности выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}, \quad (88)$$

$$\sigma_{доп} \le 0.7\sigma_{разр}, \quad (89)$$

27,2 МПа < 75 МПа,

27,2 МПа $\leq 0.7 \cdot 130 = 91$ МПа.

В ходе выбора и проверки жёстких шин 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 30 и применяется в дальнейших подобных расчётах.

Таблица 30 – Выбор и проверка жёстких шин 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
I_{max} = 76 А $\sigma_{расч}$ = 27,2 МПа q_{min} = 144 мм^2	$I_{.доп}$ = 1025 А $\sigma_{доп}$=75 МПа q=480 мм^2	$I_{.доп} \geq I_{max}$ $\sigma_{доп} \geq \sigma_{расч}$ $q \geq q_{min}$

Жесткие шины 10 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.9 **Выбор изоляторов**

Выбираем опорные изоляторы марки ОНШП-10-20 УХЛ1 [22].

В ходе выбора изоляторов 10 кВ по напряжению установки выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$U_{уст} \leq U_{ном}$,

10 кВ ≤ 10 кВ.

В ходе определения расчётного напряжения на крепление изолятора 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{расч} = \sqrt{3}\,\frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \qquad (90)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{23600^2 \cdot 0.9}{0.8} = 109 \text{ Н.}$$

В ходе определения допустимого напряжения на крепление изолятора 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{доп} = F_{разр} \cdot 0,6 \,, \tag{91}$$

$$F_{доп} = 3000 \cdot 0,6 = 1800 \text{ Н,}$$

где $F_{разр}$ – разрешенная нагрузка на крепление изолятора, 3000 Н.

В ходе проверки изоляторов 10 кВ по механической прочности выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{ДОП} \geq F_{РАСЧ}; \tag{92}$$

1800 Н ≥ 109 Н.

В ходе выбора и проверки изоляторов 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 31 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим линиям 10 кВ.

Таблица 31 – Выбор опорных изоляторов 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_р$ = 10 кВ	$U_Н$ = 10 кВ	$U_Н \geq U_р$
$F_{РАСЧ}$ = 109 Н	$F_{ДОП}$ = 1800 Н	$F_{ДОП} \geq F_{РАСЧ}$

Все изоляторы 10 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.10 **Выбор ограничителей перенапряжений**

В КРУ 10 кВ К-129 проводится выбор ограничителей перенапряжения 10 кВ ОПН-П 10/12 УХЛ2 [22].

В ходе определения энергии поглощения ОПН 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$Э = \frac{U - U_{ост}}{z} \cdot U_{ост} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \quad (93)$$

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

где U - величина неограниченного перенапряжения, 40 кВ [20].

$U_{ост}$ - остающееся напряжение ОПН, 25,8 кВ в соответствии с каталожными данными;

z - волновое сопротивление провода, 200 Ом;

n - количество последовательных токовых импульсов.

В ходе определения времени распространения волны ОПН 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$T = \frac{l}{\upsilon}; \quad (94)$$

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

где l - длина защищенного подхода, 2500 м;

υ - скорость распространения волны.

В ходе определения удельной энергоемкости ОПН 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$Э^{*} = \frac{Э}{U_{ном}}; \tag{95}$$

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

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

6 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В ходе определения величины ёмкостного тока сети 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_{ВЛ}}{180}; \quad (96)$$

$$I_c = \frac{10 \cdot 5,6}{180} = 0,31 \text{ А},$$

где U_H – номинальное напряжение сети, 10 кВ;

$L_{ВЛ}$ - суммарная длина воздушных линий 10 кВ села Варваровка в одноцепном исполнении, км.

В ходе проверки необходимости проведения мероприятий по компенсации ёмкостного тока сети 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_c \leq I_{пуэ}; \quad (97)$$

$$0,31 \text{ А} \leq 20 \text{ А};$$

где $I_{пуэ}$ – величины допустимого ёмкостного тока сети 10 кВ [14].

Емкостной ток замыкания на землю значительно ниже допустимой величины.

7 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Используются комплекты защит на базе микропроцессорных блоков полного цикла сборки и полной локализации в Российской Федерации «Сириус» [18].

7.1 **Токовая отсечка**

В ходе определения первичного тока срабатывания токовой отсечки ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{с.з.} = k_н \cdot I^{(3)}_{к.max}, \tag{98}$$

$$I_{с.з.} = 1{,}1 \cdot 7{,}95 = 8{,}75,$$

где $k_н$ – коэффициент надежности микропроцессорных защит, 1,1;

$I^{(3)}_{к.max}$ – максимальный ток КЗ на шинах противоположной ТП.

В ходе определения коэффициента трансформации трансформатора тока токовой отсечки выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$n_т = \frac{I_{ВН}}{I_{НН}}; \tag{99}$$

$$n_т = \frac{100}{5} = 20 .$$

В ходе проверки чувствительности токовой отсечки ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$K_Ч = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{С.З.}} \le 2 \ , \qquad (100)$$

$$K_Ч = \frac{2,03}{8,75} = 0,23 \le 2 \ ,$$

где $I^{(2)}_{КЗ.}$ – ток двухфазного КЗ на стороне 10 кВ ТП-53.

В ходе определения вторичного тока срабатывания токовой отсечки ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{С.Р.} = k_{СХ} \frac{I_{С.З.}}{n_T} \ . \qquad (101)$$

$$I_{С.Р.} = 1 \cdot \frac{8746}{20} = 437 A \ .$$

В ходе определения выдержки времени срабатывания токовой отсечки ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$t_{с.з.ТО} = \Delta t_{с.з.ТО} + t_{реле} \ ; \qquad (102)$$

$$t_{с.з.ТО} = 0,5 + 0,01 = 0,51 c \ ;$$

где $\Delta t_{с.з.ТО}$ - выдержка времени срабатывания отсечки, принимается 0,5 с ввиду недостаточной чувствительности комплекта защит;

$t_{реле}$ - время срабатывания блоков защит, 0,01 с.

В ходе выбора и проверки токовой отсечки ВЛ 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 32 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим линиям 10 кВ.

Таблица 32 – Расчёт токовой отсечки

Линия	$I_{(3)по}$, кА	$I_{(2)по}$, кА	$I_{лин}$, А	$I_{Н\ ТТ}$, А	$I_{с.з.}$ кА	n_T	$I_{с.р.}$ А	$К_ч$
231,215,172,53	7,95	2,03	28	100	8,746	20	437	0,23
283,285,210,111	7,19	1,96	13	100	7,910	20	396	0,25

7.2 **Максимальная токовая защита линий**

В ходе определения первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана формула, которая позволяет выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_в \; ; \qquad (103)$$

$$I_{с.з.} = 0{,}2 \cdot 1{,}1 \cdot 1 / 0{,}95 = 0{,}243;$$

где k_H – коэффициент надежности, 1,1;

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

$k_в$ – коэффициент возврата, 0,95;

$I_{раб.}$ – максимальный рабочий ток ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53, 200 А.

В ходе определения вторичного тока срабатывания максимальной токовой защиты ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана формула, которая позволяет выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{с.р.} = I_{с.з.} \cdot k_{сх} / n_T, \qquad (104)$$

$$I_{с.р.} = 243 \cdot 1 / 20 = 12.$$

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы, 1;

В ходе определения чувствительности максимальной токовой защиты ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$K_Ч = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{С.З.}} \geq 1,5 \ , \qquad (105)$$

$$K_Ч = \frac{2,03}{0.243} = 8,4 \geq 1,5 \ ,$$

В ходе определения выдержки времени срабатывания максимальной токовой защиты ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$t_{с.з.МТЗ} = \Delta t_{с.з.МТЗ} + t_{реле} + t_{с.з.ТО}; \qquad (106)$$

$$t_{с.з.МТЗ} = 0,51 + 0,01 + 0,5 = 1,02\,c \ ;$$

где $\Delta t_{с.з.МТЗ}$ - выдержка времени срабатывания максимальной токовой защиты, принимается 0,5 с;

$t_{реле}$ - время срабатывания блоков защит, 0,01 с.

В ходе выбора и проверки максимальной токовой защиты ВЛ 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 33 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим линиям 10 кВ.

Таблица 33 – Расчёт МТЗ

Линия	$I_{(2)по}$, кА	$I_{раб}$, А	$I_{Н\ ТТ}$, А	$I_{с.з.}$ кА	$n_Т$	$I_{с.р.}$ А	$К_ч$
231,215,172,53	2,03	28	100	0,243	20	12	8,4
283,285,210,111	1,96	13	100	0,243	20	12	8,0

7.3 **Защита от однофазных замыканий на землю**

В ходе определения тока замыкания на землю ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{повр.л} = \frac{U_H \cdot L_{ВЛ}}{180}; \quad (107)$$

$$I_{повр.л} = \frac{10 \cdot 2,4}{180} = 0,13.$$

В ходе определения тока через трансформатор тока нулевой последовательности ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{ТНП.повр.л} = I_{ЗНЗ} - I_{повр.л}, \quad (108)$$

$$I_{ТНП.повр.л} = 0,31 - 0,13 = 0,15.$$

где $I_{ЗНЗ}$ – суммарный емкостной ток сети, 0,31 А.

В ходе определения тока срабатывания защиты от замыкания на землю ВЛ 10 кВ питания ТП 231,215,172,53 выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$I_{с.з.} = I_{ТНП.повр.л} / k_Ч \quad (109)$$

$$I_{с.з.} = 0,29/1,5 = 0,12.$$

где $k_Ч$ – коэффициент чувствительности блоков защит, 1,5.

В ходе выбора и проверки защиты от замыкания на землю ВЛ 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 34 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим линиям 10 кВ.

Таблица 34 – Расчёт ЗНЗ

Линия	$I_{повр.л}$, А	$I_{ТНП.повр.л}$, А	$I_{с.з}$, А	$t_{ñ.ç.}$, с
231,215,172,53	0,13	0,18	0,12	0,5
283,285,210,111	0,14	0,17	0,11	0,5

7.4 **Устройства автоматического включения резерва**

В ходе определения напряжения срабатывания АВР на стороне 10 кВ ПС Варваровка выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$U_{с.з.}=(0,25\div0,40)\cdot U_{ном}, \quad (110)$$

$$U_{с.з.}=0,4\cdot10000=400 \text{ В}.$$

В ходе определения выдержки времени срабатывания АВР выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$t_{с.з.АВР}=\Delta t_{с.з.АВР}+t_{реле}+t_{с.з.МТЗ}; \quad (111)$$

$$t_{с.з.АВР}=1,02+0,01+0,5=1,53c;$$

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

7.5 **Уставки срабатывания защит**

В ходе выбора временных уставок срабатывании защит ВЛ 10 кВ выполняемой работы получен массив данных, который оформлен как таблица 35 и применяется в дальнейших подобных расчётах по другим линиям 10 кВ.

Таблица 35– Время срабатывания защит

Линия	ТО	МТЗ	АВР
231,215,172,53	0,51	1,02	1,53
283,285,210,111	0,51	1,02	1,53

8 ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

В ходе определения стационарное сопротивление одного вертикального электрода выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln\left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_З + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_З + l_B)}\right], \quad (112)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{150}{\pi \cdot 2 \cdot 2} \cdot \ln\left[\frac{4 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 0{,}3 + 2)}{0{,}02 \cdot (4 \cdot 0{,}3 + 2)}\right] = 69 \text{ Ом}$$

где $l_В$ - длина вертикального электрода, 2 м;

$h_З$ - глубина заложения заземлителя, 0,3 м;

$\rho_{грунт}$ - удельное сопротивление грунта, для почвы по [20] принимаем 150 Ом·м;

d - диаметр электродов, 0,02 м.

В ходе определения стационарное сопротивление одного горизонтального электрода выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot l} \cdot \ln\left[\frac{1.5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_З}}\right], \quad (113)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{150}{\pi \cdot 4} \cdot \ln\left[\frac{1.5 \cdot 4}{\sqrt{2 \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}3}}\right] = 24,$$

где l – длина горизонтальной полосы, м.

В ходе определения общего стационарного сопротивления заземлителя выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$R = \frac{R_{ЭВ} \cdot R_{ЭГ}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{ЭГ} + n_Г \cdot R_{ЭВ})}\ , \tag{114}$$

$$R = \frac{69 \cdot 24}{0,75 \cdot (4 \cdot 24 + 8 \cdot 69)} = 3,4\,\text{Ом}\ ,$$

где η - коэффициент использования сложного заземлителя, 0,75;

n_B - число вертикальных электродов, 4;

$n_Г$ - число горизонтальных электродов, 8;

В ходе проверки выполнения условия по обеспечению электробезопасности заземлителя выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

R≤Rс пуэ; (115)

3,4 Ом ≤ 4 Ом, заземлитель рассчитан верно.

В ходе определения импульсного сопротивления вертикального электрода выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{ЭВ}}{\eta \cdot n_B}\ , \tag{116}$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 69}{0,75 \cdot 4} = 23\,\text{Ом},$$

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

В ходе определения удельной индуктивности на единицу длины горизонтального заземлителя выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$L_O = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \tag{117}$$

$$L_O = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{4}{0,01} - 0,31 \right) = 1,14 \text{ мкГн/м.}$$

В ходе определения импульсного коэффициента протяженного заземлителя выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$\alpha_{uГ} = 1 + \frac{L_O \cdot l}{3 \cdot \tau_Ф \cdot R_{ЭГ}}, \tag{118}$$

$$\alpha_{uГ} = 1 + \frac{1,14 \cdot 2}{3 \cdot 2 \cdot 24} = 1,03$$

где $\tau_Ф = 2$ *мкс* - длительность фронта тока молнии.

В ходе определения импульсного сопротивления протяжного электрода выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$R_{uГ} = \alpha_u \cdot R_{эГ}. \tag{119}$$

$$R_{uГ} = 1,03 \cdot 24 = 25 \text{ Ом}$$

В ходе определения общего импульсного сопротивления заземлителя выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$R_и = \frac{R_{иГ} \cdot R_{иВ}}{\eta_и \cdot \left(n_В \cdot R_{иГ} + n_Г \cdot R_{иВ}\right)}, \tag{120}$$

$$R_и = \frac{23 \cdot 25}{0,75 \cdot \left(4 \cdot 25 + 8 \cdot 23\right)} = 2,7 \text{ Ом}.$$

В ходе проверки выполнения условия по обеспечению стекания тока молнии заземлителя выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$R \leq R_{и\ пуэ}; \tag{121}$$

2,7 Ом ≤ 9 Ом, заземлитель рассчитан верно.

9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

9.1 Безопасность

Выполнение модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка Ивановского района Амурской области осуществляется с проведением работ в том числе в ЗРУ-10 кВ ПС Варваровка, а также на существующих столбовых и мачтовых трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ и воздушных линиях 10-0,4 кВ системы электроснабжения села Варваровка.

Модернизация проводится силами персонала обслуживающей электросетевое хозяйство (АО «ДРСК»), а также путём привлечения персонала подрядных организаций, для которых необходимо перечислить меры безопасности при выполняемых работах модернизации системы электроснабжения села Варваровка [27].

Выполнение работ по модернизации комплектных распределительных устройств 10 кВ ПС Варваровка на оборудовании выкатной тележки с выключателем или в отсеке шкафа КРУ следует начинать после размещения тележки в ремонтном положении. Выполнение работ по модернизации комплектных распределительных устройств 10 кВ ПС Варваровка следует начинать после запирания на замок шторки отсека КРУ ПС Варваровка, в котором токоведущие части остались под напряжением, далее на шторках отсека КРУ ПС Варваровка размещается плакат безопасности «Стой! Напряжение»; на рабочем месте размещается плакат безопасности «Работать здесь».

Выполнение работ по модернизации отходящих ВЛ и КЛ 10 кВ от ПС Варваровка следует начинать после размещения тележки с выключателем в ремонтное положение из шкафа КРУ ПС Варваровка, далее на шторках отсека КРУ ПС Варваровка размещается плакат безопасности «Не включать! Работают люди» или «Не включать! Работа на линии» [27].

Выполнение работ по модернизации отходящих ВЛ и КЛ 10 кВ от ПС Варваровка следует начинать после размещения тележки с выключателем в

контрольное положение если имеется блокировка между заземляющими ножами и тележкой после включения заземления.

Выполнение работ по модернизации отходящих ВЛ и КЛ 10 кВ от ПС Варваровка следует начинать после размещения тележки с выключателем в промежуточное положение между контрольным и ремонтным если имеется возможность фиксации тележки от случайных или непреднамеренных изменений её положения.

Работы по извлечению и установки тележки отсека КРУ ПС Варваровка, в котором размещаются трансформаторы напряжения и предохранители 10 кВ допускается проводить под напряжением со снятой нагрузкой [27].

Работы вне КРУ ПС Варваровка на отходящих ВЛ и КЛ 10 кВ следует начинать после размещения тележки с выключателем в контрольное положение, при этом персонал, задействованный на работах на отходящих ВЛ и КЛ 10 кВ должен быть выведен из рабочей зоны или должно быть устроено заземление в КРУ ПС Варваровка.

Испытания дугогасительных камер повышенным напряжением отсеков КРУ ПС Варваровка персоналом, задействованном на работах в КРУ, осуществляются с использованием индивидуальных защитных экранов от возникающих рентгеновских излучений.

Выполнение работ по модернизации на мачтовых, столбовых и комплектных трансформаторных подстанциях системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка без отключения питающего фидера ВЛ 10 кВ следует проводить стоя на площадке и при условии соблюдения расстояний до токоведущих частей, в случае если допустимые расстояния соблюсти невозможно, то токоведущие части отключаются и заземляется [27].

Персонал, задействованный на работах по модернизации на мачтовых, столбовых и комплектных трансформаторных подстанциях системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка, допускается к работам после отключения сначала вводных автоматических выключателей 0,4 кВ, затем линейных разъединителей 10 кВ, далее проводится заземление токоведущих

частей подстанции 10/0,4 кВ. Безопасность при проведении работ по модернизации РУ 0,4 кВ на мачтовых, столбовых и комплектных трансформаторных подстанциях системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка достигается отключением всех линейных фидеров 0,4 кВ с заземлением линий на стороне РУ 0,4 кВ ТП для исключения подачи напряжения на рабочее место, установка плакатов безопасности «Не включать! Работают люди» на автоматические выключатели 0,4 кВ при этом обязательна.

Выполнение работ по модернизации на силовых трансформаторах комплектных трансформаторных подстанциях системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка следует проводить после разгрузки и отключения трансформатора 10/0,4 кВ.

Персонал, задействованный на работах по регенерации трансформаторного масла на силовых трансформаторах системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка обеспечивается защитной одеждой и обувью.

Выполнение работ по модернизации измерительных трансформаторов тока 10 кВ ПС Варваровка с использованием шин в цепи первичной обмотки трансформаторов тока в качестве токоведущих частей запрещено.

Выполнение работ по монтажу вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ ПС Варваровка, электроизмерительных приборов, устройств релейной защиты и автоматики допускается только при закороченных вторичных цепях трансформаторов тока 10 кВ ПС Варваровка.

Выполнение работ по проверке полярности вторичных обмоток трансформаторов тока 10 кВ ПС Варваровка допускается только при подключении прибора подачи импульса к зажимам вторичной обмотки перед генерацией импульса в первичную обмотку трансформаторов тока.

Персонал, задействованный на работах по обслуживанию батарей конденсаторов 10 кВ в РУ-10 кВ ПС Варваровка выполняет разряд батарей конденсаторов 10 кВ вне зависимости от наличия разрядных устройств, которые подключаются к шинам или являются встроенными в единичные конденсаторы.

Выполнение работ по разряду батарей конденсаторов 10 кВ в РУ-10 кВ ПС Варваровка следует проводить изолирующей штангой с использованием диэлектрических перчаток, при этом осуществляется замыкание выводов между собой и на корпус металлической шиной с заземляющим проводником.

Персонал, задействованный на работах по обслуживанию батарей конденсаторов 10 кВ в РУ-10 кВ ПС Варваровка выполняет соединение выводов конденсаторов между собой для исключения воздействия наведенного напряжения.

Выполнение работ по обслуживанию батарей конденсаторов 10 кВ в РУ-10 кВ ПС Варваровка следует проводить в защитной одежде, исключающей попадание вредных веществ из корпуса поврежденных батарей конденсаторов 10 кВ, а также в хорошо вентилируемом помещении РУ-10 кВ ПС Варваровка для предотвращения отравления персонала, задействованного на работах по обслуживанию РУ-10 кВ ПС Варваровка [27].

9.2 **Экологичность**

Выполнение модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка Ивановского района Амурской области осуществляется с учётом экологичности показателей в части величины отводимых земель в постоянное и временное пользования.

По [26] выделяются объекты и оборудование электрических сетей 10-0,4 кВ села Варваровка, под которое следует определить площадь отводимых земель:

- земли, отводимые в постоянное пользование под размещение ТП 10/0,4 кВ;

- земли, отводимые в постоянное пользование под размещение опор линий 10 кВ;

- земли, отводимые во временное пользование под монтаж опор линий 10 кВ;

- земли, отводимые во временное пользование под монтаж проводов на опоры линий 10 кВ.

Далее в показанном выше порядке осуществляется определение каждого показателя.

В ходе определения площади земель, отводимых в постоянное пользование под размещение ТП 10/0,4 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{пост\ тп} = F_{пост\ тп1} \cdot n_{пост\ тп1} + F_{пост\ тп2} \cdot n_{пост\ тп2}; \quad (122)$$

$$F_{пост\ тп} = 50 \cdot 5 + 80 \cdot 3 = 490\ м^2;$$

где $F_{пост\ тп1}$ – площадь отводимых земель в постоянное пользование под ТП 10/0,4 кВ с одним силовым трансформатором, 50 м^2 [29];

$n_{пост\ тп1}$ – количество ТП 10/0,4 кВ в системе электроснабжения села Варваровка с одним силовым трансформатором, 5 шт;

$F_{пост\ тп2}$ – площадь отводимых земель в постоянное пользование под ТП 10/0,4 кВ с двумя силовыми трансформаторами, 80 м^2 [29];

$n_{пост\ тп2}$ – количество ТП 10/0,4 кВ в системе электроснабжения села Варваровка с двумя силовыми трансформаторами, 3 шт.

В ходе определения площади земель, отводимых в постоянное пользование под размещение опор линий 10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{пост\ оп\ ВЛ} = (A_{оп}^{\ 2} + \pi \cdot \Delta_{пост}^{\ 2} + 4 \cdot A_{оп} \cdot \Delta_{пост}) \cdot n_{оп}; \quad (123)$$

$$F_{пост\ оп\ ВЛ} = (0{,}31^{\ 2} + 3{,}14 \cdot 1{,}5^2 + 4 \cdot 0{,}31 \cdot 1{,}5) \cdot 80 = 722\ м^2;$$

где $A_{оп}$ – ширина квадратного сечения опоры на уровне земли, по рисунку 9, 0,31 м;

$Д_{пост}$ - ширина полосы земли вокруг внешнего контура опоры, принимается 1,5 м, так как трасса прохождения ВЛ 10 кВ устроена по землям сельскохозяйственного назначения [28], рисунок 9;

$n_{оп}$ - число опор ВЛ-10 кВ в системе электроснабжения села Варваровка, 80 шт.

В ходе определения площади поперечного сечения опор без ригелей ВЛ-10 кВ села Варваровка в случае прохождения трассы ВЛ по землям сельхоз угодий получен план расположения опоры на уровне земли, который оформлен как рисунок 9.

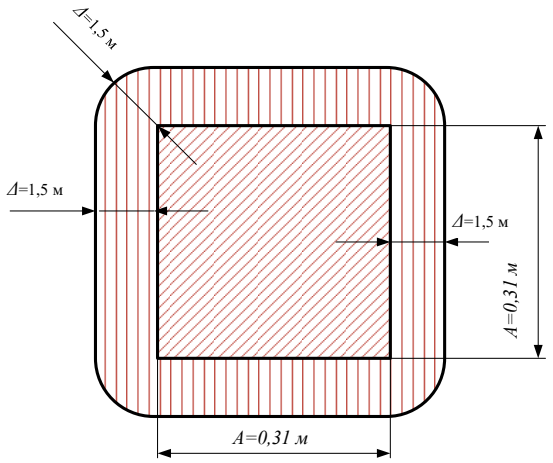

Рисунок 9 – Площадь поперечного сечения опоры ВЛ 10 кВ

В ходе определения площади земель, отводимых во временное пользование под монтаж опор ВЛ-10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{врем\ оп\ ВЛ} = F_{врем\ оп\ ВЛ\ уд} \cdot n_{оп}; \quad (124)$$

$$F_{врем\ оп\ ВЛ} = 5600 \cdot 80 = 12000\ м^2;$$

где $F_{врем\ оп\ ВЛ\ уд}$ – площадь земель, подлежащих отводу под монтаж одной опоры ВЛ-10 кВ [29], 150 м^2.

В ходе определения площади земель, отводимых во временное пользование под монтаж проводов на опоры ВЛ-10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{врем\ пров\ ВЛ} = L_{ВЛ\ 10\ кВ} \cdot L_{полосы}; \quad (125)$$

$$F_{врем\ пров\ ВЛ} = 5600 \cdot 5{,}31 = 29736\ м^2;$$

$$L_{полосы} = L_{ф\text{-}ф} + 2 \cdot \Delta_{врем}; \quad (126)$$

$$L_{полосы} = 1{,}31 + 2 \cdot 2 = 5{,}31\ м;$$

где $L_{ВЛ\ 10\ кВ}$ – протяженность ВЛ-10 кВ села Варваровка, подлежащая модернизации, 5600 м;

$L_{ф\text{-}ф}$ – расстояние между крайними фазными проводами на опоре ВЛ-10 кВ по рисунку 10, 1,31 м;

$\Delta_{врем}$ - расстояния от проекции крайних фаз на землю для случая горизонтального расположения проводов на опоре ВЛ-10 кВ [29], 2 м.

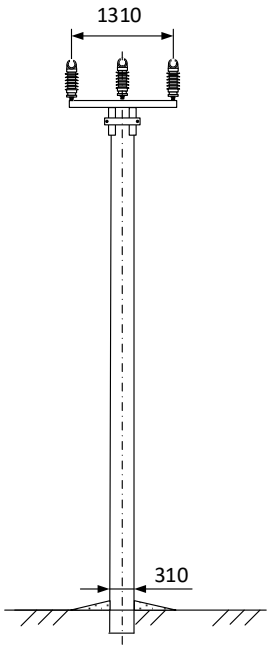

Рисунок 10 – Расположение проводов СИП на опоре ВЛ 10 кВ

В ходе определения площади земель, отводимых в постоянное пользование выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{пост} = F_{пост\ оп\ ВЛ} + F_{пост\ тп}; \quad (127)$$

$$F_{пост} = 490 + 722 = 1212\ м^2.$$

В ходе определения площади земель, отводимых во временное пользование под монтаж опор ВЛ-10 кВ выбрана соответствующая формула, которая позволяет с допустимой погрешностью выполнить вычисления требуемых значений:

$$F_{врем} = F_{врем\ оп\ ВЛ} + F_{врем\ пров\ ВЛ}; \quad (128)$$

$$F_{врем} = 12000 + 29736 = 41736\ м^2.$$

После проведенных расчётов получены следующие показатели экологичности в части величины отводимых земель в постоянное и временное пользования – отвод земель в постоянное пользование 1212 м^2, во временное пользование 41736 м^2.

9.3 **Чрезвычайные ситуации**

В системе электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка Ивановского района Амурской области возможны случаи возгораний вследствие несоблюдения режимов работы электрооборудования, природных явлений, ошибочных операций при переключениях и т.д.

В соответствии с требованиями [30], персонал, задействованный на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка проходит различные инструктажи по пожарной безопасности, по

итогу которых оформляются журналы учёта прошедших инструктаж с обязательной записью инструктируемого и инструктирующего.

Объём правил и руководящих документов, обязательных для ознакомления персоналом, задействованном на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка включает в себя Правила (ПТЭ, ПТБ и ППБ), производственные и должностные инструкций [31].

После проверки знания правил и руководящих документов назначается стажировка и практические занятия по пожарной безопасности, после чего персоналу, задействованном на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка выдаются соответствующие удостоверения, подтверждающие успешную проверку знаний.

Поддержание необходимого уровня знаний персонала, задействованного на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка осуществляется путём организации периодических проверок знаний специальных инструктажей.

Специальные инструктажи персонала, задействованного на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка проводятся в виде первичных инструктажей для новых или командированных сотрудников на рабочем месте, ранее не выполнявших аналогичную работу и повторных инструктажей персонала не реже одного раза в месяц. При этом

Внеплановые инструктажи персонала, задействованного на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка проводятся после перерывов в течении срока выполнения работ по модернизации более одного месяца, а также в случае аварий и пожаров.

Внеплановые инструктажи персонала документально оформляются и регистрируются по специальным формам, в которых указываются причины проведения внепланового инструктажа.

Противопожарные тренировки на объектах системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка проводятся силами обслуживающей

электрические сети организации и совместно с Государственной противопожарной службой МЧС России в ходе которых персонал, задействованный на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка отрабатывает правильные, самостоятельные и быстрые действия в условиях возможного пожара, направленные на закрепление методов и способов отключения электроустановок, находящихся в зоне условного пожара.

Противопожарные тренировки персонала, задействованного на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка предусматривают использования пожарных тренажеров и полигонов для тренировок практического и правильного использования средств пожаротушения [36].

Главный инженер организации, к которой относится персонал, задействованный на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка, является ответственным за процесс подготовки по пожарной безопасности.

Работы по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка связанные с обмывкой и обезжириванием деталей технологического оборудования должны проводиться пожаробезопасными моющими средствами. В тех случаях, когда по технологии проводимых работ требуется использовать горючие жидкости, разрешается использовать емкости с горючими жидкостями не более 1 л из пластика или любого материала, не способного к разрушению при падении.

Модернизация РУ-10 кВ ПС Варваровка проводится в тех случаях, когда обеспечены свободные проходы и проезды, пути эвакуации, подходы к средствам пожаротушения, размещенным в РУ-10 кВ ПС Варваровка.

То оборудование РУ-10 кВ ПС Варваровка, которое невозможно извлечь из помещения РУ-10 кВ допускается модернизировать с использованием сварочных аппаратов внутри помещения РУ-10 кВ.

Модернизация РУ-10 кВ ПС Варваровка с использованием ремонтных площадок осуществляется с расположением деталей и материалов на них таким образом, чтобы обеспечить проходы доступными.

Работы по перекачке трансформаторного масла при модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка с трансформаторов собственных нужд проводятся посредством подключения специальных маслостойких шлангов для перекачки масла и подключения их к специальным емкостям, предназначенным для хранения трансформаторного масла. Для предотвращения протечек масла при модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка места соединения шлангов с масляными емкостями подлежат прочной фиксации соответствующими фитингами или зажимами, использование которых не приводит к механическим повреждениям шлангов системы перекачки масла.

Работы по сушке масляных баков трансформаторов собственных нужд при модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка должны проводиться методом индукционного подогрева в том случае, если используемые нагревательные печи выполнены в виде закрытой конструкции с возможностью их размещения под баком трансформатора на основании из негорючего материала, при этом бак трансформатора должен быть утеплён несгораемым материалом на асбестовой основе.

Модернизация РУ-10 кВ ПС Варваровка проводится с обязательным устройством дополнительного поста первичных средств пожаротушения в случаях, когда постоянный пост пожаротушения удален более чем на 20 м от места проведения работ в РУ-10 кВ ПС Варваровка. Первичные средства пожаротушения дополнительного поста должен быть проверены по количеству и быть исправными.

Из числа персонала, задействованного на работах по модернизации системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Варваровка, назначаются дежурные, которые должны быть проинструктированы о мерах, принимаемых при возникновении пожара.

Работы по окраске конструкций или оборудования при модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка должны проводится только на исправном оборудовании, без каких-либо нарушений его целостности во избежание утечек окрасочных материалов, которые следует незамедлительно устранять.

Работы по окраске конструкций или оборудования при модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка должны проводится без загромождения рабочего места пустой тарой из-под лакокрасочных материалов во избежание загрязнения воздуха рабочей зоны испарениями.

Работы по окраске конструкций или оборудования при модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка должны начинаться с наиболее удаленного места работы по отношению к эвакуационному выходу для безопасности персонала [36].

При модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка одновременное проведение работ с применением открытого огня и окрасочных работ на удалении менее 20 м от источника огня запрещено, проведение огневых работ следует прекращать на время проведения окрасочных работ в РУ-10 кВ ПС Варваровка.

При модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка предусматривается вентиляция помещения, в котором организованы окрасочные работы для снижения концентрации вредных испарений воздуха рабочей зоны.

Работы по окраске конструкций или оборудования при модернизации РУ-10 кВ ПС Варваровка запрещено проводить без достаточного оснащения исправными средствами пожаротушения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с заданием на проектирование рассмотрена необходимость и проведена реконструкция системы электроснабжения села Варваровка Ивановского РЭС.

Рассчитаны нагрузки потребителей сёл поэтапно:

- 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 «Варваровка» - 1147 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 VF12-10, ТТ - ТОЛ-10-У2, ТН – НАЛИ-10, предохранители ПК, автоматические выключатели ВА 57-3х, выключатели нагрузки ВНП. КРУ К-129.

Рассчитаны токи КЗ в соответствии с РД.

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

Рассмотрены вопросы безопасности при эксплуатации электрооборудования сетей, рассчитаны показатели экологичности в части величины отводимых земель в постоянное и временное пользования, приведены меры пожарной безопасности при пожаре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.: ил.

2 Воротницкий В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях: анализ и опыт снижения / В. Э. Воротницкий. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2006. – 104 с.: ил.

3 Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.-280 с: ил.

4 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). - 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2006. — 964 с.

5 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.

6 ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems

7 Каталог характеристик трансформаторов типа ТМ. URL: http://www.emna.ru/katalog/tran/tran_maslo.htm#tm (доступ от 28.05.2022).

8 Киреева Э. А., Орлов В. В., Старкова Л. Е Электроснабжение цехов промышленных предприятий. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2003. — 120 с; ил. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 12(60).

9 Отчет по практической подготовке, вид практики производственная практика, тип практики: преддипломная выполнил обучающийся Слесаревич Владимир Евгеньевич (ФГБОУ ВО «АмГУ») Благовещенск, 2022г.

10 Приложение к постановлению комитета по ценам и тарифам Правительства Амурской области от 24.12.2021 №516/7-П.

11 РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования/Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.

12 Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей. Под ред. Файбисовича Д.Л. - 4-е издание. - М.: изд-во НЦ ЭНАС, 2012. - 376 стр.

13 Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / Э.Я. Гричевский, П.А. Катков, А.М. Карпенко и др.; Под ред. П.А. Каткова, В.И. Франгуляна. – М.: Энергия, 2004, - 352 с., ил.

14 Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. Утверждено приказом Минэнерго России от 20 июня 2003 г. № 242. Введено в действие с 1 ноября 2003 г.

15 Судаков Г.В., Галушко Т.А. Оценка экономической эффективности проектов по строительству, реконструкции и модернизации систем электроснабжения объектов. Учебное пособие. - Амурский гос. ун-т. 2006.

16 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая ред.) / Мин. экономики РФ, Мин. финансов РФ, Г К по р-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. коллект. Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. ~М.: ОАО «НПО»; Экономика, 2010.-421 с.

17 Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения [Текст] : метод. пособие для курсового проектирования: учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ / В. П. Шеховцов. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2005. - 214 с.

18 Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монографня. М.А. Шабад. - СПб.: ПЭИПК, 2009. - 4-е изд., перераб. и доп. - 350 стр.. ил.

19 Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная зашита и автоматка электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2004.– 132 с.

20 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК,1999.

21 СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций

22 URL: http://www.moselectroshield.ru/production/kru/6-10-kv/k-129/ (доступ от 28.05.2022).

23 URL: http://www.enbaza.ru/spec/ssprice (доступ от 28.05.2022).

24 URL: http://www.ev-ro.ru/catalog/kabel-i-provod/samonesushie_izolirovanye_provoda_sip/ (доступ от 28.05.2022).

25 URL: http://www.oktyabr-r.ru/index.php/rajon/ (доступ от 28.05.2022).

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

27 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н [Электронный ресурс] Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/499037306

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

29 Правила определения размеров земельных участков для размещения ВЛЭП и опор линий связи, обслуживающих электрические сети. Постановление правительства РФ от 11 августа 2003 года №486.

30 ГОСТ 12.1.033-81 (2001) ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.

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