

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

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Реконструкция системы электроснабжения села Владимировка в Еврейской автономной области

Исполнитель
студент группы 842-узб

подпись, дата

С.В. Лобачёв

Руководитель
профессор,
канд.техн.наук, доцент

подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

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

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 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 С.В. Лобачёв

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы электроснабжения села Владимировка в Еврейской автономной области

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

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: схема сетей 10 кВ села Владимировка, однолинейная схема ПС «ДМ», контрольный замер в электрических сетях за 2021 год, схема и план развития Еврейской автономной области на период до 2030 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика существующей системы электроснабжения, выбор схем и расчёты нагрузок в сети 10 кВ, компенсация реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанции «ДМ», выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции «ДМ», определение токов короткого замыкания, выбор оборудования комплектного распределительного устройства, релейная защита и автоматика, молниезащита, безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): однолинейная схема сети 10 кВ, однолинейная схема подстанции «ДМ» 35/10 кВ, варианты исполнения сети 10 кВ, молниезащита и заземление подстанции «ДМ» 35/10 кВ, токи короткого замыкания в сети 10 кВ, микропроцессорная автоматика в сети 10 кВ, микропроцессорная защита трансформатора 1000 кВА 10/0,4 кВ.

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

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель выпускной квалификационной работы: _____

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

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 113 с, 11 рисунков, 34 таблицы, 28 источников.

РАЙОН РЕКОНСТРУКЦИИ, ПРОЕКТИРУЕМАЯ СЕТЬ, РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, ПОТЕРЯ НАПРЯЖЕНИЯ, СРЕДСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, САМОНЕСУЩИЙ ИЗОЛИРОВАННЫЙ ПРОВОД, ФИДЕР, ДОПУСТИМЫЕ НОРМЫ.

Износ электрических сетей 10 кВ села Владимировка приводит к большим потерям электроэнергии в них. В данной выпускной квалификационной работе ставится цель – реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области. В результате рассчитаны нагрузки потребителей, параметры линий 10 кВ, выбраны и проверены аппараты 10 кВ, проведена замена оборудования на стороне 10 и 35 кВ ПС «ДМ».

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика существующей системы электроснабжения	9
2 Выбор схем и расчёты нагрузок в сети 10 кВ	11
2.1 Нагрузки на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций	11
2.2 Определение потерь мощности в трансформаторах 10/0,4 кВ	12
2.3 Приведенная нагрузка к стороне 10 кВ трансформаторных подстанций	15
2.4 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ	15
2.5 Нагрузка на шинах центра питания 10 кВ	23
3 Компенсация реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанции «ДМ»	24
4 Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции «ДМ»	25
5 Определение токов короткого замыкания	27
5.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	27
5.2 Расчет токов короткого замыкания на подстанции «ДМ»	29
6 Выбор оборудования комплектного распределительного устройства	36
6.1 Выбор комплектного распределительного устройства	36
6.2 Выбор выключателей 10 кВ	38
6.3 Выбор трансформатора напряжения 10 кВ	41
6.4 Выбор трансформаторов тока 10 кВ	43
6.5 Выбор ограничителей перенапряжений 10 кВ	47
6.6 Выбор трансформаторов собственных нужд 10 кВ	48
6.7 Выбор предохранителей 10 кВ для защиты трансформаторов собственных нужд	50
6.8 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов напряжения 10 кВ	51
6.9 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ	53
6.10 Выбор опорных изоляторов 10 кВ	56
6.11 Выбор проходных изоляторов 10 кВ	57

6.12 Проверка проводов СИП-3 на воздействие токов короткого замыкания	58
6.13 Выбор предохранителей 10 кВ трансформаторных подстанций	59
6.14 Выбор выключателей нагрузки 10 кВ трансформаторных подстанций	60
6.15 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ трансформаторных подстанций	62
7 Релейная защита и автоматика	65
7.1 Токовая отсечка.	65
7.2 Максимальная токовая защита линий	67
7.3 Ток замыкания на землю в сети 10 кВ	68
7.4 Защита от однофазных замыканий на землю	69
7.5 Устройства автоматического включения резерва	70
7.6 Защита трансформаторов 10/0,4 кВ	71
8 Молниезащита	75
8.1 Определение стационарного и импульсного сопротивления	75
8.2 Расчет молниезащиты	87
8.3 Расчёт грозозащиты открытого распределительного устройства подстанции «ДМ» 35 кВ	92
9 Безопасность и экологичность	95
9.1 Безопасность	95
9.2 Экологичность	101
9.3 Чрезвычайные ситуации	106
Заключение	110
Библиографический список	111

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- ВКР – выпускная квалификационная работы;
- ВН – высокое напряжение;
- ЗРУ – закрытое распределительное устройство;
- КЗ – короткое замыкание;
- КРУ – комплектное распределительное устройство;
- КУ – компенсирующее устройство;
- НН – низкое напряжение;
- ОРУ – открытое распределительное устройство;
- ПС – подстанция;
- РП – распределительная подстанция;
- РСК – распределительная сетевая компания;
- РЭС – район электрических сетей;
- СОТ – садово-огородное товарищество;
- СЭС – система электроснабжения;
- ТП – трансформаторная подстанция;
- ТТ – трансформатор тока;

ВВЕДЕНИЕ

«Современная система сельского электроснабжения является довольно сложным физико-техническим объектом и неотъемлемой частью Единой энергетической системы и сельского хозяйства страны, регионов и крупных сельскохозяйственных производителей. В нынешней экономической ситуации вопрос рационального использования топливно-энергетических ресурсов особо остро стоит в сельском хозяйстве» [12].

Современное состояние существующей системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Еврейской автономной области не отвечает требованиям надёжного и бесперебойного электроснабжения потребителей из-за высокого износа оборудования. Существующие и подключаемые потребители 2-й категории по надёжности электроснабжения села Владимировка Еврейской автономной области не обеспечены резервированием электроснабжения.

Актуальность темы бакалаврской работы сводится проведению ряда проектных и вычислительных расчётов параметров системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Еврейской автономной области под необходимость реконструкции.

Цель бакалаврской работы – выполнить ряд расчётов для нахождения параметров реконструируемой сети 10 кВ села Владимировка Еврейской автономной области.

Задачи бакалаврской работы:

- анализ существующей схемы электроснабжения потребителей 10 кВ села Владимировка Еврейской автономной области и технического состояния действующих сетей 10 кВ;
- обоснование расчетных электрических нагрузок потребителей села Владимировка Еврейской автономной области с использованием замеров нагрузки в контрольные дни зимнего максимума нагрузки;
- разработка и технико-экономическое обоснование схемы развития сетей 10 кВ села Владимировка Еврейской автономной области, включая выбор

конфигураций сети и основных параметров линий электропередачи 10 кВ (сечений и марок проводов и кабелей) и выбор средств регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности;

- расчеты сетей 10 кВ села Владимировка Еврейской автономной области;
- оценка приведенных затрат на каждый из предлагаемых вариантов развитие линий электропередачи 10 кВ села Владимировка Еврейской автономной области.

Практическая значимость бакалаврской работы состоит в создании готовых проработанных решений и технических характеристик сети 10 кВ села Владимировка Еврейской автономной области под обеспечение планов развития до 2025 года.

Необходимо для ПС «ДМ» провести реконструкцию распределительных сетей 10 кВ с применением самонесущего изолированного провода (СИП). Для существующих и проектируемых трансформаторных подстанций мачтового, комплектного или кирпичного исполнения необходимо просчитать нагрузку на шинах 0,4 кВ.

Новизна бакалаврской работы отражается в использованных исходных данных при реконструкции, параметров использованного современного силового оборудования с учётом импортозамещения в рамках стратегии ограничения использования импортного оборудования в пользу отечественных разработок различных заводов-изготовителей.

Ожидаемые результаты бакалаврской работы определяются как сводные материалы, подлежащие дальнейшему использованию при составлении заявок на технологическое присоединение потребителей, схемные и расчётные данные сетей 10 кВ на 2025 год.

Используемые программы при расчёте и оформлении проекта на ПК: MS Office Word; MS Office Excel; MS Visio; Mathcad. Регистрационные ключи лицензий программного обеспечения и операционной системы являются активными.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Существующая система электроснабжения (СЭС) 10 кВ села Владимировка выполнена голым сталеалюминевым проводом АС-50. Центр питания – ПС «ДМ» 35/10 кВ: для фидера 33 – 1 сш, для фидера 14Н – 2 сш. Протяженность линий - около 20 км.

На ПС «ДМ» установлено устаревшее оборудование [12]:

- ошиновка и питающие линии со сроком эксплуатации более 50 лет (год сдачи в эксплуатацию – 1959);
- разрядники РВС-35 и РВО-10 являются устаревшим оборудованием;
- масляные выключатели С-35 выработали нормативный срок эксплуатации;
- трансформаторы тока ТПЛ-10, и ТФЗН-35 не соответствуют классу точности;
- трансформаторы напряжения НТМИ-10 необходимо заменить на антирезонансные трансформаторы НАМИ-10;
- трансформаторы собственных нужд ТМ-25 необходимо заменить на более мощные, всвязи с изменённым составом потребителей собственных нужд;

Трансформаторы ТП – масляные, устанавливаются в виде столбовых, мачтовый и комплектных ТП.

Необходимость реконструкции обусловлена наличием устаревшего оборудования в сети 10 кВ – провода марки АС, ТП 10/0,4 кВ, что приводит к пониженной надёжности фактической сети и большим потерям электроэнергии.

ПС 35/10 «ДМ» является ведомственной (собственник – сторонняя или смежная организация для РСК). Нагрузка с учётом выданных технических условий составляет 0,45 МВт для фидера 14Н в связи со строительством коттеджей осетрового завода, СОТ «Минерал», Межрайонный союз заводов в селе Владимировка в перспективе до 2025 года. По данным администрации и запро-

сов предприятий нагрузка до 2022 г дополнительно увеличится на 1,3 МВт. На 2022 г нагрузка по фидеру 33 – 0,4 МВт, по фидеру 44 – 1,78 МВт.

Исходные данные оформлены как таблица 1, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 1 – Нагрузки центра питания

точка поставки	Существующая нагрузка МВА	Технические условия до 2025 г, МВт	Запросы предприятий до 2022 г, МВт	Всего, МВт
Ф-14Н		0,45	1,3	1,75
Ф-33	0,4			0,4
Ф-44	1,38			1,78
всего	1,68	0,45	1,3	3,96

2 ВЫБОР СХЕМ И РАСЧЁТЫ НАГРУЗОК В СЕТИ 10 КВ

2.1 Нагрузки на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций

Так как отсутствуют данные замеров по ТП на стороне НН и ВН, то расчёт нагрузок в сети 10 кВ проводится упрощённо по коэффициенту загрузки трансформаторов ТП.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта активной и реактивной нагрузки на стороне 0,4 кВ ТП 304 в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$P_{ТП} = S_{ном\ тр} \cdot \cos \varphi \cdot K_з, \quad (1)$$

$$P_{ТП} = 160 \cdot 0,815 \cdot 0,8 = 104 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП} = S_{ном\ тр} \cdot \sin \varphi \cdot K_з, \quad (2)$$

$$Q_{ТП} = 160 \cdot 0,58 \cdot 0,8 = 74 \text{ кВар},$$

где $K_з$ - приближенный коэффициент систематической загрузки, для ТП села Владимировка, на которых установлен один трансформатор 10/0,4 кВ - 0,8, для ТП села Владимировка, на которых установлены два трансформатора 10/0,4 кВ - 0,7 [12];

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности для активной нагрузки ТП села Владимировка, получен по результату контрольного замера зимы 2021 года для головного участка питающего фидера 10 кВ, 0,815 [12];

$\sin \varphi$ - коэффициент мощности для реактивной нагрузки ТП села Владимировка, получен по результату контрольного замера зимы 2021 года для головного участка питающего фидера 10 кВ, 0,58.

Вычисленные данные нагрузки ТП на стороне НН оформлены как таблица 2, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю нахождения нагрузки ТП на стороне НН.

Таблица 2 – Нагрузка ТП на стороне НН

№ ТП	Sp, кВА	Pp, кВт	Qp, кВар	Nтр	Kз	Sном, кВА
400	200	163	116	1	0,8	250
304	128	104	74	1	0,8	160
729	128	104	74	1	0,8	160
726	128	104	74	1	0,8	160
731	128	104	74	1	0,8	160
733	80	65	46	1	0,8	100
728	504	411	292	1	0,8	630
303	50	41	29	1	0,8	63
727	128	104	74	1	0,8	160
301	32	26	19	1	0,8	40
730	80	65	46	1	0,8	100
732	128	104	74	1	0,8	160
32	560	456	325	2	0,7	400
31	1400	1141	812	2	0,7	1000

2.2 Потери мощности в трансформаторах 10/0,4 кВ

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта активных потерь мощности трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-733 в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K, \quad (3)$$

$$\Delta P_{T733} = 0,37 + 0,8^2 \cdot 1,97 = 1,6 \text{ кВт};$$

где ΔP_X - активные потери холостого хода трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-733 [8];

ΔP_K - активные потери короткого замыкания, трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-733 [8].

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта реактивных потерь холостого хода трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-733 в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \quad (4)$$

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

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора ТП-733, 100 кВА по данным завода - изготовителя [8];

I_x - ток холостого хода трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-733, 2,6 по данным завода – изготовителя [8].

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта реактивных потерь короткого замыкания трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-733 в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_k}{100}, \quad (5)$$

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

где U_k - напряжение короткого замыкания трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-733, 4,6 % по данным завода - изготовителя [8].

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта полных реактивных потерь мощности трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-733 в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (6)$$

$$\Delta Q_{T733} = 2,6 + 0,8^2 \cdot 4,6 = 5,5 \text{ кВАр.}$$

где ΔQ_X - реактивные потери холостого хода;

ΔQ_K - реактивные потери короткого замыкания.

Вычисленные данные потерь мощности в трансформаторах ТП оформлены как таблица 3, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю нахождения потерь мощности.

Таблица 3 – Потери мощности в трансформаторах

№ ТП	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВт
400	3,2	13,0
304	2,3	8,5
729	2,3	8,5
726	2,3	8,5
731	2,3	8,5
733	1,6	5,5
728	6,4	34,8
303	1,1	3,1
727	2,3	8,5
301	0,8	2,4
730	1,6	5,5
732	2,3	8,5
32	4,6	19,9
31	10,3	49,2

2.3 Приведенная нагрузка к стороне 10 кВ трансформаторных подстанций

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта нагрузки ТП, приведенной к стороне 10 кВ по ТП-304 в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(P_{ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + \Delta Q_{ТП})^2} \quad (7)$$

$$S_{10кВ ТП304} = \sqrt{(104 + 2,3)^2 + (74 + 8,5)^2} = 135 \text{ кВА.}$$

Вычисленные данные нагрузки на стороне ВН ТП оформлены как таблица 4, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю нахождения потерь мощности.

Таблица 4 – Нагрузка на стороне ВН ТП

№ ТП	N _{тр}	S _{ном} , кВА	K _з	P _{10кВ} , кВт	Q _{10кВ} , кВАр	S _{10кВ} , кВА
400	1	250	0,80	166	129	210
304	1	160	0,80	107	83	135
729	1	160	0,80	107	83	135
726	1	160	0,80	107	83	135
731	1	160	0,80	107	83	135
733	1	100	0,80	67	52	85
728	1	630	0,80	417	327	530
303	1	63	0,80	42	32	53
727	1	160	0,80	107	83	135
301	1	40	0,80	27	21	34
730	1	100	0,80	67	52	85
732	1	160	0,80	107	83	135
32	2	400	0,80	466	365	591
31	2	1000	0,80	1162	910	1476

2.4 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ

Нормально разомкнутую сеть 10 кВ села Владимировка для повышения надёжности при реконструкции предусматривается выполнить по кольцевой

схеме, задействуя линейную ячейку на ПС ДМ. Разрабатываются 2 варианта выполнения схемы сети 10 кВ. ВЛ 10 кВ выполняем проводом СИП – 3, в соответствии с требованиями [25].

Так как при расчёте нагрузок на стороне 0,4 кВ каждой ТП использовании замерные данные по коэффициентам мощности на головном участке питающего фидера, то вектора активной и реактивной нагрузки для всех ТП, подключенных к фидерам ПС ДМ, являются сонаправленными и дальнейшие расчёты токовой нагрузки участков ВЛ 10 кВ допускается вести по значению суммарной полной мощности.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта нагрузки участков сети 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для линии ТП 32-31 варианта №1:

$$S_{P\text{ЛИН}} = \kappa_0 \cdot \sum_{i=1}^n S_{P\text{ТП}i}, \quad (8)$$

$$S_{P\text{ЛИН}} = 0,9 \cdot (591 + 1476) = 1860 \text{ кВА}.$$

где κ_0 - коэффициент одновременности, принимаемый по таблице 2 с учётом количества трансформаторов ТП, [25].

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока линии 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для линии ТП 32-31 варианта №1:

$$I_{P\text{МАКС}} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (9)$$

$$I_{P\text{МАКС}} = \frac{1860}{\sqrt{3} \cdot 10} = 108 \text{ А}.$$

Выбираем провод марки СИП-3 с длительно допустимым током 430 А, сечением 120 мм², для того чтобы он в дальнейшем прошел проверку на допустимую потерю напряжения.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта потери напряжения по линии 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для линии ТП 32-31 варианта №1:

$$\Delta U = \frac{100}{U_{ном}} \cdot \frac{1}{N_{\psi}} \cdot (P_p \cdot l \cdot r_{уд} + Q_p \cdot l \cdot x_{уд}), \quad (10)$$

$$\Delta U = \frac{100}{10} \cdot \frac{1}{1} \cdot (1464 \cdot 7 \cdot 0,288 + 1148 \cdot 7 \cdot 0,1) = 3,2\% .$$

где l – длина линии, км;

P_p – расчетная активная нагрузка линии, кВт;

Q_p – расчетная реактивная нагрузка линии, кВар;

N_{ψ} - число цепей линии;

$r_{уд}$ - удельное активное сопротивление провода, принимается по справочнику [7];

$x_{уд}$ - удельное реактивное сопротивление провода, принимается по справочнику [7];

$U_{ном}$ - номинальное напряжение сети, 10 кВ.

Основываясь на имеющейся формуле условия для проверки по допустимой потере напряжения в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для линии ТП 32-31 варианта №1:

Условие проверки на потерю напряжения:

$$\Delta U < \Delta U_{доп}, \quad (11)$$

3,2 % < 10 %,

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

Потеря напряжения не превышает 10% [5].

Вычисленные данные нагрузки линий 10 кВ оформлены как таблица 5, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю нахождения нагрузок для варианта сети 10 кВ.

Таблица 5 – Варианты сети 10 кВ

Линия	$P_{\text{сум}}$, кВт	$Q_{\text{сум}}$, кВАр	$S_{\text{сум}}$, кВА	K_0	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	I_p , А	$I_{\text{доп}}$, А	$F_{\text{СИП-3}}$, мм ²
Вариант №1										
400-732	1425	1109	1806	0,75	1069	832	1355	78	430	120
32-31	1627	1275	2067	0,90	1464	1148	1860	108	430	120
аварийный режим через фидер 33	3053	2384	3873	0,75	2289	1788	2905	168	430	120
аварийный режим через фидер 14	3053	2384	3873	0,75	2289	1788	2905	168	430	120
Вариант №2										
729-32	1618	1262	2052	0,75	1214	947	1539	89	485	150
31-400	1793	1404	2277	0,85	1524	1193	1936	112	485	150
аварийный режим через фидер 14	3053	2384	3873	0,75	2289	1788	2905	168	485	150
аварийный режим через фидер 33	3053	2384	3873	0,75	2289	1788	2905	168	485	150

Граф для расчёта сети в нормальном режиме вариантов сети 10 кВ №1 показан на рисунке 1. Разрыв кольцевого фидера 10 кВ Ф-33 от сш-1 ПС ДМ в нормальном режиме выполнен на ТП-32 2х400 кВА со стороны Ф-33. Через шины 10 кВ ТП-32 2х400 кВА Ф-33 имеет кольцевую связь с Ф-14Н от сш-2 ПС ДМ. Резервирование потребителей обеспечивается от шин 10 кВ ПС ДМ.

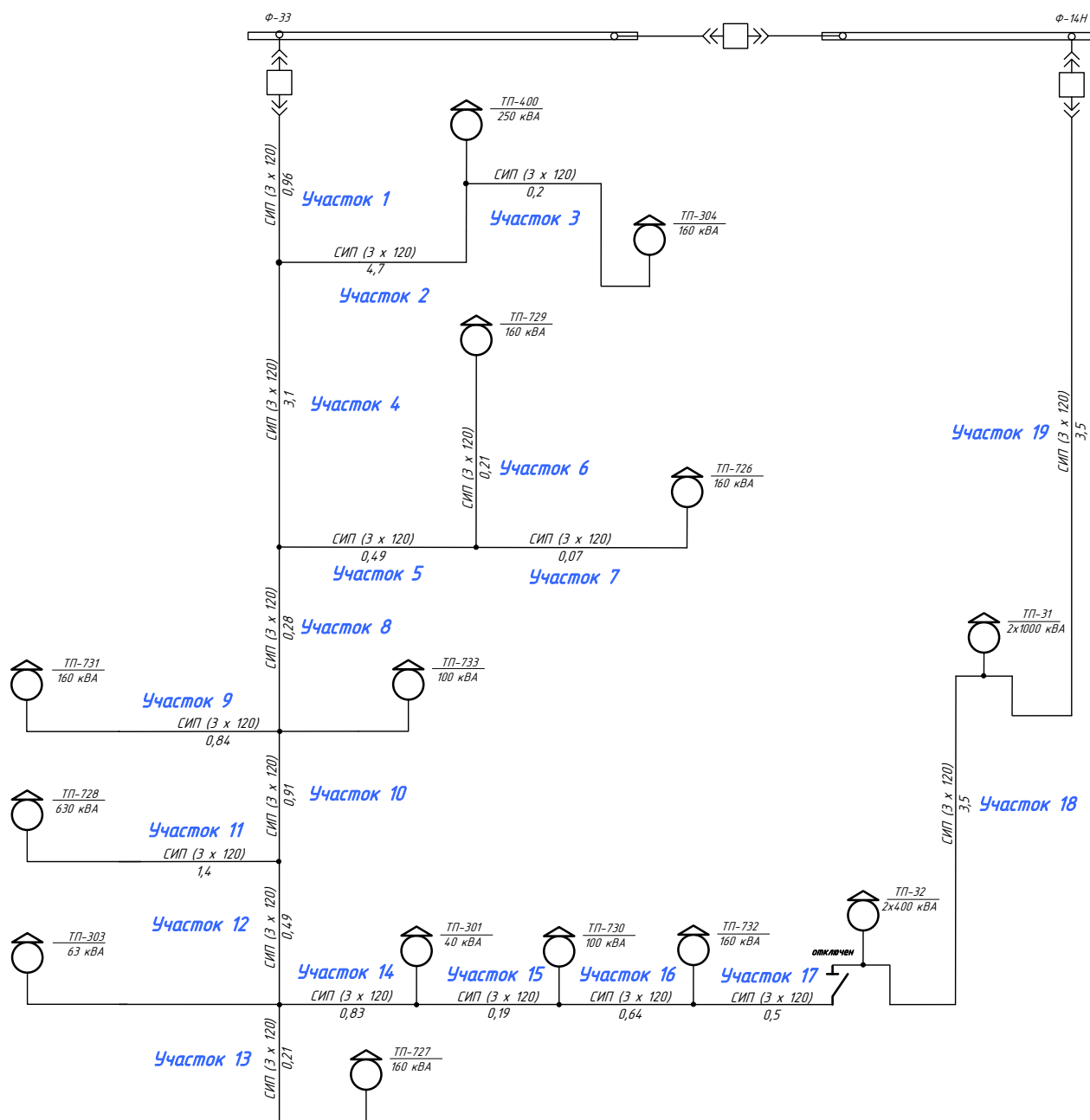


Рисунок 1 – Вариант №1 сети 10 кВ

Граф для расчёта сети в нормальном режиме вариантов сети 10 кВ №2 показан на рисунке 2. Разрыв кольцевого фидера 10 кВ Ф-33 от сш-1 ПС ДМ в нормальном режиме выполнен на ТП-400 1x250 кВА со стороны Ф-33. Через шины 10 кВ ТП-400 1x250 кВА Ф-33 имеет кольцевую связь с Ф-14Н от сш-2 ПС ДМ. Переключение потребителей на резервное питание от Ф-14Н проводится путём включения линейного разъединителя на ТП-400 1x250 кВА линейным персоналом.

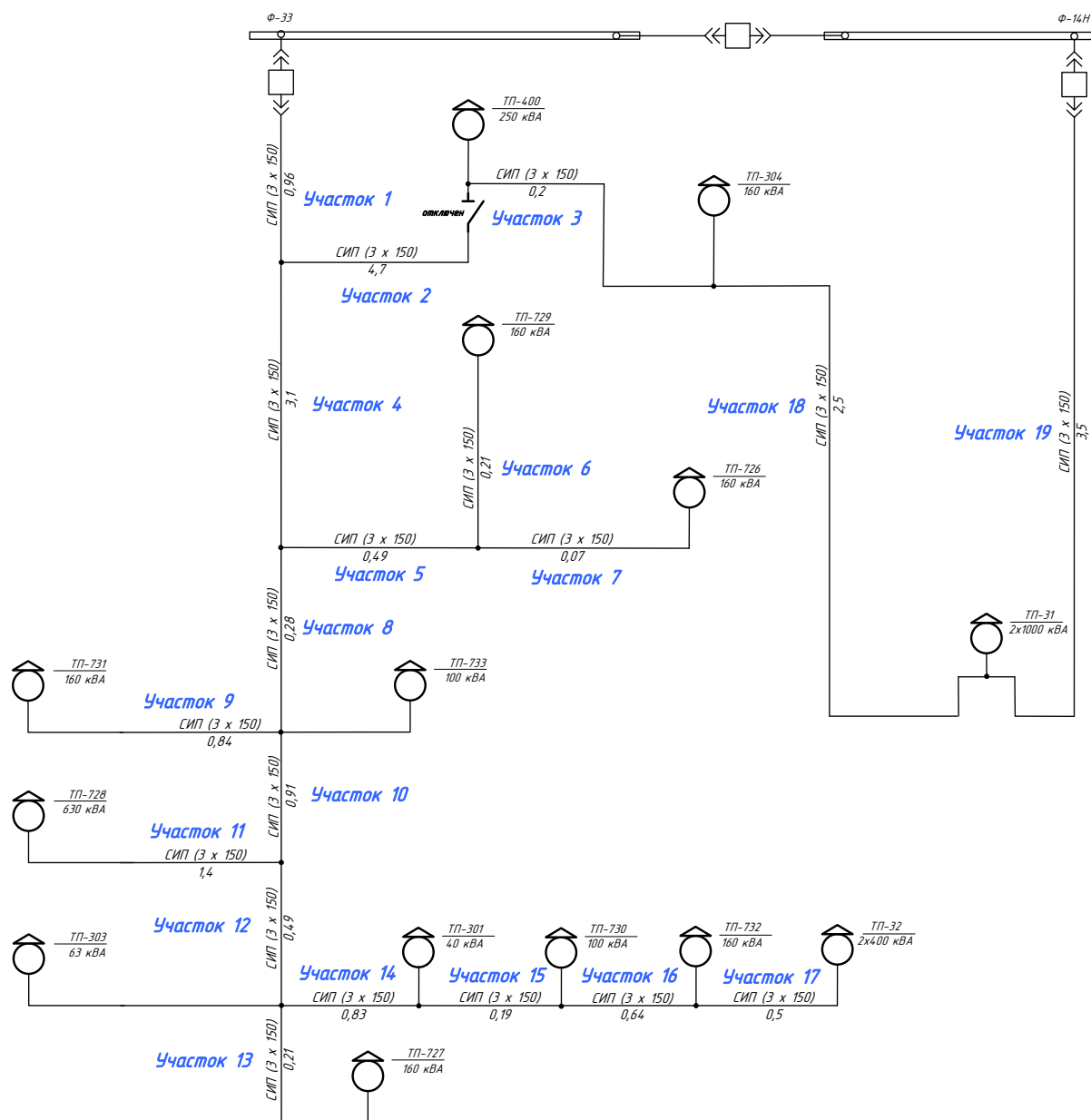


Рисунок 2 – Вариант №2 сети 10 кВ

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта потерь электроэнергии в линиях 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для линии ТП 400-732 варианта №1:

$$\Delta W_{Л} = \sum \frac{(P_{Л})^2 + (Q_{Л})^2}{U_{ном}^2} \cdot (R + i \cdot X) \cdot T, \quad (12)$$

$$\Delta W_{л} = \frac{(1069)^2 + (832)^2}{10^2} \cdot (0,288 + i \cdot 0,03) \cdot 8760 = 342624 \text{ кВтч},$$

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

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

R, X – активное и реактивное сопротивление линии, Ом;

T – число часов.

Вычисленные данные нагрузки линий 10 кВ оформлены как таблица 6, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю нахождения нагрузок для варианта сети 10 кВ.

Таблица 6 – Проверка вариантов сети 10 кВ

Линия	P_p , кВт	Q_p , кВАр	L, км	$n_{ц}$	$R_{л}$, Ом/км	$X_{л}$, Ом/км	$\Delta W_{л}$, кВтч	$\Delta U_{л}$, %
Вариант №1								
400-732	1069	832	7,4	1	0,288	0,03	342624	2,5
32-31	1464	1148	7	1	0,288	0,03	611247	3,2
аварийный режим через фидер 33	2289	1788	10,9	1	0,288	0,03	2320760	7,7
аварийный режим через фидер 14	2289	1788	13,4	1	0,288	0,03	2861561	9,6
Вариант №2								
729-32	1214	947	7,9	1	0,236	0,02	386970	2,4
31-400	1524	1193	6,2	1	0,236	0,02	480348	2,4
аварийный режим через фидер 14	2289	1788	17,8	1	0,236	0,02	3112563	10
аварийный режим через фидер 33	2289	1788	10,9	1	0,236	0,029	1901734	6,5

Для всех вариантов линии 10 кВ проверку по допустимой потере напряжения проходят, поэтому следующим расчётом выбирается вариант сети 10 кВ по приведенным затратам.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта приведенных затрат вариантов сетей 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для каждого варианта:

$$Z = E_H \cdot K + И = E_H \cdot (K_{ВЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{ВЛ} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot (\Delta W_{ВЛ}) \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

где E_H - норматив дисконтирования, 0,1;

$K_{ВЛ}$ - стоимость ВЛ [26];

$K_{ВЫКЛ}$ - стоимость выключателей [26];

C_0 – удельная стоимость потерь электроэнергии, 1,71 руб/кВт*ч [19];

A - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание

$a_{ам.выкл} = 5,9\%$, $a_{ам.ВЛЭП} = 0,5\%$ [26];

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

Вычисленные данные приведённых затрат сетей 10 кВ оформлены как таблица 7, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю нахождения нагрузок для варианта сети 10 кВ.

Таблица 7– Выбор варианта сети 10 кВ

№ Варианта		1	2
количество выключателей, шт	$N_{ВЫКЛ}$	2	2
длина линий с проводом СИП-3-120, км	$L_{пров120}$	23,02	
длина линий с проводом СИП-3-150, км	$L_{пров150}$		22,02
стоимость выключателей, тыс. руб	$C_{ВЫКЛ}$	280	280
стоимость линий с проводом СИП-3-120, тыс. руб	$C_{пров120}$	140,07	140,07
стоимость линий с проводом СИП-3-150, тыс. руб	$C_{пров150}$	166,62	166,62
стоимость потерь электроэнергии, руб/кВтч	$C_{потерь ээ}$	1,71	1,71
издержки эксплуатации линий, тыс. руб	$I_{пров экспл}$	16	18
издержки эксплуатации выключателей, тыс. руб	$I_{ВЫКЛ экспл}$	33	33
амортизация, тыс. руб	$I_{аморт}$	189	211
издержки потерь, тыс. руб	$I_{потерь ээ}$	1631	1483
приведенные затраты, тыс. руб	3	2248	2169

Разница в приведенных среднегодовых затратах составляет 4%. Выбираем вариант №2 по минимуму потерь ($I_{потерь ээ}$).

2.5 Нагрузка на шинах центра питания 10 кВ

Вектора активной и реактивной нагрузки для всех ТП, подключенных к фидерам №33 и №14Н ПС ДМ, являются сонаправленными и дальнейшие расчёты токовой нагрузки на стороне 10 кВ ПС ДМ допускается вести по значению суммарной полной мощности.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта полной мощности на шинах 10 кВ ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{p\text{ ПС}} = K_o \cdot \Sigma S_{p\text{ ТП}}; \quad (14)$$

$$S_{p\text{ ПС}} = 0,75 \cdot (210 + 135 + 135 + 135 + 135 + 85 + 530 + 53 + 135 + 34 + 85 + 135 + 591 + 1476) = 2905 \text{ кВА.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта токовой нагрузки на шинах 10 кВ ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{p\text{ МАКС}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H},$$

$$I_{p\text{ МАКС}} = 2905 / (\sqrt{3} \cdot 10) = 168 \text{ А.}$$

Вычисленные данные нагрузки стороны 10 кВ ПС ДМ оформлены как таблица 8, содержащая детальные показатели по каждой расчётной величине нагрузок.

Таблица 8 – Нагрузка ПС ДМ

$P_{\text{сум}}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{сум}}, \text{ кВАр}$	$S_{\text{сум}}, \text{ кВА}$	K_o	$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ кВАр}$	$S_p, \text{ кВА}$	$I_p, \text{ А}$
3053	2384	3873	0,75	2289	1788	2905	168

3 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ШИНАХ 10 КВ ПОДСТАНЦИИ «ДМ»

Экономически целесообразный коэффициент мощности равен 0,4 по [15], поэтому необходимо выбрать конденсаторные установки на шинах 10 кВ ПС.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта требуемой мощности компенсирующих устройств на ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления мощности КУ:

$$Q_{KV}^{TP} = Q_{расч} - P_{расч} \cdot tg\varphi_{ТРЕБ}; \quad (15)$$

$$Q_{KV}^{TP} = 1788 - 2289 \cdot 0.4 = 872 \text{ кВАр},$$

где $tg\varphi_{ТРЕБ}$ - требуемое значение коэффициента мощности, принимается 0,4 по [15].

На ПС «ДМ» производится установка батарей конденсаторов 2хУКЛ-10-450УХЛ-1 мощностью 450 кВАр на каждую секцию шин $Q_{KV} = 450$ кВА.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта реактивной мощности на ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления нагрузки:

$$Q_{HECK} = Q_{расч} - Q_{KV}; \quad (16)$$

$$Q_{HECK} = 1788 - 900 = 888 \text{ кВАр}.$$

Для дальнейшего выбора мощности трансформатора принимается некомпенсированная реактивная мощность 888 кВАр.

4 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПОДСТАНЦИИ «ДМ»

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта средней активной мощности для проверки загруженности трансформаторов на ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления нагрузки:

$$P_{CP} = P_{расч\ 10кВ} + P_{ср\ рез\ 10кВ}, \quad (17)$$

$$P_{CP} = 2,289 + 1,64 = 3,929 \text{ МВт},$$

где $P_{расч\ 10кВ}$ - расчётная активная нагрузка на стороне 10 кВ, МВт;

$P_{ср\ рез\ 10кВ}$ - резервная средняя активная нагрузка по стороне 10 кВ от кольцевых фидеров ПС «ДМ» по результатам замера 2021 года - 1,64 МВт;

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта средней реактивной мощности для проверки загруженности трансформаторов на ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления нагрузки:

$$Q_{CP} = Q_{неск\ 10кВ} = 0,888 \text{ Мвар}, \quad (18)$$

где $Q_{неск\ 10кВ}$ - некомпенсированная реактивная нагрузка на стороне 10 кВ, Мвар.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта средней полной мощности для проверки загруженности трансформаторов на ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления нагрузки:

$$S_{CP} = \sqrt{(P_{CP})^2 + (Q_{CP})^2}, \quad (19)$$

$$S_{CP} = \sqrt{3,929^2 + 0,888^2} = 4,028 \text{ МВА} ,$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта коэффициента загрузки трансформатора в нормальном режиме на ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления нагрузки:

$$K_3 = \frac{S_{CP}}{2 \cdot S_{тр ном}} , \quad (20)$$

$$K_3 = \frac{4,028}{2 \cdot 4} = 0,5 ,$$

где $S_{тр ном}$ - номинальная мощность силовых трансформаторов на ПС «ДМ», на ПС установлены 2 трансформатора 4 МВА.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта коэффициента загрузки трансформатора в послеаварийном режиме на ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления нагрузки:

$$K_3 = \frac{S_{CP}}{S_{тр ном}} ; \quad (21)$$

$$K_3 = \frac{4,028}{4} = 1 .$$

Трансформаторы загружены оптимально.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

5.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Расчётные величины токов КЗ используются для проверки выбираемых аппаратов по условиям стойкости, выбора уставок релейной защиты и автоматики. Для оценки значения токов КЗ в сети в целом, рассчитываем токи КЗ в характерных точках сети 10 кВ на ближней и дальней ТП на каждом луче, согласно рисунку 3.

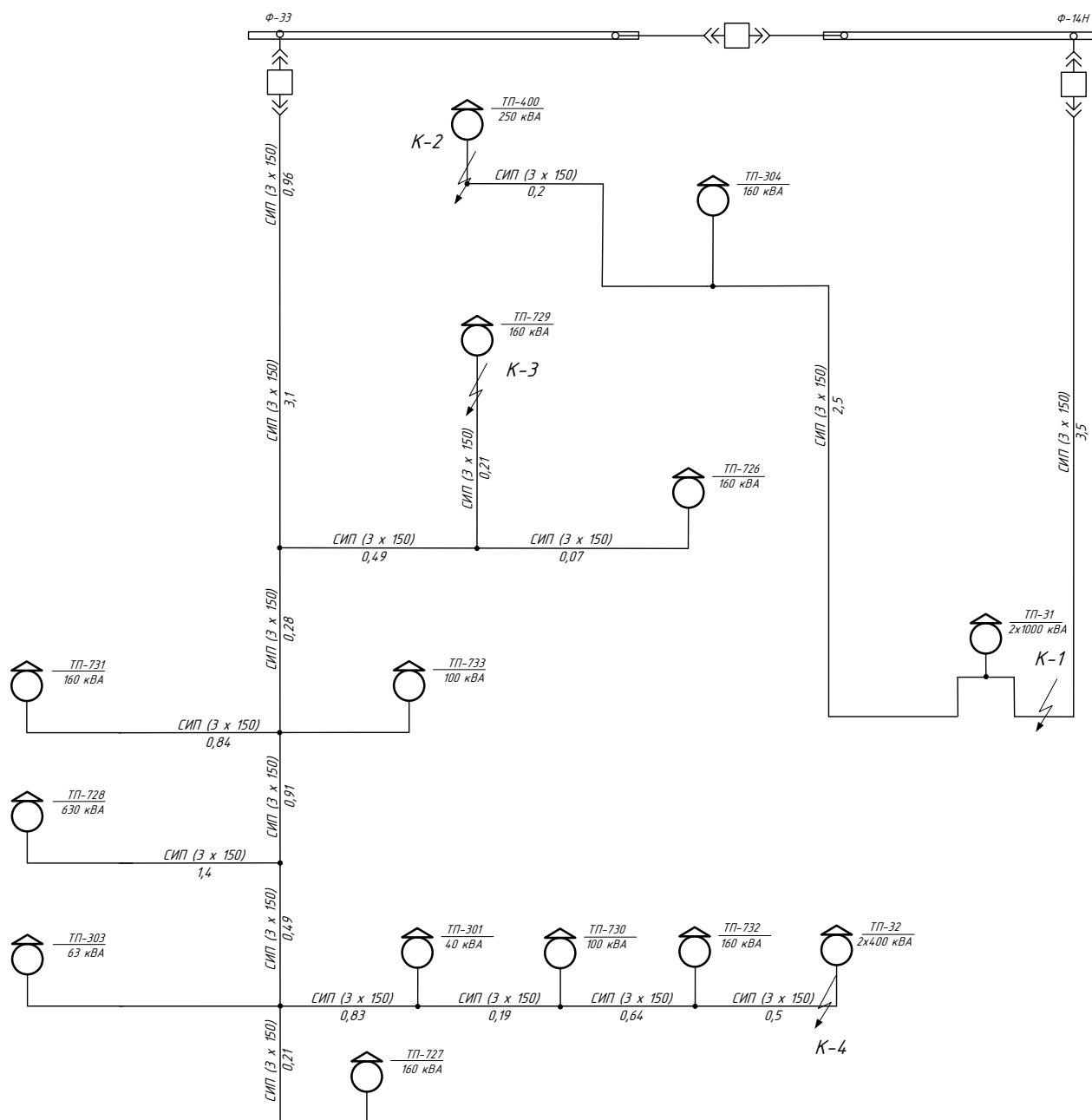


Рисунок 3 – Точки КЗ в сети 10 кВ

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта сопротивления системы в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в именованных единицах:

$$X_C = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{отк}}; \quad (22)$$

$$X_C = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0.607 \text{ Ом};$$

где $I_{отк}$ – отключающая способность предохранителя 10 кВ, 10 кА, [23].

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта сопротивления участков проводов для точки К-1 (ТП-31) в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в именованных единицах:

$$X_L = x_{y\delta} \cdot L; \quad (23)$$

$$R_L = r_{y\delta} \cdot L, \quad (24)$$

$$X_{L \text{ ТП-31}} = 0,1 \cdot 3,5 = 0,35 \text{ Ом};$$

$$R_{L \text{ ТП-31}} = 0,236 \cdot 3,5 = 0,83 \text{ Ом},$$

где $r_{y\delta}$, $x_{y\delta}$ – удельное активное и реактивное сопротивление провода, реактивной частью полного сопротивления пренебрегаем, Ом/км;

L – длина участка провода, км.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в именованных единицах:

$$I_{noIII-31} = \frac{U_{CPHH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}}; \quad (25)$$

$$I_{noIII-31} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,607 + 0,35)^2 + 0,83^2}} = 5,92 \text{ кА.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока двухфазного короткого замыкания в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в именованных единицах:

$$I_{noIII-31}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{noIII-31}^{(3)}; \quad (26)$$

$$I_{noIII-31}^{(2)} = 0,87 \cdot 5,92 = 5,15 \text{ кА.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта постоянной затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в именованных единицах:

$$T_{III-31} = \frac{X_{\Sigma III-31}}{R_{\Sigma III-31} \cdot 314}; \quad (27)$$

$$T_{III-31} = \frac{0,607 + 0,35}{0,83 \cdot 314} = 0,004 \text{ с.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта коэффициента затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в относительных единицах:

$$K_{y\partial\Pi\Pi-31} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{\Pi\Pi-31}}}; \quad (28)$$

$$K_{y\partial\Pi\Pi-31} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,004}} = 1,07 .$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта ударного тока короткого замыкания в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в именованных единицах:

$$i_{y\partial\Pi\Pi-31} = K_{y\partial\Pi\Pi-31} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{но}\Pi\Pi-31}; \quad (29)$$

$$i_{y\partial\Pi\Pi-31} = 1,07 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,92 = 8,9 \text{ кА}.$$

Вычисленные данные токов КЗ в сетях 10 кВ оформлены как таблица 9, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю нахождения токов КЗ для сети 10 кВ.

Таблица 9 – Токи КЗ в сети 10 кВ

Линия	L, км	R _{экв} , Ом	Z _{экв} , Ом	I ⁽³⁾ _{по} , кА	I ⁽²⁾ _{по} , кА	T, с	K _{уд}	I _{уд} , кА
Φ-33								
ближняя ТП 729	4,06	0,96	1,13	5,35	4,66	0,003	1,05	8,0
дальняя ТП 32	7,90	1,86	1,96	3,10	2,69	0,002	1,02	4,4
Φ-14Н								
ближняя ТП 31	3,5	0,83	1,03	5,92	5,15	0,004	1,07	8,9
дальняя ТП 400	6,2	1,46	1,58	3,83	3,33	0,003	1,02	5,5

5.2 Расчет токов короткого замыкания на подстанции «ДМ»

Для определения токов КЗ на ПС «ДМ» воспользуемся имеющейся информацией о токах КЗ на шинах 35 кВ ПС «Левобережная», согласно рисунку 4.

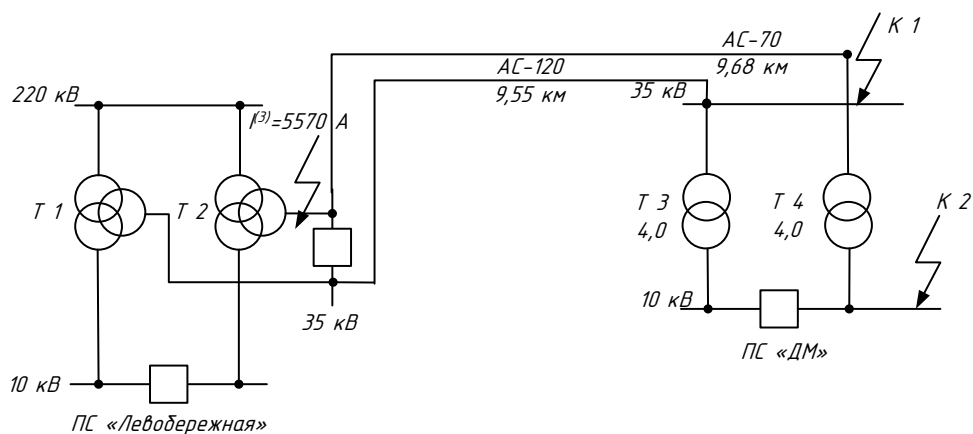


Рисунок 4 – Схема участка сети

Расчет выполнен в относительных единицах с приближенным приведением. В качестве основной ступени выбираем напряжение 35 кВ (линия и сторона ВН ПС «ДМ»).

Базисные условия приведены ниже:

$$S_B = 4 \text{ МВА};$$

$$U_{B1} = 37 \text{ кВ};$$

$$U_{B2} = 10 \text{ кВ}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта базисного тока ступени КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в именованных единицах:

$$I_{B1} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B1}}; \quad (30)$$

$$I_{B1} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 37} = 0,06 \text{ кА};$$

$$I_{B2} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B2}};$$

$$I_{B2} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,22 \text{ кА} .$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта сопротивления трансформаторов на ПС «ДМ» в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в относительных единицах:

$$X_{T3-4} = \frac{U_{K\%} \cdot S_B}{100 \cdot S_{НОМТР} \cdot n}, \quad (31)$$

$$X_{T3-4} = \frac{7,5 \cdot 4}{100 \cdot 4 \cdot 2} = 0,0375 \text{ о.е.}$$

где U_K - напряжение короткого замыкания для трансформатора на ПС «ДМ», 7,5 %;

$S_{НОМТР}$ - номинальная мощность трансформатора на ПС «ДМ», 4 МВА;

n - количество трансформаторов на ПС «ДМ», для получения максимального уровня токов КЗ необходимо учесть всё оборудование которое может находиться в работе, 2.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта сопротивления системы на ПС «ДМ» в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в относительных единицах:

$$X_{СИСТ} = \frac{I_B}{I_K}; \quad (32)$$

$$X_{СИСТ} = \frac{0,06}{5,57} = 0,011 \text{ о.е.};$$

где I_B - базисный ток первой ступени, так как исходные данные для расчёта приведены для первой ступени, кА;

I_K - ток трёхфазного КЗ на шинах 35 кВ питающей подстанции «Левобережная», согласно замерам $I_K = 5,57$ кА.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта сопротивления линий 35 кВ на ПС «ДМ» в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в относительных единицах:

$$X_{Л120} = X_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_B^2} \quad (33)$$

$$X_{Л120} = 0,41 \cdot 9,55 \cdot \frac{4}{37^2} = 0,011 \text{ о.е.}$$

$$X_{Л70} = X_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_B^2}$$

$$X_{Л70} = 0,43 \cdot 9,68 \cdot \frac{4}{37^2} = 0,012 \text{ о.е.}$$

$$X_{Л} = \frac{X_{Л120} \cdot X_{Л70}}{X_{Л120} + X_{Л70}} \quad (34)$$

$$X_{Л} = \frac{0,011 \cdot 0,012}{0,011 + 0,012} = 0,006 \text{ о.е.}$$

где L - длина линии, км;

$X_{уд}$ - удельное сопротивление линии с проводом АС-120, принимаем $X_{уд} = 0,41$, сопротивление линии с проводом АС-70, принимаем $X_{уд} = 0,43$ Ом/км.

В соответствии с рисунком 4, имеем схему замещения данной сети на рисунке 5.

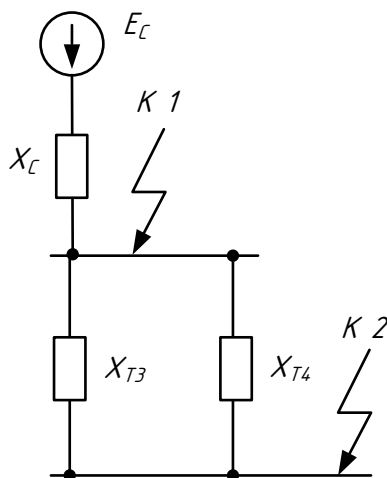


Рисунок 5 – Схема замещения участка сети

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока трехфазного КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления в именованных единицах:

$$I_{П0К1} = \frac{E_C \cdot I_{Б1}}{X_{СИСТ} + X_L}; \quad (35)$$

$$I_{П0К1} = \frac{1 \cdot 0,06}{0,011 + 0,006} = 3,7 \text{ кА};$$

$$I_{П0К2} = \frac{E_C \cdot I_{Б2}}{X_{СИСТ} + X_L + X_{Т3-4}}; \quad (36)$$

$$I_{П0К2} = \frac{1 \cdot 0,22}{0,011 + 0,006 + 0,0375} = 4 \text{ кА}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта апериодической составляющей тока трехфазного КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{IIO}. \quad (37)$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта ударного тока КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{IIO} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}}\right). \quad (38)$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$T_a = \frac{X}{\omega \cdot R}; \quad (39)$$

где X и R - соответственно реактивное и активное сопротивление ветви прямой последовательности;

ω - синхронная угловая частота напряжения сети, $\omega = 314, c^{-1}$.

Для упрощения расчетов принимаем по [8] T_a для стороны 35 кВ – 0,02, для стороны 10 кВ – 0,01.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

Вычисленные данные токов КЗ на шинах ПС «ДМ» оформлены как таблица 10, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю нахождения токов КЗ.

Таблица 10 - Токи КЗ на шинах ПС «ДМ»

Точка КЗ	$X_{\text{сист}}$	$X_{\text{ВЛ}}$	X_{T}	X_{Σ}	$I_{\text{по}}^{(3)}, \text{кА}$	$i_a, \text{кА}$	$T_a, \text{с}$	$K_{\text{уд}}$	$I_{\text{уд}}, \text{кА}$
К1	0,011	0,006		0,0171	3,7	5,2	0,020	1,6	8,3
К2	0,011	0,006	0,0375	0,0546	4,0	5,7	0,010	1,4	7,9

6 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ КОМПЛЕКТНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

6.1 Выбор комплектного распределительного устройства

На стороне НН ПС ДМ устанавливаем КРУ СЭЩ-70-10, [14].

Основываясь на имеющейся формуле для выбора КРУ 10 кВ по напряжению установки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (40)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора КРУ 10 кВ по длительному току в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{рмах} \leq I_{ном}, \quad (41)$$

$$168 \text{ А} \leq 630 \text{ А},$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки КРУ 10 кВ по термической устойчивости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$B_K = I_{но}^{(3)2} \cdot (t_{отк} + T_a + t_{сел}); \quad (42)$$

$$B_K = 4^2 \cdot (0.045 + 0.01 + 1,5) = 25 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{\text{КНОМ}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}; \quad (43)$$

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

где $t_{\text{отк}}$ - собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЩ-10/630 УХЛ-2, 0.045 с;

$t_{\text{сел}}$ - ступени селективности, 1,5 с;

$I_{\text{терм}}$ - ток термической стойкости КРУ СЭЩ-70-10, 20 кА;

$t_{\text{терм}}$ - время термической стойкости КРУ СЭЩ-70-10, 4 с.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки КРУ 10 кВ по динамической устойчивости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}; \quad (44)$$

$$32 \text{ кА} \geq 7,9 \text{ кА}.$$

Вычисленные данные по выбору КРУ 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 11, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю выбора и проверки.

Таблица 11 – Выбор КРУ 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 32 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{вкл}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{откл}} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 168 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 7,9 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 25 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{по}} = 4 \text{ кА}$ $I_{\text{пт}} = 4 \text{ кА}$ $i_{\text{ат}} = 5,7 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$ $I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{пт}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{ат}}$

КРУ типа СЭЩ-70-10 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.2 Выбор выключателей 10 кВ

На стороне 10 кВ ПС «ДМ» выбираем вакуумные выключатели ВВУ-СЭЩ-10/630 УХЛ-2.

Основываясь на имеющейся формуле для выбора вводных выключателей 10 кВ по напряжению установки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$U_{уст} \leq U_{ном} ;$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора вводных выключателей 10 кВ по длительному току в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{рмах} \leq I_{ном},$$

$$168 \text{ А} \leq 630 \text{ А},$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора вводных выключателей 10 кВ по отключающей способности в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{по} \leq I_{откл ном}; \tag{45}$$

$$4 \text{ кА} \leq 12,5 \text{ кА}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки вводных выключателей 10 кВ по термической устойчивости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$B_K = I_{no}^{(3)2} \cdot (t_{отк} + T_a + t_{сел});$$

$$B_K = 4^2 \cdot (0.045 + 0.01 + 1,5) = 25 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

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

где $t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЩ-10/630 УХЛ-2, 0.045 с;

$t_{сел}$ - ступени селективности, 1,5 с;

$I_{терм}$ - ток термической стойкости выключателя ВВУ-СЭЩ-10/630 УХЛ-2, 20 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости выключателя ВВУ-СЭЩ-10/630 УХЛ-2, 4 с.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки вводных выключателей 10 кВ по динамической устойчивости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$i_{скв} \geq i_{уд};$$

$$32 \text{ кА} \geq 7,9 \text{ кА}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки вводных выключателей 10 кВ по отключению апериодической составляющей тока КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{ном откл}; \tag{46}$$

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

$$i_{a.ном} \geq i_{at};$$

$$11,31 \text{ кА} \geq 5,7 \text{ кА}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки вводных выключателей 10 кВ по отключению полного тока КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\sqrt{2} \cdot I_{но.ПС}^{(3)} + i_{atПС} \leq \sqrt{2} \cdot I_{номотк} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right); \quad (47)$$

$$\sqrt{2} \cdot 4 + 5,7 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0.40}{100}\right);$$

$$11,34 \leq 39.59 \text{ кА};$$

где β_H – номинальное значение для ВВУ-СЭЩ-10/630 УХЛ-2, 40%;

$I_{ном откл}$ – номинальный ток отключения.

Вычисленные данные по выбору вводных и секционному выключателей 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 12, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю выбора и проверки.

Таблица 12 – Выбор вводных и секционному выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $В_{к.ном} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{вкл} = 12.5 \text{ кА}$ $I_{откл} = 12.5 \text{ кА}$ $i_{a.ном} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 168 \text{ А}$ $i_{y0} = 7,9 \text{ кА}$ $В_{к.} = 25 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 4 \text{ кА}$ $I_{пт} = 4 \text{ кА}$ $i_{at} = 5,7 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{y0}$ $В_{к.ном} \geq В_{к.}$ $I_{вкл} \geq I_{по}$ $I_{откл} \geq I_{пт}$ $i_{a.ном} \geq i_{at}$

Вычисленные данные по выбору линейных выключателей 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 13, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю выбора и проверки.

Таблица 13 – Выбор линейных выключателей 10 кВ Ф-14Н, Ф-33

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{вкл} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{а.ном} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 112 \text{ А}$ $I_{рmax} = 89 \text{ А}$ $i_{уд} = 7,9 \text{ кА}$ $B_{к.} = 25 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 4 \text{ кА}$ $I_{пт} = 4 \text{ кА}$ $i_{ат} = 5,7 \text{ кА}$	$U_{уст} \geq U_{ном}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$ $I_{вкл} \geq I_{по}$ $I_{откл} \geq I_{пт}$ $i_{а.ном} \geq i_{ат}$

Выключатели типа ВВУ-СЭЦ-10/630 УХЛ-2 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.3 Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Выбираем трансформаторы напряжения НАМИ-10У3 по [14].

Основываясь на имеющейся формуле для выбора трансформаторов напряжения 10 кВ по напряжению установки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта нагрузки вторичных цепей трансформаторов напряжения 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}, \quad (48)$$

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

Вычисленные данные по расчёту нагрузки вторичных цепей трансформаторов напряжения 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 16, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 16 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор	Тип	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Количество приборов	Cos φ	Sin φ	Общая потребляемая мощность	
						P, Вт	Q, В*А
Вольтметр	BE-210	2	1	1	0	2	-
Ваттметр	PE-210	1,5	2	1	0	3	-
Счетчик АЭ	CE-2085	5 ВА	5	0.38	0.925	9,5	23
Счетчик РЭ		5 ВА	5	0.38	0.925	9,5	23
Итого	-	-	-	-	-	24	46

Основываясь на имеющейся формуле для выбора трансформаторов напряжения 10 кВ по вторичной нагрузке в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}, \quad (49)$$

$$52 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА},$$

где $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора напряжения НАМИ-10У3, 75 ВА;

$S_{2\Sigma}$ - нагрузка вторичной цепи трансформатора напряжения, ВА.

Вычисленные данные по выбору и проверке трансформаторов напряжения 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 14, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 14 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $S_P = 52 \text{ ВА}$ (для класса точности 0,5)	$U_{HT} = 10 \text{ кВ}$ $S_H = 75 \text{ ВА}$	$U_{HT} \geq U_H$ $S_H \geq S_P$

Трансформаторы напряжения НАМИ-10У3 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.4 Выбор трансформаторов тока 10 кВ

Выбираем трансформаторы тока ТОЛ 10-У3 по [14].

Основываясь на имеющейся формуле для выбора трансформаторов тока 10 кВ по напряжению установки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта нагрузки приборов вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}; \tag{50}$$

$$r_{приб} = \frac{1.65}{5^2} = 0.066 \text{ Ом},$$

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

I_2 – вторичный номинальный ток, 5 А.

Вычисленные данные по расчёту нагрузки вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 15, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 15 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр	АЕ-210	0.5	-	0.5
Счетчик АЭ и РЭ	СЕ-2085	0.15	-	0.15
Ваттметр	РЕ-210	0.5	-	0.5
Варметр	РЕ-210	0.5	-	0.5
Итого		1.65	-	1.65

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта сопротивления проводов вторичной цепи трансформаторов тока 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}; \quad (51)$$

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

где ρ - сопротивление провода на площадь сечения, 0,0283 Ом*м/мм²;

l - длина проводов, 5 м.

q – сечение провода, 4 мм².

Основываясь на имеющейся формуле для выбора трансформаторов тока 10 кВ по вторичной нагрузке в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}; \quad (52)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.035 + 0.066 = 0.201 \text{ Ом},$$

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

Основываясь на имеющейся формуле для выбора трансформаторов тока 10 кВ по номинальной вторичной нагрузке в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}; \quad (53)$$

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

где S_{2H} - мощность вторичной обмотки, 12.5 ВА.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки трансформаторов тока 10 кВ по вторичной нагрузке в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$r_2 \leq r_{2\text{НОМ}}, \quad (54)$$

$$0,201 \text{ Ом} \leq 0.4 \text{ Ом};$$

где r_2 – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$r_{2\text{НОМ}}$ – номинальная нагрузка трансформатора тока ТОЛ 10-У3.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки трансформаторов тока 10 кВ по термической устойчивости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$B_K = I_{\text{но}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{отк}} + T_a + t_{\text{сел}});$$

$$B_K = 4^2 \cdot (0.045 + 0.01 + 1,5) = 25 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

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

где $t_{\text{отк}}$ - собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЩ-10/630 УХЛ-2, 0.045 с;

$t_{\text{сел}}$ - ступени селективности, 1,5 с;

$I_{\text{терм}}$ - ток термической стойкости трансформатора тока ТОЛ 10-УЗ, 10 кА;

$t_{\text{терм}}$ - время термической стойкости трансформатора тока ТОЛ 10-УЗ, 3 с.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки трансформаторов тока 10 кВ по динамической устойчивости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}};$$

$$12,5 \text{ кА} \geq 7,9 \text{ кА}.$$

Вычисленные данные по выбору и проверке трансформаторов тока 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 16, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 16 – Выбор трансформатора тока 10 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{Н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{Н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{Н}} \geq U_{\text{Р}}$
$I_{\text{Н}} = 200 \text{ А}$	$I_{\text{Р}} = 168 \text{ А}$	$I_{\text{Н}} \geq I_{\text{Рmax}}$
$Z_{2\text{Н}} = 0.4 \text{ Ом}$ (для класса точности 0.5)	$Z_{\text{Нр}} = 0.201 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{Н}} \geq Z_{\text{Нр}}$
$B_{\text{КН}} = 300 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{Кр}} = 25 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{КН}} \geq B_{\text{Кр}}$
$I_{\text{ДИН}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{УД}} = 7,9 \text{ кА}$	$I_{\text{ДИН}} \geq I_{\text{УД}}$

На отходящих присоединениях устанавливаем ТТ той же марки. Выбор ведётся аналогично, параметры ТТ показаны в таблице 17.

Таблица 17 – Трансформаторы тока в КРУ

№ фидера	I_P, A	I_H, A	$B_{кр}, \text{кА}^2\text{с}$	$B_{кн}, \text{кА}^2\text{с}$	$I_{уд}, \text{кА}$	$I_{дин}, \text{кА}$
Ф-33	89	100	25	300	7,9	12,5
Ф-14Н	112	150	25	300	7,9	20

Трансформаторы тока ТОЛ 10-У3 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.5 Выбор ограничителей перенапряжений 10 кВ

На стороне НН трансформаторов приняты ОПН марки ОПН – РВ/TEL У1 с классом напряжения 10 кВ.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта энергии поглощения ОПН в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\mathcal{E} = \frac{U - U_{ост}}{z} \cdot U_{ост} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \quad (55)$$

$$\mathcal{E} = \frac{60 - 43}{0,485} \cdot 100 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^{-9} \cdot 20 = 0,0011 \text{ кВт.}$$

где U - величина неограниченного перенапряжения, 60 кВ;

$U_{ост}$ - остающееся напряжение ОПН, 43 кВ;

z - волновое сопротивление провода, 0,485 Ом;

n - количество последовательных токовых импульсов;

T - время распространения волны.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта времени распространения волны ОПН в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$T = \frac{l}{v}, \quad (56)$$

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

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

где v - скорость распространения волны, м/с.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта удельной энергоёмкости ОПН в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{\text{номОПН}}}. \quad (57)$$

$$\mathcal{E}^* = \frac{0,0011}{10} = 0,00011 \text{ кВт/кВ}.$$

6.6 Выбор трансформаторов собственных нужд 10 кВ

Для расчёта мощности ТСН на ПС «ДМ» необходимо перечислить потребителей собственных нужд (рисунок 6).

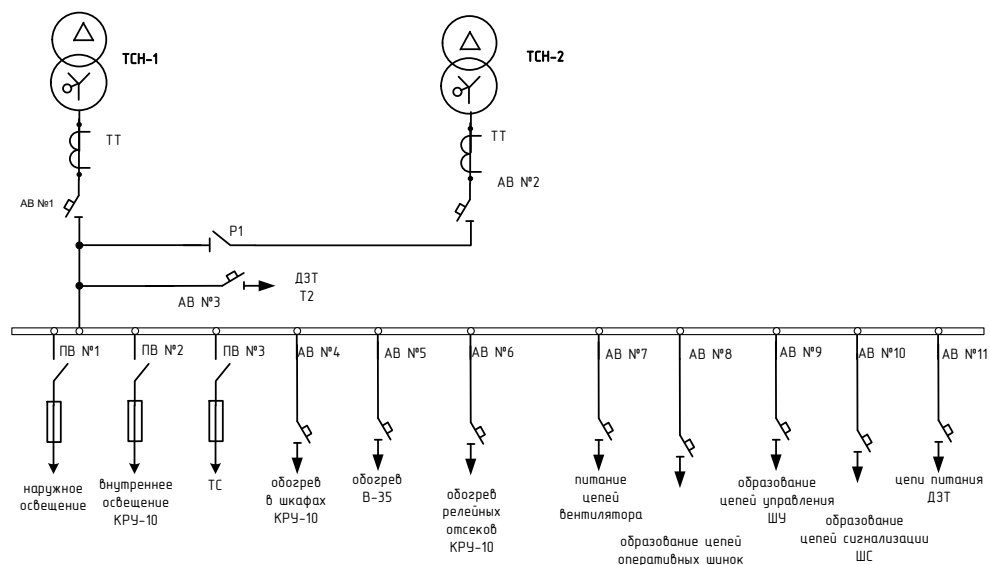


Рисунок 6 – Схема собственных нужд ПС «ДМ»

Вычисленные данные по выбору потребителей СН на ПС «ДМ» оформлены как таблица 18, содержащая детальные показатели по каждому расчётному потребителю.

Таблица 18 – Потребители СН

Потребители собственных нужд	Руст, кВт	$tg\varphi$	Qуст, кВт	Sуст, кВт
наружное освещение	2	0,7	1,4	2,4
внутреннее освещение КРУ-10	1	0,17	0,17	1,0
телесигнализация	10	0,3	3	10,4
Обогрев в шкафах КРУ-10	14*2=28	0,2	5,6	28,6
Обогрев В-35	3,6	0,5	1,8	4,0
Обогрев релейных отсеков КРУ-10	14*2=28	0,2	5,6	28,6
Питание цепей вентилятора	5	0,8	4	6,4
образование цепей оперативных шинок	5	0,3	1,5	5,2
Образование цепей управления ШУ	5	0,3	1,5	5,2
Образование цепей сигнализации ШС	5	0,3	1,5	5,2
цепи питания РНТ	5	0,3	1,5	5,2
Итого	97,6		27,57	102,3

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта мощности трансформаторов собственных нужд в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_T = \frac{S_{уст} \cdot K_c}{K_{II}}; \quad (58)$$

$$S_T = \frac{102,3 \cdot 0,8}{1,4} = 58,5 \text{ кВА.}$$

где K_c - коэффициент спроса, 0,8;

K_{II} - коэффициент допустимой аварийной перегрузки, 1,4.

Основываясь на имеющейся формуле для выбора мощности трансформаторов собственных нужд в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{T_{ном}} \geq S_{T_{ном}},$$

$$63 \text{ кВА} \geq 58,5 \text{ кВА}$$

Выбран ТМ-63/10.

6.7 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов собственных нужд 10 кВ

Для защиты трансформатора собственных нужд примем следующий тип предохранителя: ПК001-10-10УЗ.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока максимального режима трансформаторов собственных нужд в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{тсн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (59)$$

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{1,4 \cdot 63}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,1 \text{ А}$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора предохранителей 10 кВ по напряжению установки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

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

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора предохранителей 10 кВ по длительному току в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{pmax} \leq I_{ном},$$

$$5,1 \text{ A} \leq 10 \text{ A},$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора предохранителей 10 кВ по отключающей способности в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{по} \leq I_{откл ном};$$

$$4 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

Вычисленные данные по выбору и проверке предохранителей ТСН 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 19, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 19 – Выбор предохранителей ТСН

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 10 \text{ А}$ $I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{pmax} = 5,1 \text{ А}$ $I_{по} = 4 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{pmax}$ $I_{откл} \geq I_{по}$

Предохранители ПК001-10-10У3 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.8 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов напряжения 10 кВ

Для защиты трансформатора напряжения примем следующий тип предохранителя: ПKN001-10-10У3.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока максимального режима трансформаторов напряжения в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{S_{\text{тн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 10} = 4,3 \text{ А}$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора предохранителей 10 кВ по напряжению установки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

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

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора предохранителей 10 кВ по длительному току в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{\text{рмах}} \leq I_{\text{ном}},$$

$$4,3 \text{ А} \leq 10 \text{ А.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора предохранителей 10 кВ по отключающей способности в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

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

$$4 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА.}$$

Вычисленные данные по выбору и проверке предохранителей ТН 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 20, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 20 – Выбор предохранителей ТН

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 10 \text{ А}$ $I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 4,3 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 4 \text{ кА}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{по}}$

Предохранители ПКН001-10-10У3 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.9 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ

В КРУ СЭЩ-70-10 использованы алюминиевые шины прямоугольного сечения $60 \times 8 \text{ мм}^2$, марки АДО.

Основываясь на имеющейся формуле для выбора шин 10 кВ по длительному току в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{доп}}.$$

$$168 \text{ А} \leq 1025 \text{ А}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки шин 10 кВ по условию термической стойкости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}; \tag{60}$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{25 \cdot 10^3}}{91} = 55 \text{ мм}^2.$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки шин 10 кВ по условию превышения частоты собственных колебаний выше 200 Гц в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (61)$$

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{14,4}{480}},$$

$$0,45 \text{ м} \leq 2 \text{ м};$$

где l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, 0.45 м;

q - поперечное сечение шины, равное 4.8 см^2 ;

J - момент инерции шины.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта момента инерции шин 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (62)$$

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

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта напряжения в материале шин 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{УД}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}; \quad (63)$$

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{7900^2 \cdot 1.2^2}{0.64 \cdot 0.8} = 3 \text{ МПа},$$

где W - момент сопротивления шины, см^3 ,

a - расстояние между фазами, м;

l - длина пролета между опорными изоляторами, м.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта момента сопротивления шин 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}; \quad (64)$$

$$W = \frac{0.8^2 \cdot 6}{6} = 0.64 \text{ см}^3;$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки допустимого напряжения в материале шин 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}, \quad (65)$$

$$3 \text{ МПа} < 75 \text{ МПа}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки разрушающего напряжения в материале шин 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\sigma_{доп} \leq 0.7 \sigma_{разр}, \quad (66)$$

$$3 \text{ МПа} \leq 0.7 \cdot 130 = 91 \text{ МПа}.$$

Условия механической прочности соблюдены.

Вычисленные данные по выбору и проверке шин 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 21, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 21 – Выбор жёстких шин 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{\max} = 168 \text{ А}$ $\sigma_{\text{расч}} = 3 \text{ МПа}$ $q_{\min} = 1,7 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$ $\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$ $q = 480 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\max}$ $\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{расч}}$ $q \geq q_{\min}$

Шины прямоугольного сечения АДО-60×8 мм² проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.10 Выбор опорных изоляторов 10 кВ

Выбираем опорные изоляторы марки ИОС -10-300 УХЛ.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта нагрузки на головку изолятора 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_{\text{уд}}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}; \quad (67)$$

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \frac{7900^2 \cdot 1.2}{0.8} \cdot 10^{-7} = 16,2 \text{ Н.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта допустимой нагрузки на головку изолятора 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$F_{\text{доп}} = 0.6 \cdot F_{\text{разр}}, \quad (68)$$

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

Вычисленные данные по выбору и проверке опорных изоляторов 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 22, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 22 – Выбор опорных изоляторов 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_p = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$
$F_{\text{расч}} = 16,2 \text{ Н}$	$F_{\text{доп}} = 1800 \text{ Н}$	$F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}$

Опорные изоляторы ИОС -10-300 УХЛ проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.11 Выбор проходных изоляторов 10 кВ

Выбираем проходные изоляторы марки ИП-10/630-750 УХЛ1.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта допустимой нагрузки на головку изолятора 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$F_{\text{доп}} = 0.6 \cdot F_{\text{расч}}, \quad (69)$$

$$F_{\text{доп}} = 0.6 \cdot 750 = 450 \text{ Н.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора проходных изоляторов 10 кВ по длительному току в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (70)$$

$$168 \text{ А} \leq 630 \text{ А.}$$

Вычисленные данные по выбору и проверке проходных изоляторов 10 кВ на ПС «ДМ» оформлены как таблица 23, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 23 – Выбор проходных изоляторов

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_p = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ	$U_n \geq U_p$
$F_{расч} = 16,2$ Н	$F_{доп} = 450$ Н	$F_{доп} \geq F_{расч}$
$I_p = 168$ А	$I_n = 630$ А	$I_n \geq I_p$

Проходные изоляторы ИП-10/630-750 УХЛ1 проходят по всем условиям

6.12 Проверка проводов СИП-3 на воздействие токов короткого замыкания

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта термически стойкого к токам КЗ сечения линий 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 31:

$$F_T = \frac{I_{КЗ} \cdot \sqrt{t_{отк} + T_a + t_{сел}}}{K_T}, \quad (71)$$

$$F_T = \frac{5920 \cdot \sqrt{(0.045 + 0.01 + 1,5)}}{95} = 46.1 \text{ мм}^2$$

где $t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЩ-10/630 УХЛ-2, 0.045 с;

$t_{сел}$ - ступени селективности, 1,5 с;

T_a – постоянная затухания тока КЗ, 0,01 с;

$I_{КЗ}$ - значение тока КЗ на шинах ТП-31 по результатам расчёта токов КЗ в сети 10 кВ, А;

K_T - температурный коэффициент для алюминиевых жил проводов СИП-3-150, 95.

Вычисленные данные термически стойкого к токам КЗ сечения линий 10 кВ оформлены как таблица 24, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для фидеров 10 кВ.

Таблица 24 – Проверка сечения по термической стойкости ВЛ 10 кВ

Линия	$I^{(3)}_{по}, \text{кА}$	$F_{факт}, \text{мм}^2$	$F_{расч}, \text{мм}^2$
Φ-33			
ближняя ТП 729	5,35	41,6	150
дальняя ТП 32	3,10	69,5	150
Φ-14Н			
ближняя ТП 31	5,92	46,1	150
дальняя ТП 400	3,83	50,1	150

Провода ВЛ СИП-3-150 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.13 Выбор предохранителей 10 кВ трансформаторных подстанций

Для защиты трансформаторов ТП используются предохранители типа ПК1 – 10У1.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока ВН ТП в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП 304:

$$I_{РАСЧ} = \frac{S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}};$$

$$I_{РАСЧ} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,2 \text{ А.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для выбора проходных предохранителей 10 кВ по длительному току в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{РАСЧ} \leq I_{НОМ \text{ вст}} \leq I_{НОМ \text{ пред}},$$

$$9,2 \text{ А} \leq 10 \text{ А} \leq 20 \text{ А.}$$

Вычисленные данные по выбору и проверке предохранителей 10 кВ ТП оформлены как таблица 25, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для ТП 10/0,4 кВ.

Таблица 25 – Выбор предохранителей 10 кВ

№ ТП	N _{ТП}	S _{ном} , кВА	I _{расч} , А	I _{номПР} , А	I _{вст} , А	Тип предохранителя
400	1	250	14	20	20	ПК1 – 10У3
304	1	160	9	20	10	ПК1 – 10У3
729	1	160	9	20	10	ПК1 – 10У3
726	1	160	9	20	10	ПК1 – 10У3
731	1	160	9	20	10	ПК1 – 10У3
733	1	100	6	20	10	ПК1 – 10У3
728	1	630	36	40	40	ПК2 – 10У3
303	1	63	4	20	10	ПК1 – 10У3
727	1	160	9	20	10	ПК1 – 10У3
301	1	40	2	20	6	ПК1 – 10У3
730	1	100	6	20	10	ПК1 – 10У3
732	1	160	9	20	10	ПК1 – 10У3
32	2	400	46	50	80	ПК3 – 10У3
31	2	1000	116	160	160	ПК4 – 10У3

Предохранители ПК1-10У3 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.14 Выбор выключателей нагрузки 10 кВ трансформаторных подстанций

Для защиты трансформаторов ТП со стороны 10 кВ используются выключатели нагрузки ВМП - 10/400.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки выключателей нагрузки по термической устойчивости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП 400:

$$B_K = I_{но}^{(3)2} \cdot (t_{отк} + T_a) \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_K = 3,83^2 \cdot (0.045 + 0.01 + 1,5) = 23 \text{ кА}^2\text{с}.$$

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

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

где $t_{\text{отк}}$ - собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЦ-10/630 УХЛ-2, 0.045 с;

$t_{\text{сел}}$ - ступени селективности, 1,5 с;

$I_{\text{терм}}$ - ток термической стойкости выключателя нагрузки ВНП - 10/400, 10 кА;

$t_{\text{терм}}$ - время термической стойкости выключателя нагрузки ВНП - 10/400, 4 с.

Вычисленные данные по выбору и проверке выключателей нагрузки 10 кВ ТП 400 оформлены как таблица 26, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю.

Таблица 26 – Выбор и проверка выключателя нагрузки ТП 400

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{Н}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{Н}} = 400 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 25 \text{ кА}$ $B_{\text{К.НОМ}} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{Р}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 14 \text{ А}$ $i_{\text{уд макс}} = 5,5 \text{ кА}$ $B_{\text{К.}} = 23 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{Н}} \geq U_{\text{Р}}$ $I_{\text{Н}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{К.НОМ}} \geq B_{\text{К}}$

Вычисленные данные по выбору и проверке выключателей нагрузки 10 кВ ТП оформлены как таблица 27, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для всех ТП 10/0,4 кВ села Владимировка.

Таблица 27 – Выбор выключателей нагрузки ТП 10/0,4 кВ села Владимировка

№ ТП	№ТП	Sном, кВА	I _Р ТП, А	I _Н , А	B _{Кр} , кА ² с	B _{Кн} , кА ² с	I _{уд} , кА	I _{дин} , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
400	1	250	14	400	23	400	5,5	25
304	1	160	9	400	37	400	8	25
729	1	160	9	400	16	400	8	25
726	1	160	9	400	30	400	8,9	25
731	1	160	9	400	45	400	8,9	25

1	2	3	4	5	6	7	8	9
733	1	100	6	400	59	400	8,9	25
728	1	630	36	400	73	400	8,9	25
303	1	63	4	400	87	400	8,9	25
727	1	160	9	400	102	400	8,9	25
301	1	40	2	400	116,1	400	8,9	25
730	1	100	6	400	130,4	400	8,9	25
732	1	160	9	400	144,7	400	8,9	25
32	2	400	46	400	5,3	400	4,4	25
31	2	1000	116	400	19,5	400	8,9	25

Выключатели нагрузки ВМП - 10/400 проходят по всем условиям выбора и проверки.

6.15 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ трансформаторных подстанций

Для защиты трансформаторов ТП со стороны 0,4 кВ используются автоматические выключатели ВА-47.

Основываясь на имеющейся формуле для выбора автоматических выключателей 0,4 кВ по расчетному току в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП 400:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_{\text{р.с}}, \quad (72)$$

$$300 \text{ А} \geq 289 \text{ А},$$

где $I_{\text{р}}$ – максимальный рабочий ток;

$I_{\text{ном. расц}}$ – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя ВА 47-400, 300 А.

Вычисленные данные по выбору автоматических выключателей 0,4 кВ ТП оформлены как таблица 28, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для всех ТП 10/0,4 кВ села Владимировка.

Таблица 28 - Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

№ ТП	$I_{P \text{ АВТ}}, A$	$I_{\text{ном. расц}}, A$	Марка выключателя
400	289	300	ВА 47-400
304	185	250	ВА 47-250
729	185	250	ВА 47-250
726	185	250	ВА 47-250
731	185	250	ВА 47-250
733	116	160	ВА 47-160
728	728	1000	ВА 47-1000
303	73	100	ВА 47-100
727	185	250	ВА 47-250
301	46	63	ВА 47-63
730	116	160	ВА 47-160
732	185	250	ВА 47-250
32	404	500	ВА 47-630
31	1011	1600	ВА 47-1600

Основываясь на имеющейся формуле для проверки автоматических выключателей 0,4 кВ по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП 400:

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

$$10 \text{ кА} \geq 4,39 \text{ кА.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки автоматических выключателей 0,4 кВ по чувствительности к токам КЗ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП 400:

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

$$2,05 \text{ кА} \geq 1,25 \cdot 0,3 \text{ кА.}$$

$$2,05 \text{ кА} \geq 0,4 \text{ кА.}$$

Вычисленные данные по проверке автоматических выключателей 0,4 кВ ТП оформлены как таблица 29, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для всех ТП 10/0,4 кВ села Владимировка.

Таблица 29 - Проверка автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	$I^{(3)}_{\text{по}}, \text{кА}$	$I_{\text{отк}}, \text{кА}$	$I^{(1)}_{\text{по}}, \text{А}$	$1,25 \cdot I_{\text{расц}}, \text{кА}$
400	4,39	10	2,05	0,4
304	3,34	10	1,41	0,31
729	3,34	10	1,41	0,31
726	3,34	10	1,41	0,31
731	3,34	10	1,41	0,31
733	2,37	10	0,93	0,20
728	6,07	10	3,39	1,25
303	1,77	10	0,67	0,13
727	3,34	10	1,41	0,31
301	1,10	10	0,39	0,08
730	2,37	10	0,93	0,20
732	3,34	10	1,41	0,31
32	5,57	10	2,92	0,63
31	7,16	10	4,56	2,00

Автоматические выключатели ВА-47 проходят по всем условиям выбора и проверки.

7 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

7.1 Токовая отсечка

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта коэффициентов трансформации трансформатора тока в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$n_T = \frac{I_{ТТ\ ВН}}{I_{ТТ\ НН}}. \quad (73)$$

$$n_T = \frac{100}{5} = 20.$$

где $I_{ТТ\ ВН}$ - ток первичной обмотки трансформатора тока, 100 А;

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

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта первичного тока срабатывания токовой отсечки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (74)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 5,35 = 5,89 \text{ кА},$$

где k_n – коэффициент надежности, для микропроцессорной защиты СИ-РИУС-Л 1,1;

$I_{к.мах}^{(3)}$ – ток трехфазного симметричного КЗ на шинах ТП в начале фидера №33.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки чувствительности токовой отсечки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 2 ; \quad (75)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{2,69}{5,89} = 0,46 \leq 2 ,$$

где $I_{\text{кз}}^{(2)}$ – ток двухфазного несимметричного КЗ на шинах ТП в конце фидера №33.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта вторичного тока срабатывания токовой отсечки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$I_{\text{с.р.}} = k_{\text{сх}} \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_{\text{T}}} ; \quad (76)$$

$$I_{\text{с.р.}} = 1 \cdot \frac{5890}{20} = 294 \text{ А} .$$

Основываясь на имеющейся величине коэффициента чувствительности токовой отсечки выбрана выдержка времени ТО:

$$t_{\text{отсечки}} = 0,3 \text{ с} .$$

Вычисленные данные по расчёту токовой отсечки оформлены как таблица 30, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для всех фидеров 10 кВ ПС ДМ села Владимировка.

Таблица 30 – Токовая отсечка фидеров 10 кВ ПС ДМ села Владимировка

Линия	$I_{(3)\text{по}}$, кА	$I_{(2)\text{по}}$, кА	$I_{\text{р}}$, А	$I_{\text{н тт}}$, А	$I_{\text{с.з.}}$ кА	n_{T}	$I_{\text{с.р.}}$ А	$K_{\text{ч}}$
Ф-33	5,35	2,69	89	100	5,89	20	294	0,46
Ф-14Н	5,92	3,33	112	150	6,51	30	217	0,51

7.2 Максимальная токовая защита линий

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$I_{c.z.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{c.z.} / k_{в}, \quad (77)$$

$$I_{c.z.} = 0,485 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 0,562 \text{ кА},$$

где k_H – коэффициент надежности, для микропроцессорной защиты СИРИУС-Л 1,1;

$k_{c.z.}$ – коэффициент запуска двигателей, для микропроцессорной защиты СИРИУС-Л 1;

$k_{в}$ – коэффициент возврата, для микропроцессорной защиты СИРИУС-Л 0,95;

$I_{раб.}$ – максимальный рабочий ток защищаемой линии, А.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта вторичного тока срабатывания максимальной токовой защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$I_{c.p.} = I_{c.z.} \cdot k_{cx} / n_T, \quad (78)$$

$$I_{c.p.} = I_{c.z.} \cdot k_{cx} / n_T = 562 \cdot 1 / (100/5) = 28 \text{ А}.$$

где k_{cx} – коэффициент схемы, 1;

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта чувствительности максимальной токовой защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,5 ; \quad (79)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{2,69}{0,562} = 5 \geq 1,5 .$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта выдержки времени срабатывания максимальной токовой защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$t_{\text{с.з.}} = t_{\text{р.з.}} + \Delta t + t_{\text{ОТСЕЧКИ}} ; \quad (80)$$

$$t_{\text{с.з.}} = 0,04 + 0,5 + 0,3 = 0,84 \text{ с},$$

где $t_{\text{ОТСЕЧКИ}}$ – время срабатывания токовой отсечки с выдержкой времени, 0,3 с;

Δt - ступень селективности, 0,5 с.

$t_{\text{р.з.}}$ - время срабатывания максимальной токовой защиты, 0,04 с.

Вычисленные данные по расчёту максимальной токовой оформлены как таблица 31, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для всех фидеров 10 кВ ПС ДМ села Владимировка.

Таблица 31 – МТЗ фидеров 10 кВ ПС ДМ села Владимировка

Линия	$I_{(3)\text{по}}$, кА	$I_{(2)\text{по}}$, кА	$I_{\text{р}}$, А	$I_{\text{Н ТТ}}$, А	$I_{\text{с.з.}}$ кА	$I_{\text{с.р.}}$ А	$K_{\text{ч}}$
Ф-33	5,35	2,69	89	100	0,562	28	5
Ф-14Н	5,92	3,33	112	150	0,562	19	6

7.3 Ток замыкания на землю в сети 10 кВ

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта ёмкостного тока сети для фидеров 10 кВ ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_B}{350}; \quad (81)$$

$$I_c = \frac{10 \cdot 22,02}{350} = 0,63 \text{ A};$$

где U_H – номинальное напряжение сети, 10 кВ;

L_B – суммарная длина воздушных линий, км.

Величина емкостного тока незначительна, так как менее 20 А.

7.4 Защита от однофазных замыканий на землю

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока замыкания на землю в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_B}{350}; \quad (82)$$

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{10 \cdot 7,9}{350} = 0,23 \text{ A}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока reagирования защиты от замыкания на землю в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}, \quad (83)$$

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = 0,63 - 0,23 = 0,4 \text{ A}.$$

где $I_{\text{ЗНЗ}}$ – суммарный емкостной ток сети, 0,63 А.

$I_{\text{повр.л}}$ – ток замыкания на землю для фидера 10 кВ ПС ДМ №33.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока срабатывания защиты от замыкания на землю в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$I_{с.з.} = I_{ТНП.повр.л} / k_{ч} ; \quad (84)$$

$$I_{с.з.} = 0,4 / 1,5 = 0,27 \text{ А.}$$

где $k_{ч}$ – коэффициент чувствительности для микропроцессорной защиты СИРИУС-Л, 1,5;

Вычисленные данные по расчёту защиты от замыкания на землю оформлены как таблица 32, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для всех фидеров 10 кВ ПС ДМ села Владимировка.

Таблица 32– ЗНЗ фидеров 10 кВ ПС ДМ села Владимировка

Линия	$I_{повр.л}, \text{ А}$	$I_{ТНП.повр.л}, \text{ А}$	$I_{с.з.}, \text{ А}$
Ф-33	0,23	0,40	0,27
Ф-14Н	0,18	0,45	0,30

7.5 Устройства автоматического включения резерва

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта напряжения срабатывания устройства автоматического включения резерва в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для шин 10 кВ ПС ДМ:

$$U_{с.з.} = (0,7 \div 0,8) \cdot U_{ном}; \quad (85)$$

$$U_{с.з.} = 0,7 \cdot 10000 = 7000 \text{ В.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта выдержки времени срабатывания устройства автоматического включения резерва в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для фидера 10 кВ ПС ДМ №33:

$$t_{c.з.} = t_{p.з.} + \Delta t + t_{MTЗ}; \quad (86)$$

$$t_{c.з.} = 0,04 + 0,5 + 0,84 = 1,38 \text{ с,}$$

где $t_{MTЗ}$ – время срабатывания токовой отсечки с выдержкой времени, 0,84 с;

Δt - ступень селективности, 0,5 с.

$t_{p.з.}$ - время срабатывания максимальной токовой защиты, 0,04 с.

7.6 Защита трансформаторов 10/0,4 кВ

Выбираются блоки защит БМРЗ-158-ТР-01 для обеспечения защиты трансформаторов 10/0,4 кВ 1000 кВА на ТП-31.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока срабатывания токовой отсечки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП-31:

$$I_{c.o} \leq k_n \cdot I_{к.макс}^{(3)}, \quad (87)$$

$$I_{c.o} \leq 1,3 \cdot 5,92 = 7,7 \text{ кА,}$$

где $I_{к.макс}^{(3)}$ - ток трехфазного КЗ за трансформатором, приведенное к стороне высшего напряжения;

k_n - коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2 – 1,3.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока срабатывания реле токовой отсечки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП-31:

$$I_{ср.р} = I_{с.з} \cdot \frac{k_{сх}}{n_m}, \quad (88)$$

$$I_{ср.р} = 7700 \cdot \frac{1}{30} = 256 \text{ A},$$

где $k_{сх}$ - коэффициент схемы, 1;

n_m - коэффициент трансформации трансформаторов тока, 30.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта чувствительности токовой отсечки в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП-31:

$$k_{ч} \geq k'_{ч} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з}}, \quad (89)$$

$$k_{ч} \geq 1 \cdot \frac{5920 \cdot 0,87}{256} = 20,$$

где $I_{к.мин}^{(2)}$ - ток двухфазного КЗ в минимальном режиме;

$k'_{ч}$ - коэффициент, учитывающий расчетный вид и место КЗ, 1.

Чувствительность токовой отсечки достаточная, что позволяет комплекту защиты своевременно реагировать на короткие замыкания.

Время срабатывания токовой отсечки:

$$t_{с.з.ТО} = 0 \text{ с.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока срабатывания максимальной токовой защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП-31:

$$I_{с.з.} = \frac{K_H \cdot K_{сам}}{K_B} \cdot I_{раб.макс}, \quad (90)$$

$$I_{c.з.} = \frac{1.25 \cdot 2}{0.8} \cdot 58 = 181 \text{ A},$$

где $I_{\text{раб.макс}}$ - номинальный ток стороны ВН;

K_n - коэффициент надежности, допускается изменять от 1.2 до 1.3;

$K_{\text{сам}}$ - коэффициент самозапуска, допускается изменять от 1.5 до 2;

K_B - коэффициент возврата, допускается изменять от 0,8 до 0,85.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта чувствительности максимальной токовой защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП-31:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K3}^{(3)} \cdot 0.87}{I_{c.з.} \cdot K_T} \geq 1.5, \quad (91)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{5920 \cdot 0.87}{181 \cdot 25} = 1.2 \geq 1.5,$$

Чувствительность максимальной токовой защиты не достаточная, устанавливаются выдержки времени 0,5 с.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта времени срабатывания реле максимальной токовой защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП-31:

$$t_{c.з. \text{ МТЗ}} = t_{\text{нр max}} + \Delta t, \quad (92)$$

$$t_{c.з. \text{ МТЗ}} = 0.5 + 0.5 = 1.0 \text{ с.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока срабатывания реле максимальной токовой защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для ТП-31:

$$I_{c.p.} = K_{cx} \cdot \frac{I_{c.з.}}{n_{TA}}, \quad (93)$$

$$I_{c.p.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 182}{30} = 11 A.$$

8 МОЛНИЕЗАЩИТА

8.1 Определение стационарного и импульсного сопротивления

ОРУ ПС ДМ на основе планирования территории села Владимировка имеет размеры $A = 23$ м, $B = 25,2$ м.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта площади использования под заземлитель ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S = (A + 2 \cdot \Delta) \cdot (B + 2 \cdot \Delta); \quad (94)$$

$$S = (23 + 2 \cdot 1.5) \cdot (25,2 + 2 \cdot 1.5) = 733 \text{ м}^2.$$

где Δ – ширина выступа заземлителя за границы оборудования, 1.5 м [18].

Основываясь на имеющейся формуле для проверки сечения заземлителя ПС ДМ по условиям механической прочности в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$F_{mn} = \pi \cdot r^2, \quad (95)$$

$$F_{mn} = 3.14 \cdot 5^2 = 78.54, \text{ мм}^2.$$

где r – радиус стержня горизонтального заземлителя, 5 мм, диаметр 10 мм.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки сечения заземлителя ПС ДМ по условиям термической стойкости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$F_{TC} = \sqrt{\frac{I_{K3}^2 \cdot t_{OTK}}{400 \cdot \beta}} ; \quad (96)$$

$$F_{TC} = \sqrt{\frac{16^2 \cdot 0,33}{400 \cdot 21}} = 0,1 \text{ мм}^2.$$

где $t_{OTKЛ}$ – время срабатывания РЗ при его отключении, 0,33 с;

β - коэффициент термической стойкости, 21.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта среднего сечения заземлителя ПС ДМ по условиям коррозионной стойкости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления, мм²:

$$S_{CP} = a_k \cdot \ln^3 T + b_k \cdot \ln^2 T + c_k \cdot \ln T + \alpha_k, \quad (97)$$

$$S_{CP} = 0,0026 \cdot \ln^3 240 + 0,00915 \cdot \ln^2 240 + 0,0104 \cdot \ln 240 + 0,0224 = 2,024$$

где a_k, b_k, c_k, α_k – коэффициенты аппроксимации, зависящие от грунта, для средней коррозионной активности принимаем равными согласно [22]: $a_k = 0,0026; b_k = 0,00915; c_k = 0,0104; \alpha_k = 0,0224;$

T – время использования заземлителя, в месяцах за 20 лет, 240 мес.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки сечения заземлителя ПС ДМ по условиям коррозионной стойкости в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$F_{КОР} = \pi \cdot S_{CP} \cdot (d + S_{CP}), \quad (98)$$

$$F_{КОР} = 3,14 \cdot 2,024 \cdot (0,1 + 2,024) = 13,5 \text{ мм}^2.$$

Основываясь на имеющейся формуле для проверки сечения заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$F_{mn} \geq F_{\min} \geq F_{КОР} + F_{Т.С.}; \quad (99)$$

$$F_{\min} \geq 13,5 + 0,1 = 13,6 \text{ мм}^2,$$

$$78,54 \text{ мм}^2 \geq 13,6 \text{ мм}^2.$$

Принимаемые диаметр электродов и расстояние между полосами сетки соответственно для горизонтального заземлителя ПС ДМ:

$$d = 10 \text{ мм};$$

$$l_{п-п} = 6 \text{ м}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта длины полос в сетке заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$L_{Г} = \frac{A+2 \cdot \Delta}{l_{п-п}} \cdot (B+2 \cdot \Delta) + \frac{B+2 \cdot \Delta}{l_{п-п}} \cdot (A+2 \cdot \Delta), \quad (100)$$

$$L_{Г} = \frac{23+2 \cdot 1.5}{6} \cdot (25,2+2 \cdot 1.5) + \frac{25,2+2 \cdot 1.5}{6} \cdot (23+2 \cdot 1.5) = 244 \text{ м}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта количества полос в сетке заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$n_{\Gamma A} = \frac{A + 2 \cdot \Delta}{l_{\Pi-\Pi}}; \quad (101)$$

$$n_{\Gamma A} = \frac{23 + 2 \cdot 1.5}{6} = 4,3 \text{ шт};$$

$$n_{\Gamma B} = \frac{B + 2 \cdot \Delta}{l_{\Pi-\Pi}}; \quad (102)$$

$$n_{\Gamma B} = \frac{25,2 + 2 \cdot 1.5}{6} = 4,7 \text{ шт};$$

$$n_{\Gamma} = n_{\Gamma A} + n_{\Gamma B}; \quad (103)$$

$$n_{\Gamma} = 5 + 5 = 10 \text{ шт.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта числа ячеек в сетке заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1, \quad (104)$$

$$m = \frac{244}{2 \cdot \sqrt{733}} - 1 = 3,5.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта длины горизонтальных полос в расчетной квадратичной модели заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$L = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m + 1), \quad (105)$$

$$L = 2 \cdot \sqrt{733} \cdot (4+1) = 270 \text{ м.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта расстояния между вертикальными электродами заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$a = 2 \cdot l_{\text{п-п}}; \quad (106)$$

$$a = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта количества вертикальных электродов заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$n_B = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a}, \quad (107)$$

$$n_B = \frac{4 \cdot \sqrt{733}}{12} = 9 \text{ шт.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта стационарного сопротивления заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для двух слоёв грунта:

$$R = \rho_{\text{экр}} \cdot \left(\frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + n_B \cdot l_B} \right), \quad (108)$$

$$R_{1S} = 30 \cdot \left(\frac{0.37}{27} + \frac{1}{270 + 9 \cdot 5} \right) = 0.51 \text{ Ом;}$$

$$R_{2S} = 15 \cdot \left(\frac{0.37}{27} + \frac{1}{270 + 9 \cdot 12} \right) = 0,253 \text{ Ом},$$

где A - коэффициент подобия, 0,37 [28]:

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта импульсного коэффициента заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для двух слоёв грунта:

$$\alpha_{u1} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\rho_1 + 320) \cdot (I_m + 45)}}; \quad (109)$$

$$\alpha_{u1} = \sqrt{\frac{1500 \cdot 27}{(30 + 320) \cdot (50000 + 45)}} = 0.0023;$$

$$\alpha_{u2} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\rho_2 + 320) \cdot (I_m + 45)}}; \quad (110)$$

$$\alpha_{u2} = \sqrt{\frac{1500 \cdot 27}{(15 + 320) \cdot (50000 + 45)}} = 0.0024.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта импульсного сопротивления заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления для двух слоёв грунта:

$$R_{u1} = R_{1S} \cdot \alpha_{u1}; \quad (111)$$

$$R_{u2} = R_{2S} \cdot \alpha_{u2}; \quad (112)$$

$$R_{u1} = 0.51 \cdot 0.0023 = 0.0012 \text{ Ом};$$

$$R_{u2} = 0,253 \cdot 0,0024 = 0.0006 \text{ Ом}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта общего импульсного сопротивления заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$R_{\text{ЭК}} = R_{u1} + R_{u2}; \quad (113)$$

$$R_{\text{ЭК}} = 0.0006 + 0.0012 = 0.0018 \text{ Ом.}$$

Тип заземлителя и его характеристики на данном этапе расчётов соответствуют требованиям ПУЭ, [20]. Проводится дополнительный расчёт, учитывающий перераспределение и взаимное влияние сопротивления грунта.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта глубины установки вертикального заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$h_{1\text{Э}} = l_{\text{В}} + h_3; \quad (114)$$

$$h_{1\text{Э}} = 5 + 0,8 = 5,8 \text{ м;}$$

где $l_{\text{В}} = 5$ м, длина вертикального электрода;

$h_3 = 0,8$ м, глубина заложения заземлителя.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта сопротивления первого слоя грунта заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\rho_{1\text{Э}} = \frac{h_{1\text{Э}}}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2}}; \quad (115)$$

$$\rho_{1Э} = \frac{5+0.8}{\frac{0,8}{30} + \frac{2,4-0,8}{15}} = 43,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта глубины двухслойной модели заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$H_{расч} = 1.4 \cdot l_B, \quad (116)$$

$$H_{расч} = 1.4 \cdot 5 = 7 \text{ м},$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта эквивалентного сопротивления второго слоя двухслойной модели заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\rho_{2Э} = \frac{H_{расч} - h_{1Э}}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2}}, \quad (117)$$

$$\rho_{2Э} = \frac{7-5,8}{\frac{0,8}{30} + \frac{2,4-0,8}{15}} = 0,16 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта сопротивление двухслойной модели, приведенной к однослойной модели заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\rho_{ЭКВ} = c \cdot \rho_{2Э}; \quad (118)$$

$$\rho_{ЭКВ} = 11 \cdot 0,16 = 1,76 \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

где c – величина, определяемая параметрами $\frac{h_{1Э} - h_3}{l_B}$ и $\frac{\rho_{1Э}}{\rho_{2Э}}$ по [22], при

$$\frac{5,8 - 0,8}{5} = 1 \text{ м и } \frac{43,5}{0,16} = 272 \text{ Ом}\cdot\text{м найдено значение 11.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта стационарного сопротивления одного вертикального электрода заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{ЭКВ}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (119)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{1,76}{\pi \cdot 2 \cdot 5} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot 5 \cdot (2 \cdot 0,8 + 5)}{0,01 \cdot (4 \cdot 0,8 + 5)} \right] = 0,42 \text{ Ом.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта стационарного сопротивления одного горизонтального электрода заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{ЭКВ}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (120)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{1,76}{\pi \cdot 270} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot 270}{\sqrt{2 \cdot 0,01 \cdot 0,8}} \right] = 0,017 \text{ Ом,}$$

где l – длина горизонтальной полосы при представлении площади ОРУ квадратичной моделью.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта общего стационарного сопротивления заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_G \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (121)$$

$$R = \frac{0,42 \cdot 0,017}{0,75 \cdot (10 \cdot 0,017 + 1 \cdot 0,42)} = 0,016 \leq 0,5 \text{ Ом},$$

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

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта импульсного сопротивления вертикального электрода заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}; \quad (122)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 0,42}{0,75 \cdot 10} = 0,056 \text{ Ом},$$

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

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта удельной индуктивности на единицу длины горизонтального заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$L_O = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right); \quad (123)$$

$$L_O = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{270}{0,005} - 0,31 \right) = 2,18 \frac{\text{мкГн}}{\text{м}};$$

где l - длина полосы, м.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта импульсного коэффициента протяженного заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{L_0 \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{ЭГ}}}; \quad (124)$$

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{270 \cdot 2,18}{3 \cdot 2 \cdot 0,017} = 5772;$$

где τ_ϕ - длительность фронта тока молнии, 2 мкс.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта импульсного сопротивления протяженного заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{ЭГ}}, \quad (125)$$

$$R_{u\Gamma} = 5772 \cdot 0,017 = 98 \text{ Ом.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта общего импульсного сопротивления протяженного заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}, \quad (126)$$

$$R_u = \frac{98 \cdot 0,056}{0,75 \cdot (10 \cdot 98 + 1 \cdot 0,056)} = 0,007 \leq 0,5 \text{ Ом.}$$

Учёт двухслойной модели грунта показывает, что общее импульсное сопротивление заземлителя по значению больше, чем ранее полученная величина для однослойной модели.

Основываясь на имеющейся формуле для проверки общего импульсного сопротивления заземлителя ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$R_{эк} \leq R_{доп};$$

$$0,007 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом};$$

где $R_{доп}$ – допустимое сопротивление заземлителя, 0.5 Ом.

Тип заземлителя и его характеристики выбраны в соответствии с требованиями ПУЭ, [20], рисунок 7.

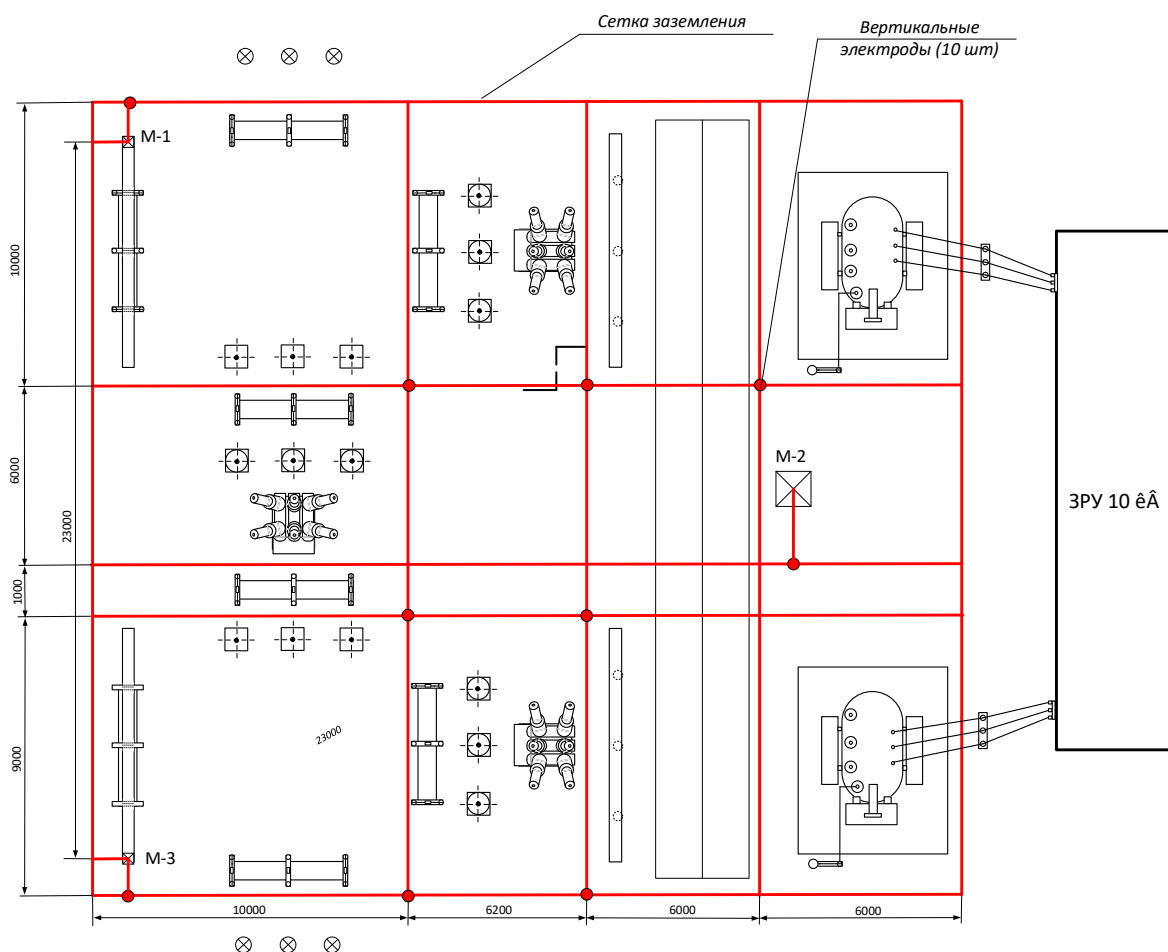


Рисунок 7 – Устройство заземления ПС ДМ

8.2 Расчет молниезащиты

На территории ОРУ ПС ДМ рассчитывается система равновеликих стержневые молниеотводы с одинаковой высотой, устанавливаемые на линейных порталах 1 - 3.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта высоты молниеотвода с учётом его собственной высоты 9,45 м и дополнительной длиной стержня молниеотвода 5 м в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$H = 9,45 + 5 = 14,45 \text{ м.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта высоты зоны защиты молниеотвода в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$h_{\text{ЭФ}} = 0.85 \cdot H, \quad (127)$$

$$h_{\text{ЭФ}} = 0.85 \cdot 14,45 = 12,3 \text{ м.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта радиуса круга зоны защиты на уровне земли в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$r_0 = (1.1 - 0.002 \cdot H) H, \quad (128)$$

$$r_0 = (1.1 - 0.002 \cdot 14,45) \cdot 14,45 = 15,5 \text{ м.}$$

Высота линейного портала, защиту от ударов молнии которого требуется обеспечить:

$$h_i = 9,45 \text{ м.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта радиуса круга зоны защиты на высоте защищаемого объекта в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$r_X = r_0 \cdot \left(1 - \frac{h_i}{h_{\text{ЭФ}}}\right), \quad (129)$$

$$r_X = 15,5 \cdot \left(1 - \frac{14,45}{12,3}\right) = 3,6 \text{ м.}$$

Расстояние между молниеотводами:

$$L = 23 \text{ м;}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта ширины внутренней зоны на уровне земли в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления при $L \leq 2 \cdot H$, $23 \leq 28,9$:

$$r_{C0} = r_0 = 15,5 \text{ м.} \quad (130)$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта минимальной высоты зоны защиты в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$h_{CX} = h_{\text{ЭФ}} - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot H) \cdot (L - H), \quad (131)$$

$$h_{CX} = 12,3 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 14,45) \cdot (23 - 14,45) = 13,8 \text{ м.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта половины ширины внутренней зоны на высоте защищаемого объекта в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$r_{CX} = r_{C0} \cdot \left(\frac{h_{CX} - h_i}{h_{CX}} \right), \quad (132)$$

$$r_{CX} = 15,5 \cdot \left(\frac{13,8 - 9,45}{13,8} \right) = 4,9 \text{ м}$$

Вычисленные данные по расчёту молниезащиты равновеликих молниеотводов оформлены как таблица 33, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для ПС ДМ села Владимировка.

Таблица 33 – Результаты расчёта молниезащиты равновеликих молниеотводов

Принимаем высоту молниеотвода H , м	14,5
Высота зоны защиты при высоте МО $h_{эф}$, м	12,3
Радиус круга зоны защиты на уровне земли r_0 , м	15,48
Высота защищаемого объекта h_i , м	9,5
Радиус зоны защиты на высоте защищаемого объекта r_x , м	3,6
Расстояние между молниеотводами L , м	23,0
Половина ширины внутренней зоны на уровне земли r_{C0} , м	15,5
Минимальная высота зоны защиты h_{CX} , м	13,8
Половина ширины внутренней зоны на высоте защищаемого объекта r_{CX} , м	4,9

Система молниезащиты ПС ДМ также включает в себя молниеотводы разной величины, расчёт параметров зон защиты выполняется далее.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта половины ширины внутренней зоны разновеликих молниеотводов на высоте защищаемого объекта в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$r_{CX} = \frac{r_{CX1} + r_{CX2}}{2}; \quad (133)$$

$$r_{CX} = \frac{9,8+16,1}{2} = 12,9 \text{ м}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта минимальной высоты зоны защиты разновеликих молниеотводов в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$h_{CX} = \frac{h_{CX1} + h_{CX2}}{2}; \quad (134)$$

$$h_{CX} = \frac{10,8+16,5}{2} = 13,7 \text{ м}.$$

Вычисленные данные по расчёту молниезащиты разновеликих молниеотводов оформлены как таблица 34, содержащая детальные показатели по каждому расчётному случаю для системы разновеликих молниеотводов 1-2 и 3-2 ПС ДМ села Владимировка.

Таблица 34 – Результаты расчёта молниезащиты разновеликих молниеотводов

Параметр	Система молниеотводов 2 - 3	Система молниеотводов 1 - 2
Принимаем высоту молниеотвода H , м	14,5	20,0
Высота зоны защиты при высоте МО $h_{эф}$, м	12,3	17,0
Радиус круга зоны защиты на уровне земли r_0 , м	15,5	21,2
Высота защищаемого объекта h_i , м	4,0	4,0
Радиус зоны защиты на высоте защищаемого объекта r_x , м	10,5	16,2
Расстояние между молниеотводами L , м	23,0	23,0
Половина ширины внутренней зоны на уровне земли r_{C0} , м	15,5	21,2
Минимальная высота зоны защиты h_{CX} , м	10,8	16,5
Половина ширины внутренней зоны на высоте защищаемого объекта r_{CX} , м	9,8	16,1

Зоны молниезащиты в разрезе ОРУ ПС ДМ показаны на рисунке 8.

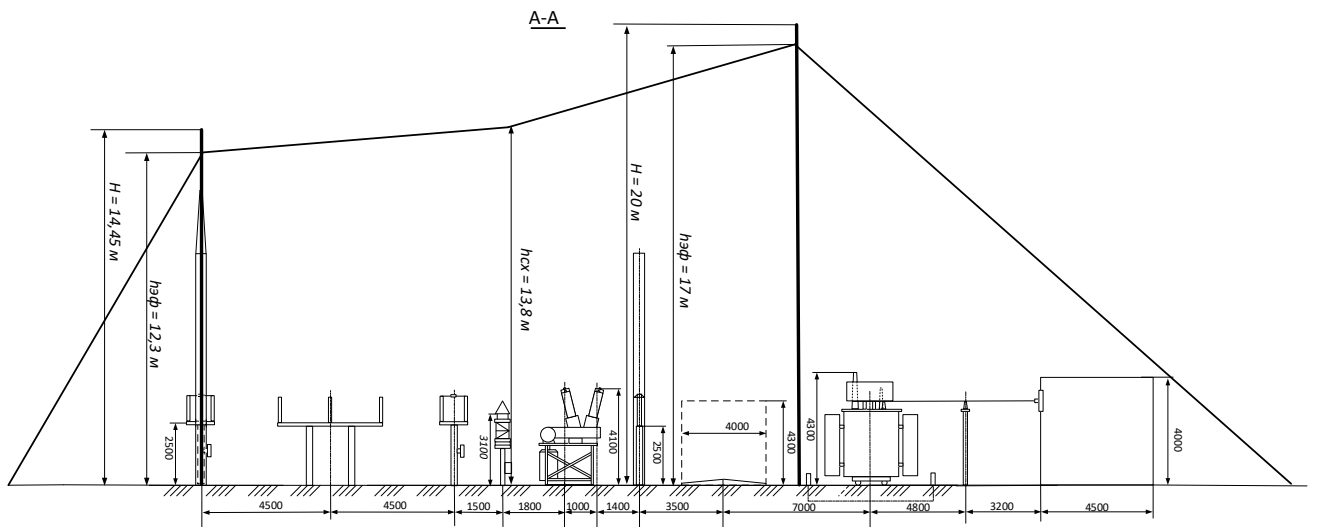


Рисунок 8 – Зоны молниезащиты в разрезе ОРУ ПС ДМ

Зоны молниезащиты на плане ОРУ ПС ДМ показаны на рисунке 9.

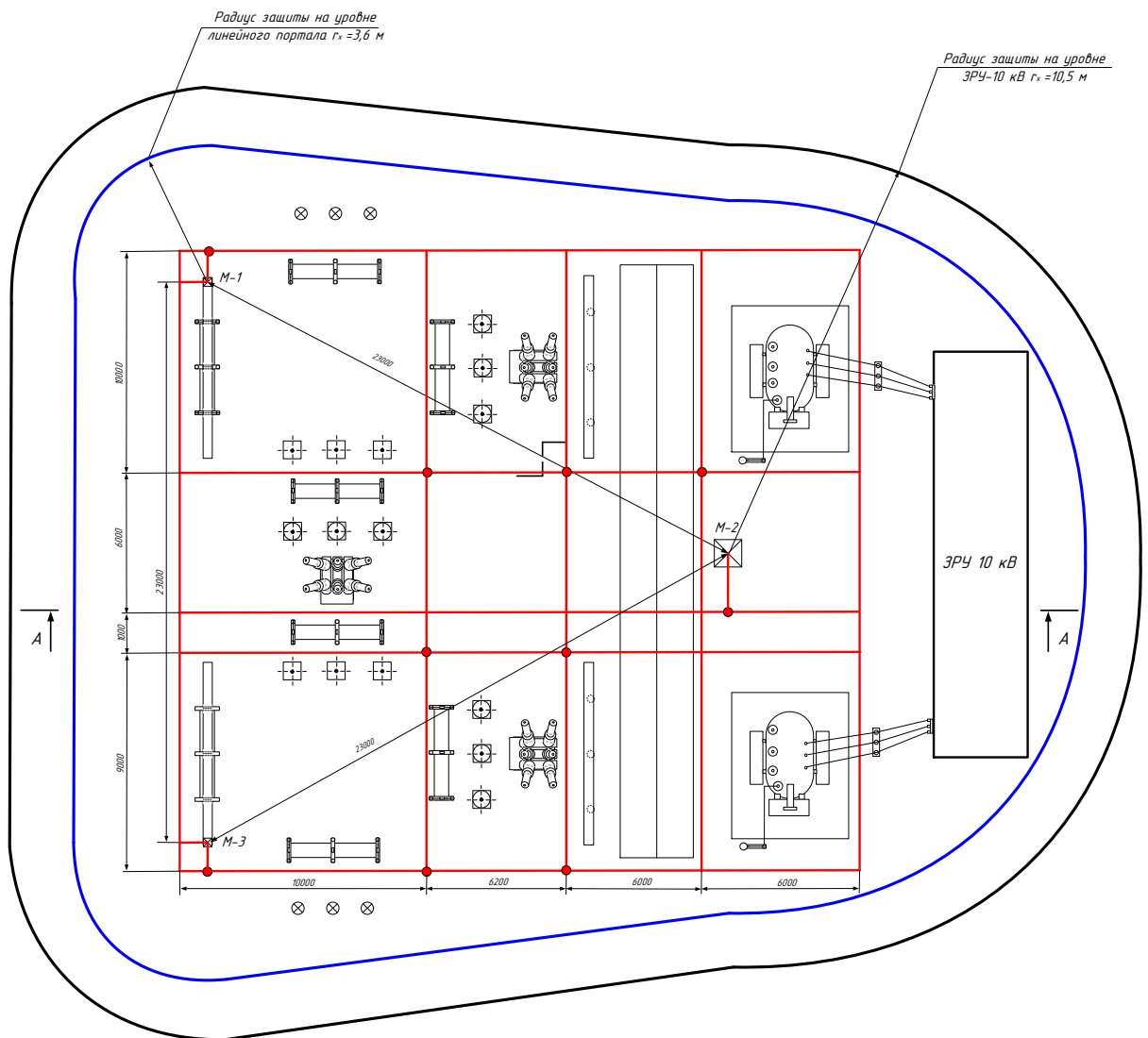


Рисунок 9 – Зоны молниезащиты на плане ОРУ ПС ДМ

8.3 Расчёт грозозащиты открытого распределительного устройства подстанции «ДМ» 35 кВ

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта плотности разрядов молнии на землю для территории ЕАО в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$p_0 = 0,05 \times N_{г.ч.}; \quad (135)$$

$$p_0 = 0,05 \times 50 = 2,5 \frac{1}{\text{км}^2}.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта эквивалентной высоты ОРУ ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления, при $h_c \leq$ м;

$$R = 5 \times h_c - \frac{2 \times h_c^2}{30}; \quad (136)$$

$$R = 5 \times 9,45 - \frac{2 \times 9,45^2}{30} = 41,3 \text{ м.}$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта тока молнии при ударе в молниеотвод гирлянды на порталах ОРУ ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$I_{\text{ОП}} = \frac{U_{50} - 50 \times I_{\text{подв}}}{R_{\text{И}}}; \quad (137)$$

$$I_{\text{ОП}} = \frac{1200 - 50 \times 7}{0,5} = 1700 \text{ кА.}$$

где U_{50} - величина перенапряжения по гирлянде изоляторов при прохождении тока молнии, 1200 кВ,

$l_{\text{пове}}$ - высота подвеса гирлянды на линейном портале, 7 м;

R_{II} - импульсное сопротивление заземлителя ОРУ ПС ДМ, предельное значение 0,5 Ом.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта вероятности перекрытия при ударе в молниеотвод гирлянды на порталах ОРУ ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$P_{\text{оп}} = e^{-0,04 \times I_{\text{оп}}}; \quad (138)$$

$$P_{\text{оп}} = e^{-0,04 \times 1700} = 0.$$

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта числа перекрытий при прямых ударах молнии и обратных перекрытиях в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$N_{\text{ПУ}} = p_0 \times (a_T + 2 \times R_{\text{ЭКВ}}) \times (b_T + 2 \times R_{\text{ЭКВ}}) \times (\eta_{\text{ПР}} \times p_{\alpha} \times P_{\text{пр}} + \eta_{\text{ОП}} \times P_{\text{оп}}), \quad (139)$$

$$N_{\text{ПУ}} = 2,5 \times (25,2 + 2 \times 41,3) \times (23 + 2 \times 41,3) \times (0,9 \times 0,005 \times 0,8 + 0,9 \times 0) \times 10^{-6} = 102,4 \times 10^{-6},$$

где a_T, b_T - длина и ширина территории ОРУ, 25,2 м и 23 м соответственно;

η η - вероятности перехода импульсного перекрытия изоляции в силовую дугу для провода и опоры, принимается 0,9;

p_{α} - вероятность грозового поражения ошиновки ОРУ, минуя молниезащиту, для зоны А 0,005;

P_{np} - доля опасных грозových перенапряжений, возникающих при непосредственном грозovém разряде в ошиновку ОРУ, минуя молниеотвод, 0,8.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта частоты ударов молнии в ОРУ 35 кВ ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$T_{\text{ПУ}} = \frac{1}{N_{\text{ПУ}}}; \quad (140)$$

$$T_{\text{ПУ}} = \frac{1}{0,0001024} = 9760.$$

Основываясь на имеющейся формуле для оценки надёжности грозозащиты ОРУ 35 кВ ПС ДМ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$T_{\text{пу}} \geq T_{\text{пу ору 35}}; \quad (141)$$

$$9760 \geq 500;$$

где $T_{\text{пу ору 35}}$ – повторяемость грозопоражений для ОРУ 35 кВ, 500.

ОРУ 35 кВ ПС ДМ оценивается по показателю грозопоражаемости как маловероятное.

9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Так как для выбранного района проектирования необходимо провести реконструкцию сетей 10 кВ, то необходимо решить проблемы, возникающие при реконструкции сетей 10 кВ, а именно:

1 - Проблема соблюдения мер безопасности при монтаже проводов ВЛ 10 кВ системы электроснабжения села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области,

2 – Проблема отвода земель во временное и постоянное пользование при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области,

3 – Проблема соблюдения мер пожарной безопасности в центре питания проектируемых сетей 10 кВ - РУ-10 кВ ПС «ДМ».

9.1 Безопасность

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется проводом СИП-3. Использование проводов СИП-3 предполагает соблюдение мер безопасности персонала для избегания травматизма и несчастных случаев [3].

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется при температуре окружающего воздуха не ниже -20°C , в том числе работы по замене или ремонту зажимов на анкерных опорах, замене соединительных зажимов или аналогичные работы, требующие выполнить тяжение проводов. Аварийно-восстановительные работы, предусматривающие тяжение проводов в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области при более низких температурах, проводятся с контролем состояния изоляции провода СИП-3.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется на отклю-

ченных линиях со стороны источников питания на линиях с двухсторонним питания с заземлением по обеим сторонам линии 10 кВ

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с соблюдением допустимого расстояния от работников до токоведущих проводов не менее 0,6 м.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с соблюдением допустимого расстояния от механизмов и грузоподъемных машин до токоведущих проводов не менее 1 м.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с соблюдением допустимого расстояния от деревьев и насаждений до токоведущих проводов не менее 0,55 м.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется без отключения линий 10 кВ при помощи изолирующих штанг.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с отключением линий 10 кВ и установкой переносного заземления, обеспечивающего надёжный прокол изоляции и соответствующий контакт жилы провода и заземляющей штангой устройства заземления.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с установкой запрещающих плакатов «Не включать! Работают люди» на приводах выключателей ВВУ-СЭЩ и секционных разъединителей 10 кВ в ЗРУ 10 кВ ПС «ДМ», препятствующих подачи напряжения на участок сети 10 кВ, на котором ведутся работы.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с установ-

кой запрещающих плакатов «Не включать! Работают люди» на ячейках КРУ трансформаторов напряжения и собственных нужд, имеющих предохранители 10 кВ, которые следует извлечь из замкнутой цепи 10 кВ.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с установкой запрещающих плакатов «Не включать! Работа на линии» на приводах линейных выключателей ВВУ-СЭЩ 10 кВ в ЗРУ 10 кВ ПС «ДМ», препятствующих подачи напряжения на участок сети 10 кВ, на котором ведутся работы.

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с установкой запрещающих плакатов «Не включать! Работа на линии» на приводах линейных выключателей ВВУ-СЭЩ 10 кВ в ЗРУ 10 кВ ПС «ДМ», препятствующих подачи напряжения на участок сети 10 кВ, на котором ведутся работы.

Безопасность рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области обеспечивается предварительной проверкой отсутствия напряжения с помощью исправных указателей отсутствия напряжения на токоведущих частях, на которых организованы работы.

Безопасность рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области обеспечивается комплектованием бригад средствами защиты от поражения электрическим током: диэлектрическими перчатками и ботами, изолирующими ковриками, экранами.

Для безопасности рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области формирование бригад рабочих проводится с включением в состав бригады одного работника из числа оперативного персонала, имеющему группу IV.

Для безопасности рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области формирование бригад рабочих по обслуживанию линий 10 кВ проводится с

включением в состав бригады двух работников из числа оперативного персонала, имеющему группу IV и III.

Установка заземления работниками при реконструкции системы электропитания 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области на токоведущие части выполняется после проверки отсутствия напряжения.

Установка переносного заземления работниками при реконструкции системы электропитания 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется на токоведущие части после проверки отсутствия напряжения подключением к заземляющему устройству.

Снятие переносного заземления работниками при реконструкции системы электропитания 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется отключением от токоведущей части, а затем от заземляющего устройства.

Снятие и установка переносного заземления работниками при реконструкции системы электропитания 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с применением диэлектрических перчаток и изолирующей штанги в специально предусмотренных местах, не имеющих лакокрасочного покрытия, ржавчины, загрязнения и иных поверхностных образований, препятствующих надёжному контакту заземлителя с токоведущей частью.

Установка переносного заземления работниками при реконструкции системы электропитания 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области на сборные шины РУНН ПС «ДМ» выполняется на токоведущие части пофазно в одном месте.

Выполнение действий на линейных разъединителях работниками при реконструкции системы электропитания 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области осуществляется с установкой дополнительного заземления, не препятствующего проведению работ.

Для безопасности рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской автономной области выполняется с устройством видимого разрыва между заземленными токоведущими частями и токоведущими частями, находящимися под напряжением.

Установка переносного заземления при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской автономной области выполняется двумя работниками, имеющими группу IV и III каждый.

Включение заземления на удаленных ТП при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской автономной области выполняется работником из числа персонала потребителей, имеющим группу III.

Включение заземления при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской автономной области выполняется работником из числа оперативного персонала, имеющим группу IV.

Снятие заземления при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской автономной области выполняется работником из числа оперативного персонала, имеющим группу III.

Для безопасности рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской автономной области выполняется заземление на ближайшей к РУ или секционирующему аппарату опоре линии 10 кВ, имеющей заземляющие устройства.

Установка заземления на линиях 10 кВ при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской автономной области выполняется для проводов всех фаз и грозозащитных тросов при наличии.

Установка заземления на линиях 10 кВ при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской ав-

тономной области в анкерных пролетах выполняется для начальной анкерной опоры на одной из конечных промежуточных опор.

Установка заземления на линиях 10 кВ при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется на рабочих местах или на соседней ближайшей опоре.

Установка заземления с двух сторон на линиях 10 кВ при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется при условии, что расстояние между заземлениями не превышает 2 км.

Установка заземления на линиях 10 кВ с железобетонными опорами при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется при надёжном контакте с металлическими элементами опоры.

Для безопасности рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области проводится подключение рабочего заземления к заземлителю, погруженному вертикально в грунт не менее чем на 0,5 м.

Для безопасности рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области не допускается подключение рабочего заземления к заземлителю, погруженному в случайный навал грунта, насыпь, заводненную яму и другое нестабильное образование на поверхности грунта.

Для безопасности рабочих при реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области снятие и установка заземления проводится в составе двух человек, один из которых находится на земле, ведёт наблюдение за процессом снятия и установки заземления, страхует работника, находящегося на опоре линии 10 кВ, находится в готовности оказать первую помощь при поражении электрическим током.

9.2 Экологичность

В ходе реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области для определения площади земель, подлежащих отводу, требуется провести соответствующий расчёт.

Отвод земель под систему электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области, подключаемую к ПС «ДМ» проводится в постоянное и временное пользование. Трасса ВЛ 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области и места расположения ТП 10/0,4 кВ проходят по землям сельхоз назначения.

Проводится расчёт площади отводимой в постоянное пользование для размещения элементов системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта площади земель, отводимых в постоянное пользование под ТП в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{ТПП} = S_{ТП1} \cdot n_{ТП1} + S_{ТП2} \cdot n_{ТП2}, \quad (142)$$

$$S_{ТПП} = 50 \cdot 12 + 80 \cdot 2 = 760 \text{ м}^2,$$

где $S_{ТП1}$ - площадь земли, отводимая под ТП с одним трансформатором

10/0,4 кВ, по [16] 50 м²;

$S_{ТП2}$ - площадь земли, отводимая под ТП с двумя трансформаторами

10/0,4 кВ, по [16] 80 м²;

$n_{ТП1}$ - количество ТП в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка с одним трансформатором 10/0,4 кВ, 12 шт;

$n_{ТП2}$ - количество ТП в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка с двумя трансформаторами 10/0,4 кВ, 2 шт.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта площади земель, отводимых в постоянное пользование под одну опору ВЛ-10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{on} = A^2 + \pi \cdot \Delta^2 + 4 \cdot A \cdot \Delta; \quad (143)$$

$$S_{on} = 0,3^2 + 3,14 \cdot 1^2 + 4 \cdot 0,3 \cdot 1 = 4,43 \text{ м}^2,$$

где A – длина основания опоры, для принятых опор П10МИ-1(3) по рисунку 10, 0,3 м;

Δ - ширина полосы, отстоящей от контура опоры на уровне земли, при условии прохождения ВЛ-10 кВ по землям не сельскохозяйственного назначения с опорами без ригелей и оттяжек, 1 м [11].

Для принятых опор П10МИ-1(3) площадь основания стойки опоры определяется согласно рисунку 10.

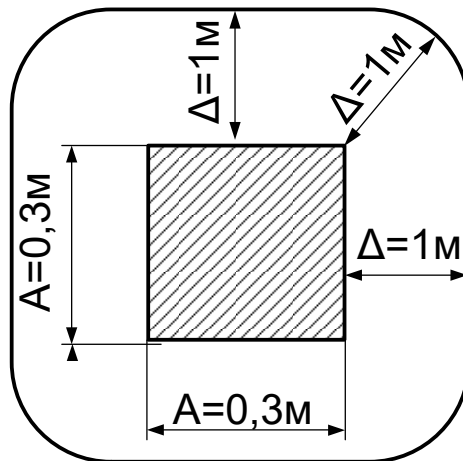


Рисунок 10 – Площадь земли, отведенная в постоянное пользование под опору П10МИ-1(3) ВЛ-10 кВ

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта площади земель, отводимых в постоянное пользование под опоры ВЛ-10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{\text{ПО}} = S_{\text{оп}} \cdot n_{\text{ОП}} ; \quad (144)$$

$$S_{\text{ПО}} = 4,43 \cdot 315 = 1394 \text{ м}^2,$$

где $S_{\text{оп}}$ - площадь земли, отводимая под одну опору ВЛ 10 кВ, определена расчётным способом;

$n_{\text{ОП}}$, - количество опор в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка по плану сетей, 315 шт.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта площади земель, отводимых в постоянное пользование в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{\text{ПП}} = S_{\text{ППП}} + S_{\text{ПО}} , \quad (145)$$

$$S_{\text{ПП}} = 760 + 1394 = 2154 \text{ м}^2,$$

где $S_{\text{ППП}}$ - площадь земли, найденная для отвода под ТП в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка, м²;

$S_{\text{ПО}}$ - площадь земли, найденная для отвода под опоры ВЛ в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка, м².

Проводится расчёт площади, отводимой во временное пользование для размещения на период строительства элементов системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Сидовичского района Еврейской автономной области.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта площади земель, отводимых во временное пользование для возведения ВЛ 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{ВЛ} = L_{ВЛ10кВ} \cdot (l_{\phi-\phi} + 4), \quad (146)$$

$$S_{ВЛ} = 22020 \cdot (1,2 + 4) = 114504 \text{ м}^2,$$

где $L_{ВЛ10кВ}$ - протяженность линий 10 кВ села Владимировка, 22020 м ;

$l_{\phi-\phi}$ - расстояние между крайними фазными проводами, определенное по рисунку 11, 1,2 м .

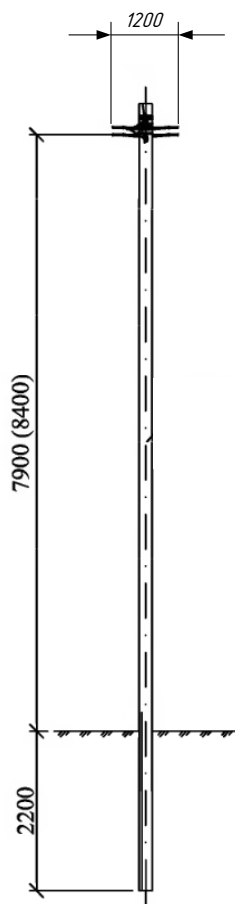


Рисунок 11 – Эскиз опоры 10 кВ П10МИ-1(3)

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта площади земель, отводимых во временное пользование для возведения опор ВЛ 10 кВ в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{ВМП} = n_{ОП} \cdot S_{ОП10кВ}, \quad (147)$$

$$S_{ВМП} = 315 \cdot 150 = 47186 \text{ м}^2,$$

где $S_{ОП10кВ}$ - площадь земельного участка, который используется при монтаже опор ВЛ 10 кВ села Владимировка, [10], 150 м²;

$n_{ОП}$, - количество опор в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка по плану сетей, 315 шт.

Основываясь на имеющейся формуле для расчёта площади земель, отводимых во временное пользование в рамках выполнения данного раздела работы сделаны требуемые вычисления:

$$S_{ВП} = S_{ВМП} + S_{ВЛ}, \quad (148)$$

$$S_{ВП} = 47186 + 114504 = 161690 \text{ м}^2,$$

где $S_{ВМП}$ - площадь земли во временное пользование, найденная для отвода для возведения опор в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка, м²;

$S_{ВЛ}$ - площадь земли во временное пользование, найденная для отвода для возведения линий 10 кВ в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка, м².

В результате расчётов была найдена площадь отвода во временное пользование, 161690 м² и в постоянное пользование, 2154 м². В постоянное пользование отводится площадь земель существенно больше, чем во временное. По-

сле завершения работ по реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области площадь земель, отведенных для целей проекта будет равна только площади постоянно-го отвода земель.

9.3 Чрезвычайные ситуации

Реконструкция системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области выполняется с учётом работ в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ».

Необходимо в качестве чрезвычайной ситуации рассматривать пожар в системе электроснабжения 10 кВ села Владимировка Смидовичского района Еврейской автономной области, ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ».

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка не реже одного раза в год планируется и выполняется уборка коридоров от пыли, при которой в обязательном порядке выполняется перечень организационных и технических мероприятий по действующим правилам техники безопасности [4].

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка запрещено хранение электротехнического оборудования, материалов и горючих жидкостей в запрещенных складских помещениях ЗРУ, а также запрещено хранение иных материалов и оборудования в кладовых помещениях, устройство которых также запрещено.

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка при проведении уборок используются пожаробезопасные моющие составы и препараты

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка при

проведении уборок допустимо использовать горючие жидкости и растворители, но ограниченным объёмом 1 л для разового применения.

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка не допустимо выполнять огнеопасные работы (сварка, пайка, разогрев) внутри ЗРУ на оборудовании без проведения комплекса противопожарных мероприятий.

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка наземные кабельные лотки и кабельные каналы требуется закрывать несгораемыми плитами в течении всего срока эксплуатации.

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка места подвода кабелей к ячейкам ЗРУ требуется закрывать несгораемое уплотнение с огнестойкостью не менее 0,75 ч в течении всего срока эксплуатации.

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка требуется размещать первичные средства пожаротушения в помещении ЗРУ непосредственно у входов в ЗРУ.

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка требуется определить места хранения защитных средств для пожарных подразделений при ликвидации пожара, количество средств, их тип.

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка не допускается использование защитных средств для пожарных подразделений при ликвидации пожара не по назначению.

Организаций, осуществляющая эксплуатацию системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка – АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»

Противопожарные инструктажи, занятия по пожарнотехническому минимуму и проверка знаний по выполнению правил пожарной безопасности проводятся по распоряжениям руководителей структурных подразделений подведомственных организаций, осуществляющих эксплуатацию системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка [17].

Первичный противопожарный инструктаж проводится по распоряжению ответственных руководителей при начале работ по реконструкции системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка, повторный противопожарный инструктаж проводится на рабочем месте.

Для соблюдения мер противопожарной безопасности в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка осуществляются регулярные проверки маслонаполненных аппаратов, включающие ревизию нормального уровня масла в них, отсутствие течей масла и потеков.

В ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка запрещено проведение огневых работ без оснастки первичными средствами тушения пожара, огнетушителями, ящиками с песком.

В ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка запрещено проведение огневых работ вблизи конструкций, подверженных возгоранию, покрытых огнеопасными и взрывоопасными летучие растворителями и разбавителями.

Противопожарный минимум и «Правила пожарной безопасности при проведении огневых работ» являются обязательными для руководства работниками при проведении огневых работ, проверка знаний данного уровня проводится по распоряжениям руководителей структурных подразделений подведомственных организаций, осуществляющих эксплуатацию системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка.

В случае возникновения возгорания в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка при наличии условий для безопасности рабочих разрешается приступить к тушению пожара всеми имеющимися средствами и вызвать подразделение по борьбе с огнём.

В случае возникновения возгорания в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка проводятся необходимые отключения поврежденного оборудования.

В случае возникновения возгорания на силовых трансформаторах 10/0,4 кВ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка допускается использовать наиболее распространенные средства пожаротушения, в том числе воздушно-механическую пену, распыленную воду, огнетушители.

Компактные струи воды для тушения горящего масла применять не рекомендуется, иначе может произойти увеличение площади пожара.

В случае возникновения возгорания проводов СИП-3 системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка допускается использовать углекислотные или углекислотно-бромэтиловые огнетушители, либо применять распыленную воду.

В случае возникновения возгорания в ЗРУ-10 кВ ПС «ДМ» и в ЗРУ ТП системы электроснабжения 10 кВ села Владимировка, при этом необходимые отключения поврежденного оборудования невозможно провести, допускается использовать компактные и распыленные струи воды для тушения возгорания, но проводятся мероприятия по заземлению ствола пожарного рукава, для участников подразделения по борьбе с огнём должны быть предусмотрены диэлектрических боты и перчатки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения проекта разработаны параметры система электро-снабжения 10 кВ. Используются рекомендуемые величины нагрузок ТП, по которым выбраны сечения и протяженность сетей 10 кВ. Просчитаны нагрузки на шинах 10 кВ ТП. На основе технико–экономического сравнения выбран вариант сети 10 кВ, для которого рассчитаны токи КЗ и по ним выбраны уставки РЗиА.

Описаны меры безопасности при работе с ВЛИ, рассчитаны площадь земель, отводимых в постоянное и временное пользование, приведены меры пожарной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматка электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2004.– 132 с.
- 2 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.
- 3 ГОСТ 12.1.030-81 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 4 ГОСТ 12.1.033-81 (2001) ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
- 5 ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»
- 6 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.
- 7 Касаткин, А. С. Курс электротехники [Текст] : учебник: Рек. Мин. обр. РФ / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. - 8-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2005. - 544 с.
- 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 Мазур И.И. Управление проектами: учеб. пособие / И.И. Мазур, Д. Шапиров, Н.Г'. Ольдегорте; под общ. ред. И.И, Мазура. - 3-е изд. - М.: 1мега-Л, 2015.-644 с.
- 10 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.

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

12 Отчет по практической подготовке, вид практики производственная практика, тип практики: преддипломная выполнил обучающийся Лобачёв Сергей Викторович (ФГБОУ ВО «АмГУ») Благовещенск, 2022г.

13 Официальный сайт Администрации Еврейской автономной области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.eao.ru/?p=469> – 27.05.2022 г.

14 Официальный сайт ОАО «Электрощит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electroshield.ru/catalog/properties/3/689/> – 27.05.2022 г.

15 Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.

16 Правила определения размеров земельных участков для размещения ВЛЭП и опор линий связи, обслуживающих электрические сети. Постановление правительства РФ от 11 августа 2003 года №486.

17 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий РД 153-34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95*)

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

19 Приложение к постановлению комитета по ценам и тарифам Правительства Еврейской автономной области от 24.12.2021 №51/8-П.

20 Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография. М.А. Шабад. - СПб.: ПЭИПК, 2003. - 4-е изд., перераб. и доп. - 350 стр.. ил.

- 21 Ротачёв Ю.А. Релейная защита и автоматика: Учебно-методическое пособие для студентов заочного обучения/ Амурский гос. ун-т – Благовещенск, 2000.
- 22 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК, 1999.
- 23 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0-20.527-98, М.: Издательство НЦ ЭНАС., 2012.
- 24 СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
- 25 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.
- 26 Судаков Г.В., Галушко Т.А. Оценка экономической эффективности проектов по строительству, реконструкции и модернизации систем электро-снабжения объектов. Учебное пособие. - Амурский гос. ун-т. 2006.
- 27 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.
- 28 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, 2012. — 964 с.