

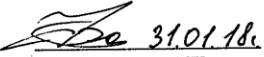
Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

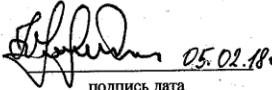
Факультет Энергетический
Кафедра энергетики
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы «Электроснабже-
ние»

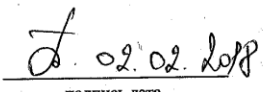
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
И. о. зав. кафедрой
Н.В. Савина
« 08 » 02 2018 г.

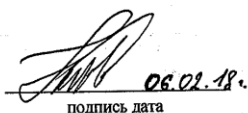
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Реконструкция системы электроснабжения села Многоудобное в
Шкотовском районе Приморского края.

Исполнитель
студент группы 442 узб  31.01.18.
подпись дата Д.М. Фомин

Руководитель
профессор, канд. техн. наук.  05.02.18.
подпись дата Ю.В. Мясоедов

Консультант
по безопасности и
экологичности
доцент, канд. техн. наук  02.02.18.
подпись дата А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
доцент, канд. техн. наук.  06.02.18.
подпись дата А.Н. Козлов

Благовещенск 2018

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

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖАЮ
И. о. зав. кафедрой
Н.В. Савина
« 30 » 10 2017г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента: Фомина Дмитрия Михайловича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы электроснабжения села Многоудобное в Шкотовском районе Приморского края

(утверждена приказом от 27.10.2017 № 2651-44)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работы: Схемы электроснабжения села Многоудобное, схемы ПС, план расположения ТП села Многоудобное

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Характеристика основных потребителей ПС «Многоудобное». Анализ существующей схемы электроснабжения 6кВ. Климатическая хар-ка местности. Определение расчетных нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП. Выбор мощности трансформаторов ТП. Определение расчетных нагрузок на шинах 6кВ ТП. Определение расчетных нагрузок на шинах 6 кВ ПС «Многоудобное». Выбор числа и мощности силовых трансформаторов. Расчет токов КЗ. Выбор оборудования ПС «Многоудобное». Выбор сечения ВЛ 6кВ. Проверка сечений ВЛ по термической стойкости и потере напряжения. Защита от прямых ударов молнии ПС «Многоудобное». Расчет сети заземления. Оценка надежности питания ПС «Многоудобное». Защита силовых трансформаторов ПС «Многоудобное». Безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): 6 листов графической части, 24 таблиц, 10 рисунков программный продукт Microsoft: Word, Visio.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящиеся к ним разделов): Булгаков Андрей Борисович, доцент, канд. техн. наук

7. Дата выдачи задания

30.10.2017

Руководитель выпускной квалификационной работы (проекта):

Мясоедов Юрий Викторович профессор, кандидат технических наук

(дата, подпись)

Задание принял к исполнению

[Подпись] 30.10.2017

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 72 с., 10 рисунков, 24 таблицы, 99 формул, 21 источник, 3 приложения.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ, АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ЦЕНТР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ПОДСТАНЦИЯ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ, ТРАНСФОРМАТОР ТОКА, ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ, НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЗАЩИТА ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Данная работа посвящена разработке оптимального варианта модернизации систем электроснабжения напряжением 6 кВ Приморского края с центром питания подстанции «Многоудобное». При выполнении данной работы были решены различные задачи такие как расчёт электрических нагрузок низкого напряжения на КТП рассматриваемого района, после этого был проведён расчёт сечения линии электропередач определены мощности двух обмоточных силовых трансформаторов комплектных трансформаторных подстанций.

С учетом данных о нагрузках а также об уровнях токов короткого замыкания в распределительных устройствах выполнен выбор и проверка трансформаторов а также коммутационного оборудования на ПС «Многоудобное».

Также в работе были решены дополнительные задачи такие как вопросы молниезащиты подстанции от грозовых перенапряжений, расчет экономических показателей при реконструкции и модернизации, подстанции а также различные вопросы электробезопасности

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АПВ – автоматическое повторное включение;

КЗ – короткое замыкание;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

КУ – компенсирующее устройство;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ОПН – ограничитель перенапряжений нелинейный;

ОУ – огнетушитель углекислотный;

ПС – подстанция;

РЗ - релейная защита;

ТН – трансформатор напряжения;

ТТ – трансформатор тока;

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Характеристика основных потребителей ПС «Многоудобное»	10
2 Анализ существующей схемы электроснабжения 6 кВ	11
3 Климатическая характеристика местности	15
4 Определение расчетных нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП	16
5 Выбор мощности трансформаторов ТП	21
6 Определение расчетных нагрузок на шинах 6 кВ ТП	24
7 Определение расчетных нагрузок на шинах 6 кВ ПС «Многоудобное»	27
7.1 Определение мощности компенсирующих устройств	27
8 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ПС «Многоудобное»	29
9 Расчет токов короткого замыкания	31
10 Выбор оборудования ПС «Многоудобное»	38
10.1 Выбор выключателей 35, 6 кВ	38
10.2 Выбор разъединителей 35 кВ	39
10.3 Выбор трансформаторов тока 35, 6 кВ	39
10.4 Выбор трансформаторов напряжения 35, 6 кВ	41
10.5 Выбор гибкой ошиновки 35 кВ	43
10.6 Выбор жестких шин 6 кВ	43
10.7 Выбор трансформаторов собственных нужд	44
11 Выбор сечений ВЛ 6 кВ	46
12 Проверка сечений ВЛ по термической стойкости и потере напряжения	48
12.1 Проверка линий 6 кВ на воздействие токов КЗ	51
12.2 Проверка линий 6 кВ по допустимой потере напряжения	52
13 Защита от прямых ударов молнии ПС «Многоудобное»	54

14 Расчет сети заземления	56
15 Оценка надежности питания ПС «Многоудобное»	59
16 Защита силовых трансформаторов ТМН 1000/35	63
16.1 Защита от перегрузки	63
16.2 Максимальная токовая защита	63
17 Безопасность и экологичность	65
17.1 Безопасность	65
17.2 Экологичность	67
17.3 Чрезвычайные ситуации	69
Заключение	70
Библиографический список	71
Приложение А Расчет нагрузок на стороне 0,4 кВ	73
Приложение Б Выбор трансформаторов 6/0,4 кВ	74
Приложение В Расчет нагрузки на стороне ВН КТП	75

ВВЕДЕНИЕ

Основным показателем который определяет техническое развитие электрических сетей а также показатели деятельности компании либо какого-то предприятия является его техническое перевооружение либо реконструкция. Мероприятия по перевооружению сети необходимо осуществлять совершенствованием систем электроснабжения включением прогрессивных технологических и решений, включением новых схем, нового оборудования, созданием сетей нового поколения, которые бы свою очередь отвечали экономическим требованиям и уровню прогресса а также соответствовали возрастающим нагрузкам.

Реконструируемые электрические сети должны обеспечивать надежность электроснабжения потребителей в различных режимах работы сети, высокий уровень качества электрической энергии, минимум затрат при эксплуатации данного оборудования.

В предлагаемой работе рассмотрены вопросы реконструкции системы электроснабжения села «Многоудобное» Приморского края а также центра питания для него подстанции «Многоудобное» 35/6 кВ, проблемой в данном случае является устаревшее оборудование которое требует скорейшей замены для избежания, выхода из строя и создания аварийной ситуации.

Такое оборудование вызывает в некоторых случаях опасность для всей сети. В работе в данном случае рассматривается вариант реконструкции систем электроснабжения село «Многоудобное» Приморского края и центра питания подстанции «Многоудобное» с целью увеличения качества и надежности электроснабжения потребителей.

Рассмотрим основные задачи которые решались в данной работе это: определение уровня электрических нагрузок комплектных трансформаторных подстанций, определение уровня электрических нагрузок

на подстанции «Многоудобное», определение типа количества и номинальной мощности силовых трансформаторов подстанции «Многоудобное», определение уровня токов короткого замыкания в расчетных точках, выбор оборудования на подстанции Многоудобное, расчёт уставок защит силовых трансформаторов, определение зон молниезащиты открытого распределительного устройства от грозовых перенапряжений.

Данная работа выполнена в соответствии со всеми требованиями действующих нормативных документов и актов.

Использованы программные комплексы: Microsoft: Word, Excel, Visio.
Matsoft: Mathcad.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПС «МНОГОУДОБНОЕ»

При определении характеристик потребителей «Многоудобное» следует отметить что в районе реконструкции расположены лишь одно трансформаторные подстанции на которых имеются силовые трансформаторы марки ТМ, с системой охлаждения в виде естественной циркуляции воздуха и масла а также наличием устройство переключения обмоток без возбуждения. Потребителями электрической энергии которые составляют основную массу в данном районе являются жилые дома, детские сады, школы, магазины, различные административные здания, лагерь, центральная котельная, сооружений очистки воды и лесопереработка.

Относительно надежности электроснабжения разделяем потребителей на две категории, в частности основную массу из них составляет 3 категории это большая часть и меньшую часть занимает 2 категория резервирование для которой выполнено при напряжении 0,4 кв. Потребители 1 категории отсутствуют в нагрузке.

Относим потребителей по роду электрического тока к однофазным напряжением 220 В составляющим 95% общей массы, в частности жилые дома и 5% это трехфазные электрические приемники представленные асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором.

2 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 6 КВ

Рассмотрим подробно однолинейную схему сети электроснабжения 6 кв центром питания подстанции «Многоудобное».

От источника питания в данном случае подключено несколько фидеров №6, 10, 15 которые выполнены по лучевой схеме питание осуществляется только с одной стороны. Фидер № 1 имеет двухстороннее питание.

Рассмотрим подробно каждый отходящий фидер.

Фидер №1: от него получают питание на трансформаторные подстанции ТП 781, 765, 717, 712, 720, 751, их питание выполнено от воздушной линии электропередач проводом марки АС, протяжённость участков составляет до 3,45 км, номинальная мощность трансформаторов составляет от 25 до 160 кВА.

Фидер №6 в данном случае подключены ТП 758, 763, 762, 782, 764, 713, 1721 которые также питаются по воздушной линии выполненной голым проводом различных марок и протяженности до 6,8 км, мощность трансформаторов варьируется от 102 до 250 кВА.

Фидер №10 в данном случае подключены ТП 710, 1742, 750, 769, 759, 761 питание как указывалось ранее также выполняется по воздушной линии провода марки АС протяженности участков от 01 до 6 км, мощность трансформаторов до 250 кВА.

Фидер №15 от него подключены одно трансформаторные ТП 780,1743 так же питание выполнено по воздушной линии голым проводом, протяженности участков до 13 км, мощность трансформаторов до 250 кВА.

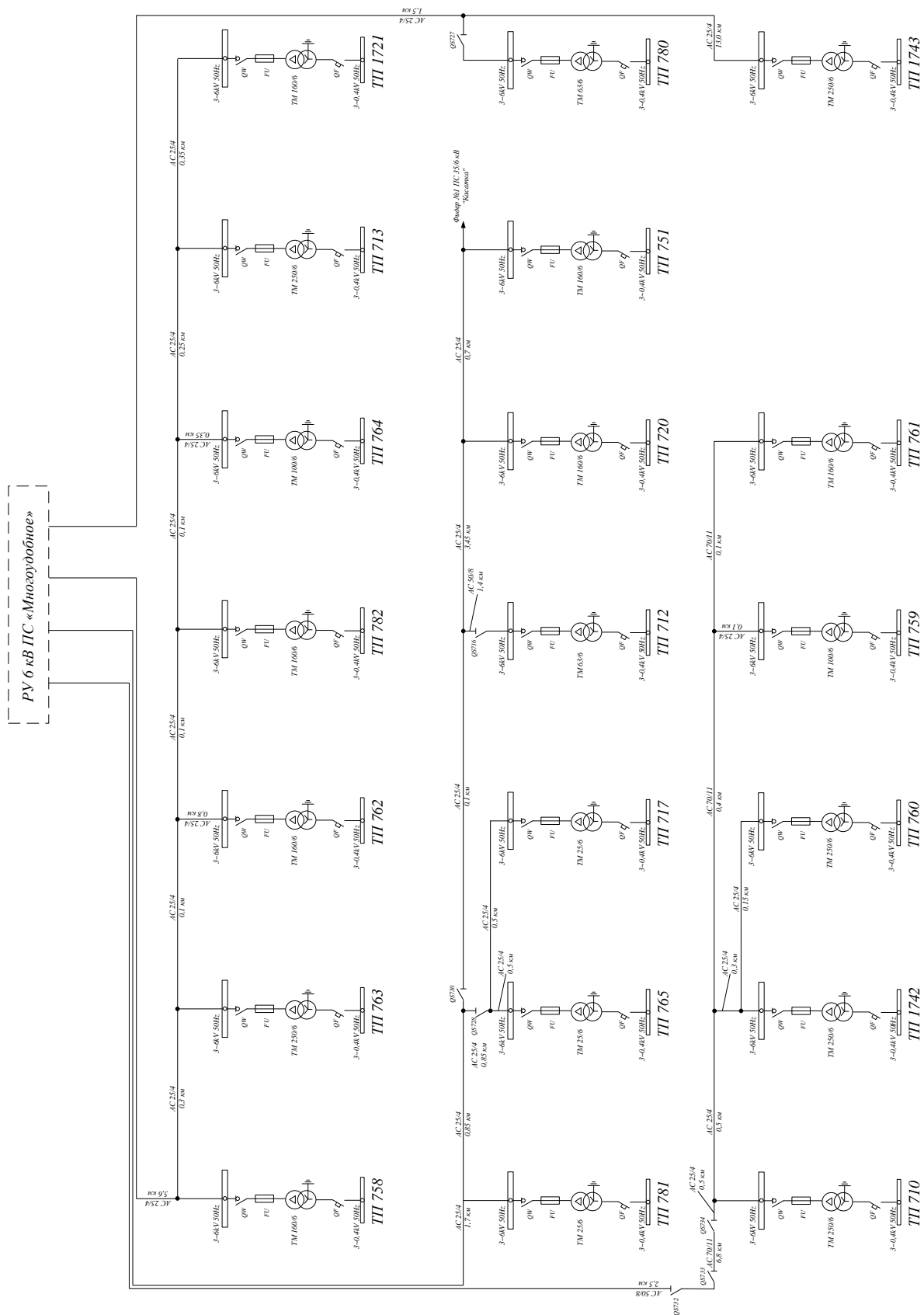


Рисунок 1 Однолинейная схема распределительной сети 6 кВ с центром питания ПС «Многоудобное»

В данном разделе также рассматривается однолинейная схема самой подстанции «Многоудобное» в данном случае РУВН выполнено в виде двух секций шин при этом питание приходит только на одну секцию с ПС «Кролевцы». Питающая ВЛ имеет протяженность 14,5 км, одноцепное исполнение и подключается к распределительному устройству через разъединитель.

Такая схема очень проста в эксплуатации имеет высокую надежность в качестве защитных коммутационных аппаратов для трансформаторов используются предохранители, которые в настоящее время не применяются на подстанциях такого уровня. На ПС установлено два трансформатора типа ТМН 2500/35/6 и имеющие устройства РПН.

На стороне использована схема с двумя секциями разделенными секционным выключателем с устройством автоматического ввода резерва следует отметить что здесь имеются резервные ячейки для подключения дополнительных фидеров

3 КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТНОСТИ

Рассмотрим частично климатическую характеристику района в котором располагаются проекты реконструкции электрических сетей в частности район по гололёду составляет 3, район по ветру также 3, эти данные способствуют правильному выбору электротехнического оборудования при реконструкции подстанции и электрической сети.

Так как если оборудование не соответствует климатическим характеристикам оно может выходить из строя и нарушать режим работы потребителей электрической энергии подключенных к шинам низкого напряжения подстанции «Многоудобное».

В таблице 1 приведены также и другие данные по климатические характеристики района которые понадобятся в дальнейших расчетах либо в выборе оборудования.

Таблица 1 - Климатические условия района проектирования

Наименование	Значение
район по гололеду	3
нормативная стенка гололеда, мм	10
район по ветру	3
низшая температура воздуха, °С	- 50
среднегодовая температура воздуха, °С	1,1
высшая температура воздуха, °С	+ 40
число грозных часов в год	45

Указанные используем в дальнейших расчетах

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНЫХ НАГРУЗОК НА ШИНАХ 0,4 КВ ТП

Рассмотрим подробно порядок расчета электрических нагрузок рассматриваемого района с центром питания подстанции «Многоудобное», для решения данной задачи в таблице 2 представлены данные по основным потребителям подключенным к этим подстанциям.

Используя эти данные выполняем расчет каждого отдельного потребителя при этом для примера рассмотрим расчет электрических нагрузок ТП 720 «пилорама», так как она имеет в своем составе двигатели поэтому расчет для проводим подробно.

Таблица 2 – Данные о потребителях электроэнергии 0,4 кВ

Наименование	Потребитель	Количество	Рном (кВт)
1	2	3	4
ТП 758	Частные дома	7	
	Магазины	100 м ²	-
ТП 763	Частные дома	10	-
	Магазины	80 м ²	-
ТП 762	Частные дома	11	-
	Магазины	100 м ²	-
ТП 782	Частные дома	12	-
	Магазины	50 м ²	-
ТП 764	Частные дома	15	-
	Магазины	50 м ²	--
ТП 713 «Школа»	Школа	600 м ²	-
ТП 1721 «Котельная»	Электродвигатели насосов	4	15
	Освещение помещения	200 м ²	-
ТП 781	Пионер лагерь	80 м ²	-
ТП 765	Частные дома	3	-
	Магазины	10 м ²	-
ТП 717	Частные дома	3	-
	Магазины	15 м ²	-
ТП 712	Освещение территории	200 м ²	-
	Обогрев	-	25
ТП 720	Освещение территории	2000 м ²	-
	Обогрев	-	25
	Деревообрабатывающие станки	8	5,5-15
ТП 751	Частные дома	10	-
	Магазины	50 м ²	-
ТП 710	Частные дома	14	-
	Магазины	50 м ²	-

Продолжение таблицы 2

ТП 1742	Школа	800 м ²	-
ТП 760	Частные дома	20	-
	Магазины	120 м ²	-
ТП 759	Частные дома	13	-
	Магазины	60 м ²	-
ТП 761	Освещение территории	800 м ²	-
	Обогрев	-	30
ТП 780	Освещение территории	1000 м ²	-
ТП 1743	Частные дома	15	-

Таблица 3 – Потребители 0,4 кВ ТП 720

Наименование ТП	Потребитель	Количество	Номинальная мощность (кВт)	Коэффициент мощности cosφ	Коэффициент использования
720	Деревообрабатывающий станок	2	5,5	0,65	0,2
	Деревообрабатывающий станок	3	15	0,65	0,2
	Циркулярная пила	3	15	0,65	0,17
	Освещение	2000 м ²	-	0,5	1
	Отопление	-	25	1	1

Групповой коэффициент использования [3]:

$$K_{Игр} = \frac{\sum K_{Иi} \times P_{Ноmi}}{\sum P_{Ноmi}} \quad (1)$$

где $K_{Иi}$ - коэффициент использования.

$P_{Ноmi}$ - номинальная мощность

$$K_{Игр} = \frac{0,2 \cdot 5,5 \cdot 2 + 0,2 \cdot 15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 15 \cdot 3}{5,5 \cdot 2 + 15 \cdot 3 + 15 \cdot 3} = 0,18$$

эффективное число электроприемников [3]:

$$n_э = \frac{(\sum n_i \times P_{Ноmi})^2}{\sum n_i \times P_{Ноmi}^2} \quad (2)$$

где n_i - число электроприемников.

$$n_3 = \frac{(5,5 \cdot 2 + 15 \cdot 3 + 15 \cdot 3)^2}{5,5^2 \cdot 2 + 15^2 \cdot 3 + 15^2 \cdot 3} = 7,23$$

Определяем среднюю:

$$P_{cp} = \sum K_{Иi} \times P_{Номi} \quad (3)$$

$$P_{cp} = 0,2 \cdot 5,5 \cdot 2 + 0,2 \cdot 15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 15 \cdot 3 = 18,85 \text{ (кВт)}$$

Принимаем $K_p = 1,5$, определяем расчетную активную мощность:

$$P_p = P_{cp} \cdot K_p \quad (4)$$

$$P_p = 18,85 \cdot 1,5 = 28,28 \text{ (кВт)}$$

Значение средней реактивной мощности [3]:

$$Q_{cp} = \sum K_{Иi} \times P_{Номi} \times \text{tg} \varphi_i \quad (5)$$

$$Q_{cp} = 0,2 \cdot 5,5 \cdot 2 \cdot 1,17 + 0,2 \cdot 15 \cdot 3 \cdot 1,17 + 0,2 \cdot 15 \cdot 3 \cdot 1,17 = 22,04 \text{ (кВар)}$$

Расчетная реактивная мощность:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cp} \quad (6)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 22,04 = 24,24 \text{ (кВар)}$$

Расчетная мощность осветительной нагрузки:

$$P_{p.o} = P_{уд.o} \cdot S_{пом} \quad (7)$$

где $P_{уд.o}$ - удельная мощность освещения производственного помещения приходящаяся на 1 м^2 (кВт/ м^2).

$S_{пом}$ - площадь освещаемых помещений (м^2)

$$P_{p.o} = 0,012 \cdot 2000 = 24$$

Реактивная мощность потребляемая осветительными приборами:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (8)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент мощности осветительных приборов.

$$Q_{p.o} = 24 \cdot 1,7 = 40,8$$

Полная расчетная:

$$P_{p\Sigma} = P_p + P_{p.o} + P_{\text{отопл}} \quad (9)$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + Q_{p.o} \quad (10)$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \quad (11)$$

где $P_{\text{отопл}}$ - расчетная мощность электрического отопления (кВт).

$$P_{p\Sigma} = 28,28 + 24 + 25 = 77,25$$

$$Q_{p\Sigma} = 24,24 + 40,8 = 65,04$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{77,25^2 + 65,04^2} = 101,01$$

Подробный расчет для остальных КТП представлен в приложении А, результаты расчета приведены в таблице 4

Таблица 4 – Расчетные данные по нагрузкам на шинах НН ТП

Наименование ТП	Расчетная активная мощность (кВт)	Расчетная реактивная мощность (кВАр)	Расчетная полная мощность (кВА)
1	2	3	4
ТП 758	75,2	23,29	78,72
ТП 763	84	23,4	87,19
ТП 762	94,2	27,09	98,02
ТП 782	85,5	21,23	88,1
ТП 764	94,5	23,03	97,27
ТП 713 «Школа»	150	57	160,46
ТП 1721 «Котельная»	55,4	43,15	70,22

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
ТП 781	20	7,6	21,4
ТП 765	21	5,03	21,59
ТП 717	21,75	5,59	22,46
ТП 712	27,4	4,08	27,71
ТП 720	77,25	65,04	100,98
ТП 751	79,5	20,03	81,98
ТП 710	85,5	21,23	88,1
ТП 1742	200	76	213,95
ТП 760	128	35,5	132,83
ТП 759	80,5	21,05	83,21
ТП 761	39,6	16,32	42,83
ТП 780	12	20,4	23,67
ТП 1743	82,5	16,5	84,13

Полученные данные будут использованы в дальнейшем.

5 ВЫБОР МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТП

Расчетная мощность трансформатора [2]:

$$S_{\text{ртр}} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{K_3 \cdot N} \quad (12)$$

де K_3 - номинальный коэффициент загрузки трансформатора (для одно трансформаторных КТП $K_3 = 0,8 - 0,85$;

N – количество трансформаторов

S_p - расчетная мощность нагрузки ТП (кВА)

На примере ТП №720,:

$$S_{\text{ртр}} = \frac{\sqrt{77,25^2 + 65,04^2}}{0,85} = 118,8 \text{ (кВА)}$$

Принимаем к установке на ТП трансформатор типа ТМГ 160/6 - У 1.

В данной работе для установки на трансформаторных подстанциях принимаем трехфазные масляные трансформаторы герметичного исполнения с отсутствующим расширительным баком и естественной циркуляцией воздуха и масла, наличием устройства ПБВ, которые могут включаться в сеть переменного тока частотой 50 герц а также предназначены для потребителей общего назначения.

Рассмотрим основные преимущества данного типа трансформаторов - это незначительное техническое обслуживание в порядке всего срока эксплуатации, отсутствие контакта масла с воздухом для повышения высокого уровня изоляционных свойств, минимальные размеры по сравнению с трансформаторами с расширительным баком, а также минимальное значение уровня шума что позволяет использовать их вблизи жилых объектов, также следует отметить низкие потери электрической энергии в ходе эксплуатации данного оборудования

Фактический коэффициент загрузки:

$$K_{зф} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{S_{номтр} \cdot N} \leq K_з \quad (13)$$

Фактический коэффициент загрузки ТП №720:

$$K_{зф} = \frac{\sqrt{77,25^2 + 65,04^2}}{160} = 0,63$$

Результаты расчета остальных ТП приведены в таблице 5.

Технические данные трансформаторов приведены в таблице 6.

Таблица 5 – Расчет мощности трансформаторов ТП

Наименование ТП	S_p (кВА)	$S_{ртр}$ (кВА)	$K_{зф}$	$n \times S_{тр}$ (кВА)
1	2	3	4	5
ТП 758	78,72	92,612	0,79	1×100
ТП 763	87,19	102,58	0,54	1×160
ТП 762	98,02	115,32	0,61	1×160
ТП 782	88,1	103,65	0,55	1×160
ТП 764	97,27	114,44	0,61	1×160
ТП 713	160,46	188,78	0,64	1×250
ТП 1721	70,22	82,612	0,7	1×100
ТП 781	21,4	25,176	0,54	1×40
ТП 765	21,59	25,4	0,54	1×40
ТП 717	22,46	26,424	0,56	1×40
ТП 712	27,71	32,6	0,69	1×40
ТП 720	100,98	118,8	0,63	1×160
ТП 751	81,98	96,447	0,82	1×100
ТП 710	88,1	103,65	0,55	1×160
ТП 1742	213,95	251,71	0,53	1×400
ТП 760	132,83	156,27	0,83	1×160
ТП 759	83,21	97,894	0,83	1×100
ТП 761	42,83	50,388	0,68	1×63
ТП 780	23,67	27,847	0,59	1×40
ТП 1743	84,13	98,976	0,84	1×100

Таблица 6 - Технические данные трансформаторов

Марка	ΔP_x (кВт)	ΔP_k (кВт)	U_k (%)	I_x (%)
ТМГ – 40/6	0,155	0,88	4,5	3,0
ТМГ – 63/6	0,22	1,28		3,0
ТМГ – 100/6	0,27	1,97		1,6
ТМГ – 160/6	0,41	2,6		1,5
ТМГ – 250/6	0,53	3,7		1,0
ТМГ – 400/6	0,8	5,5		0,8

Подробный расчет приведен в приложении Б.

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК НА ШИНАХ 6 КВ ТП

В данном разделе производится расчет потерь мощности и электрической энергии на трансформаторных подстанциях, с целью определения расчетных нагрузок на стороне высокого напряжения этих ТП.

Полученные данные используем для дальнейшего выбора оборудования такого как воздушные линии электропередач, компенсирующие устройства на подстанции «Многоудобное», силовые трансформаторы а также для определения общих расчетных нагрузок на стороне 6 кВ подстанции «Многоудобное».

Расчет проводится с учетом коэффициента совмещения максимумов нагрузки различных трансформаторных подстанций который зависит от их количества.

При расчете нагрузки на стороне высокого напряжения ТП она складывается из потерь в трансформаторах а также нагрузки на стороне низкого напряжения этих ТП.

Потери активной мощности (кВт) [2]:

$$\Delta P_m = \left(\frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{вн}^2} \right) \cdot R + \Delta P_x \quad (14)$$

$$\Delta P_m = \Delta P_k \cdot K_{зф}^2 + \Delta P_x \quad (15)$$

Потери реактивной мощности (квар):

$$\Delta Q_m = \left(\frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{вн}^2} \right) \cdot X + \Delta Q_x \quad (16)$$

$$\Delta Q_m = \frac{u_k \cdot S_n^2}{100 \cdot S_{тном}} + \frac{I_x \cdot S_{тном}}{100} \quad (17)$$

где P_n - расчетная активная мощность

Q_n - расчетная реактивная мощность

R - активное сопротивление трансформатора

X - реактивное сопротивление трансформатора

ΔP_x - потери активной мощности XX

ΔQ_x - потери реактивной мощности XX

Потери мощности в двух трансформаторах ТП №720:

$$\Delta P_m = \Delta P_k \cdot K_{зф}^2 + \Delta P_x = 2,2,6 \cdot 0,63^2 + 0,41 = 1,44 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_m = \frac{u_k \cdot S_n^2}{100 \cdot S_{ном}} + \frac{I_x \cdot S_{ном}}{100} = \frac{4,5 \cdot 100,98^2}{100 \cdot 160} + \frac{1,5 \cdot 160}{100} = 5,27 \text{ (квар)}$$

Полная мощность потерь (кВА):

$$\Delta S_m = \sqrt{\Delta P_m^2 + \Delta Q_m^2} = \sqrt{1,44^2 + 5,27^2} = 5,46$$

Полная мощность на шинах высокого напряжения ТП:

$$S_{p10} = S_{p0,4} + \Delta S_m = 100,98 + 5,46 = 106,4$$

Результаты расчета потерь мощности в остальных трансформаторах приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Расчетная мощность нагрузки 6 кВ КТП

КТП	$K_{зф}$	Потери в трансформаторах			Расчетная нагрузка узла (кВА)
		(кВт)	(квар)	(кВА)	
1	2	3	4	5	6
ТП 758	0,79	1,5	4,39	4,64	83,36
ТП 763	0,54	1,17	4,54	4,69	91,88
ТП 762	0,61	1,38	5,1	5,28	103,3
ТП 782	0,55	1,2	4,58	4,74	92,84
ТП 764	0,61	1,38	5,06	5,25	102,5
ТП 713	0,64	2,05	7,13	7,42	167,9
ТП 1721	0,7	1,24	3,82	4,01	74,23

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6
ТП 781	0,54	0,41	1,72	1,76	23,16
ТП 765	0,54	0,41	1,72	1,77	23,36
ТП 717	0,56	0,43	1,77	1,82	24,28
ТП 712	0,69	0,57	2,06	2,14	29,85
ТП 720	2220,63	1,44	5,27	5,46	106,4
ТП 751	0,82	1,59	4,62	4,89	86,87
ТП 710	0,55	1,2	4,58	4,74	92,84
ТП 1742	0,53	2,34	8,35	8,67	222,6
ТП 760	0,83	2,2	7,36	7,68	140,5
ТП 759	0,83	1,63	4,72	4,99	88,2
ТП 761	0,68	0,81	3,2	3,3	46,13
ТП 780	0,59	0,46	1,83	1,89	25,56
ТП 1743	0,84	1,66	4,79	5,06	89,19

Подробный расчет приведен в приложении В.

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК НА ШИНАХ 6 КВ ПС «МНОГОУДОБНОЕ»

Находи мощность нагрузки на шинах низкого напряжения ПС
«Многоудобное» по следующей формуле:

$$P_p = k_y \cdot \sum P_{pi} \quad (18)$$

$$Q_p = k_y \cdot \sum Q_{pi} \quad (19)$$

где P_{pi} - расчетная активная мощность нагрузки на шинах 6 кВ от каждой
ТП

Q_{pi} - расчетная реактивная мощность нагрузки на шинах 6 кВ от
каждой ТП

k_y - коэффициент участия максимуме нагрузки.

$$P_p = 0,75 \cdot 1538,86 = 1154,15 \text{ (кВт)}$$

$$Q_p = 0,75 \cdot 619,17 = 464,37 \text{ (кВАр)}$$

Полная расчетная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (20)$$

$$S_p = \sqrt{1154,15^2 + 464,37^2} = 1286,25 \text{ (кВА)}$$

Полученные данные используются для выбора силовых
трансформаторов и компенсирующих устройств ПС «Многоудобное».

7.1 Определение мощности компенсирующих устройств

Требуемая мощность КУ (кВАр) [7]:

$$Q_K = Q_p - P_p \cdot \operatorname{tg} \cdot \varphi \quad (21)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – предельный коэффициент мощности

Q_P - расчетная реактивная мощность электроприемников

P_P - расчетная активная мощность потребителей

Определяем мощность устройств для одной секции шин

$$Q_{k1} = \frac{Q_K}{2} \quad (22)$$

Принимаем мощность из стандартного ряда и рассчитываем некомпенсированную мощность:

$$Q_{\text{неск}} = Q_P - Q_{\text{ном}} \quad (23)$$

где $Q_{\text{ном}}$ - номинальная мощность.

Проводим расчет для ПС «Многоудобное», мощность КУ требуемая:

$$Q_K = 464,37 - 1154,15 \cdot 0,4 = 2,71 \text{ (кВАр)}$$

Полученное значение пренебрежимо мало и нет рациональной необходимости установки устройств компенсации реактивной мощности.

8 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПС «МНОГОУДОБНОЕ»

Расчетная мощность силового двух обмоточного трансформатора определяется по следующей формуле (кВА) [9]:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{n_T \cdot K_3^{opt}} \quad (24)$$

где S_p – расчётная мощность трансформатора (кВА);

P_p – расчетная активная мощность

Q_p – расчетная реактивная мощность

n_T – число трансформаторов

K_3^{opt} – оптимальный коэффициент загрузки для двух трансформаторов

(принимается 0,7).

Проверка выбранного трансформатора по коэффициенту загрузки:

$$K_H = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{n_T \cdot S_{Тном}} \quad (25)$$

$$K_A = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{(n_T - 1) \cdot S_{Тном}} \quad (26)$$

Для ПС «Многоудобное»:

$$S_p = \frac{\sqrt{1154,15^2 + 464,37^2}}{2 \cdot 0,7} = 888,62 \text{ (кВА)}$$

Выбираем трансформатор ТМН 1000/35.

Проверяем коэффициенты загрузки:

$$K_H = \frac{\sqrt{1154,15^2 + 464,37^2}}{2 \cdot 1000} = 0,62$$

$$K_A = \frac{\sqrt{1154,15^2 + 464,37^2}}{1000} = 1,24$$

Значения коэффициентов имеют приемлемое значение следовательно
расчет окончен

9 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Необходимость расчета токов короткого замыкания в данном разделе обусловлена тем что эти данные понадобятся при дальнейшем выборе коммутационного, измерительного и иного оборудования на подстанции «Многоудобное».

На основе этих данных выполняется проверка по коммутационной, тепловой и динамической стойкости оборудования. Данная проверка является обязательной при реконструкции систем электроснабжения либо при модернизации и установке нового оборудования.

Различают несколько видов токов короткого замыкания но при этом в данной работе рассматривается самое тяжёлое короткое замыкание это трехфазное металлическая на шинах распределительных устройств подстанции «Многоудобное».

При трехфазном коротком замыкании происходят наибольшее динамические усилия также термическое воздействие на оборудование, это короткое замыкание позволяет полноценно выбрать оборудование которое в дальнейшем будет без замечаний. При расчёте токов короткого замыкания могут использоваться несколько методов например: метод относительных единиц либо именованных единиц в данном случае будем использовать метод относительных единиц с использованием среднего ряда напряжений что значительно упрощает расчёт токов короткого замыкания.

На рисунке 4 представлена схема замещения участка сети для расчета токов КЗ.

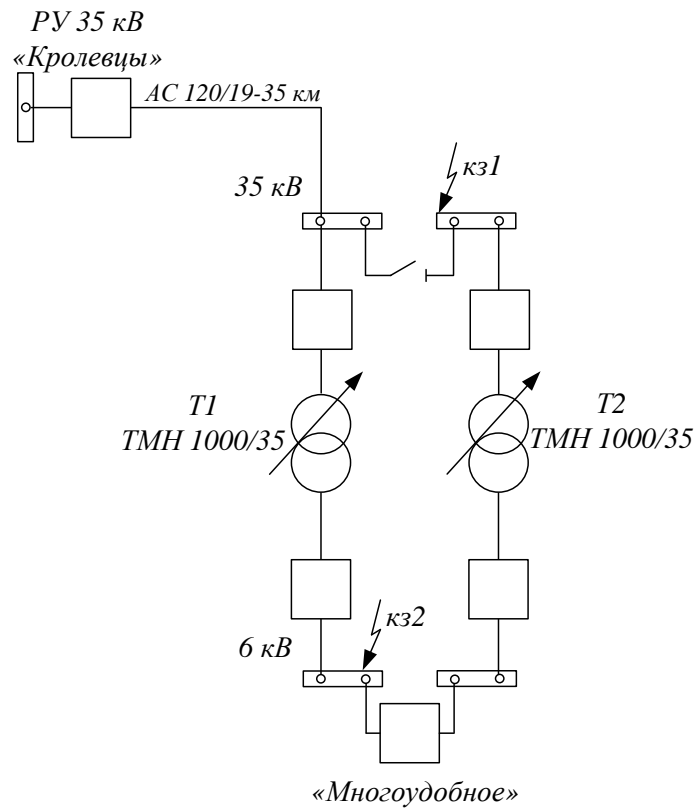


Рисунок 3 – Расчетные места КЗ

Подробный расчет токов короткого замыкания проводим для точки №1.

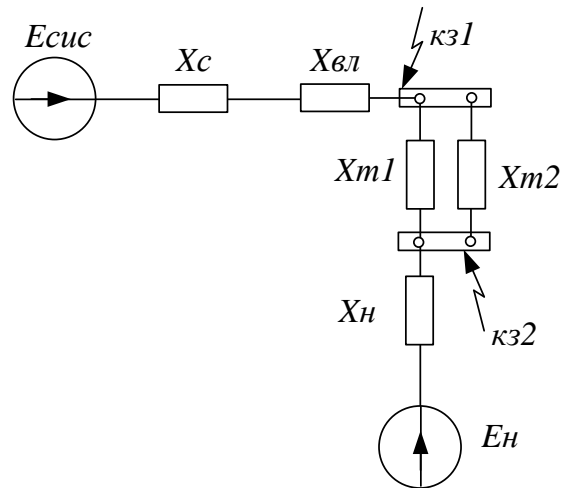


Рисунок 4 – Схема замещения

Принимаем следующие базисные условия :

- 1) базисная мощность $S_{\delta} = 1$ (МВА),

2) базисное напряжение на стороне 35 (кВ) $U_{635} = 37$,

3) базисное напряжение на стороне 6 (кВ) $U_{66} = 6,3$.

4) ЭДС и сопротивление нагрузки соответственно равны 0,85 и 0,35

(о.е.)

Базисный ток:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \quad (27)$$

где I_6, U_6 – базисные ток и напряжение.

$$I_{635} = \frac{1,0}{\sqrt{3} \cdot 37} = 0,016 \text{ (кА)}$$

$$I_{66} = \frac{1,0}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,09 \text{ (кА)}$$

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{S_6}{S_c} \quad (28)$$

$$X_c = \frac{1,0}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot 5,8} = 0,002 \text{ (о.е.)}$$

где S_c – мощность короткого

Сопротивление ВЛ «Кролевцы» - «Многоудобное»:

$$X_{ВЛ} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{ср}^2} \quad (29)$$

где $x_{уд}$ – удельное индуктивное сопротивление ВЛ (Ом/км)

l – протяженность питающей линии (км)

$$X_{ВЛ} = 0,4 \cdot 35 \cdot \frac{1,0}{37^2} = 0,01 \text{ (о.е.)}$$

Сопротивление обобщенной нагрузки:

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{S_6}{S_H} \quad (30)$$

где S_H , – мощность нагрузки (МВА)

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{S_6}{S_H} = 0,35 \cdot \frac{1,0}{\sqrt{1,15^2 + 0,46^2}} = 0,28 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление трансформаторов:

$$X_T = \frac{u_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}} \quad (31)$$

$$X_{T1} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1,0}{1,0} = 0,075 \text{ (о.е.)}$$

$$X_{T2} = X_{T1} = 0,075 \text{ (о.е.)}$$

где $u_{к\%}$, – паспортное значение напряжения короткого замыкания

Последовательное преобразование схемы замещения на примере точки короткого замыкания №1 показано на рисунках 5,6,7:

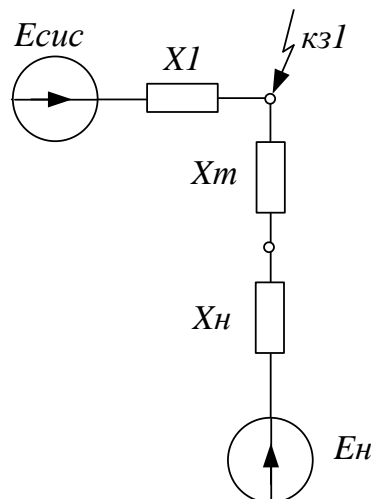


Рисунок 5 – Преобразование схемы замещения

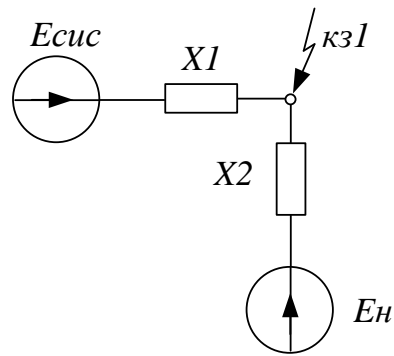


Рисунок 6 – Преобразование схемы замещения

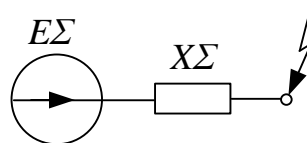


Рисунок 7 – Преобразование схемы замещения

Преобразование схемы замещения:

$$X1 = X_C + X_{ВЛ} = 0,002 + 0,01 = 0,012 \text{ (о.е.)} \quad (32)$$

$$X_T = \frac{X_{ТЛ}}{2} = \frac{0,075}{2} = 0,038 \text{ (о.е.)} \quad (33)$$

$$X2 = X_T + X_H = 0,038 + 0,28 = 0,318 \text{ (о.е.)} \quad (34)$$

$$X_{\Sigma} = \frac{X1 \cdot X2}{X1 + X2} = \frac{0,012 \cdot 0,318}{0,012 + 0,318} = 0,012 \text{ (о.е.)} \quad (35)$$

$$E_{\Sigma} = \frac{E_c \cdot X2 + E_H \cdot X1}{X1 + X2} = \frac{1 \cdot 0,318 + 0,85 \cdot 0,012}{0,318 + 0,012} = 0,995 \text{ (о.е.)} \quad (36)$$

Находим начальное значение периодической составляющей тока кз1:

$$I_{но1} = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}} \cdot I_{635} = \frac{0,995}{0,012} \cdot 0,016 = 1,4 \text{ (кА)} \quad (37)$$

Апериодическая составляющая тока КЗ:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no1} \cdot e^{-\frac{T_{OB}}{T_a}} \quad (38)$$

где I_{no} – периодическая составляющая тока КЗ

T_{OB} – время отключения выключателя с учетом работы защиты (сек), в данном случае принимается 0,6 сек.

T_a – постоянная времени (справочная величина).

Определяем апериодическую составляющую:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no1} \cdot e^{-\frac{T_{OB}}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 1,32 \cdot e^{-\frac{0,6}{0,03}} = 0,01 \text{ (кА)}$$

Постоянная времени определяется по следующей формуле:

$$T_a = \frac{X_p}{\omega \cdot R_p} \quad (39)$$

где X_p – результирующее индуктивное сопротивление

R_p – результирующее активное сопротивление

ω – угловая частота (справочная величина)

Принимаем постоянную времени:

$$T_a = 0,03$$

Ударный ток КЗ:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right)$$

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,03}} \right) = 3,39 \text{ (кА)}$$

Аналогично проводится расчет токов короткого замыкания для точки №2 результаты расчета сводятся в таблицу 8:

Таблица 8 – Уровни токов короткого замыкания в РУ ПС «Многоудобное»

Расчетная точка короткого замыкания	$I_{по}, (кА)$	$I_{ат}, (кА)$	$I_{уд}, (кА)$
1	1,4	0,01	3,39
2	4,53	0,02	10,96

Указанные данные используем в дальнейшем при выборе оборудования на ПС «Многоудобное».

10 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ПС «МНОГОУДОБНОЕ»

10.1 Выбор выключателей 35,6 кВ

Выбираем выключатель для РУ 35 кВ первоначально принимаем для установки элегазовый выключатель марки ВГБ-35-12,5/630 УХЛ1.

Сравнение параметров показано в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор выключателя 35 кВ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{номсети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{макс} = 21,21 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Номинальный ток включения	$I_{вкл} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{н0} = 1,4 \text{ кА}$	$I_{вкл} \geq I_{н0}$
Наибольший пик тока включения	$i_{вкл} = 31 \text{ кА}$	$i_{уд} = 3,39 \text{ кА}$	$i_{вкл} \geq i_{уд}$
Номинальный ток отключения	$I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{нт} = 1,4 \text{ кА}$	$I_{откл} \geq I_{нт}$
Номинальное значение аperiodической составляющей, кА	$i_{ан} = 7,9 \text{ кА}$	$i_a = 0,01 \text{ кА}$	$i_{ан} \geq i_a$
Предельный сквозной ток	$i_{прскв} = 31 \text{ кА}$	$i_{уд} = 3,39 \text{ кА}$	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 5000 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 5,88 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$

Принимаем для установки в РУ 6 кВ выключатель вакуумный ВВЭ-М-6(10)-31,5-630 в комплекте КРУ типа К-59

Сравнение параметров показано в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор выключателя 6 кВ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
1	2	3	4
Номинальное напряжение (кВ)	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{номсети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток (А)	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{макс} = 70,71 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{макс}$

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
Номинальный ток включения (кА)	$I_{вкл} = 40 \text{ кА}$	$I_{н0} = 4,53 \text{ кА}$	$I_{вкл} \geq I_{н0}$
Наибольший пик тока включения (кА)	$i_{вкл} = 128 \text{ кА}$	$i_{уд} = 10,96 \text{ кА}$	$i_{вкл} \geq i_{уд}$
Номинальный ток отключения (кА)	$I_{откл} = 40 \text{ кА}$	$I_{нт} = 4,53 \text{ кА}$	$I_{откл} \geq I_{нт}$
Номинальное значение апериодической составляющей (кА)	$i_{ан} = 8,48 \text{ кА}$	$i_a = 0,02 \text{ кА}$	$i_{ан} \geq i_a$
Предельный сквозной ток (кА)	$i_{прскв} = 128 \text{ кА}$	$i_{уд} = 10,96 \text{ кА}$	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 4800 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 61,56 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$

10.2 Выбор разъединителей 35 кВ

Для РУ ВН 35 кВ, выбираем разъединители марки РДЗ-35/1000 УХЛ1.

Сравнение параметров показано в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор и проверка разъединителя 35 кВ

Номинальные параметры разъединителя	Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Предельный сквозной ток	$i_{прскв} = 63 \text{ кА}$	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1875 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$

10.3 Выбор трансформаторов тока 35, 6 кВ

Находим сопротивление вторичной нагрузки:

$$Z_2 \approx r_2 = r_{пров} + r_{приб} + r_k \quad (40)$$

Сопротивление контактов $r_k = 0,1 \text{ Ом}$. Сопротивление проводов:

$$r_{пров} = \frac{\rho \cdot l}{F} \quad (41)$$

где $\rho = 0,0283 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2)/\text{м}$ – удельное сопротивление алюминия;

l - длина соединительных проводов, для РУ 35 и 6 кВ - 60 м ;

F - сечение соединительного провода, $F = 4 \text{ мм}^2$.

Сопротивление соединительных контрольных проводов (для 35 и 6 кВ):

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 60}{4} = 0,43 \text{ (Ом)}$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} \quad (42)$$

где $S_{\text{приб}}$ - мощность, потребляемая приборами;

I_2 - вторичный номинальный ток трансформатора тока, $I_2 = 1 \text{ А}$.

Для работы в цепях АИИСКУЭ принимаем трехфазный прибор учета Энергомера «ЦЭ6823М».

Расчет нагрузки наиболее загруженной фазы на напряжении 35, 6 кВ приведен в таблице 12

Таблица 12 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 35 и 6 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, В·А
Амперметр	Э-350	0,5
Счетчик АЭ	ЦЭ6823М	0,12
Счетчик РЭ		

Мощность фазы на напряжение 35 и 6 кВ $S_{\text{приб}} = 0,62 \text{ ВА}$. Тогда сопротивление приборов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I^2} = \frac{0,62}{1} = 0,62 \text{ (Ом)}$$

Вторичная нагрузка трансформатора тока (на стороне 35 и 6 кВ):

$$Z_{2.10} = r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}} + r_{\kappa} = 0,62 + 0,43 + 0,1 = 1,15 \text{ (Ом)}$$

Выбираем трансформатор тока для РУ 35 кВ ТОЛ-35-III. Сравнение параметров приведено в таблице 13.

Таблица 13 – Проверка выбранного ТТ 35 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока	Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток	$I_{ном} = 150 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Предельный сквозной ток	$i_{прскв} = 125 \text{ кА}$	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, $\text{кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 7203 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$
Номинальная вторичная нагрузка Z_2 ном (Ом)	30 Ом	$Z_{2ном} \geq Z_2$

Принимаем трансформатор тока для РУ 6 кВ ТПЛК - 6/150. Сравнение параметров приведено в таблице 14.

Таблица 14 – Проверка выбранного ТТ 6 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока	Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток	$I_{ном} = 150 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Предельный сквозной ток	$i_{прскв} = 140 \text{ кА}$	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, $\text{кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 58800 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$
Номинальная вторичная нагрузка Z_2 ном (Ом)	15 Ом	$Z_{2ном} \geq Z_2$

10.4 Выбор трансформаторов напряжения 35, 6 кВ

Выбор трансформатора напряжения проводится по условию

$$S_{2ном} \geq S_2 \quad (43)$$

где $S_{2ном}$ - номинальная мощность в выбранном классе точности;

S_2 - нагрузка измерительных приборов и защит, присоединенных к трансформатору напряжения.

Определяем мощность вторичной нагрузки трансформаторов напряжения. Данные представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения 35 кВ

Тип прибора	Прибор	Количество приборов	Потребляемая мощность, В·А
Вольтметр	Э-335	2	2
Варметр	Д-335	2	1,5
Ваттметр	Д-335	2	1,5
Счетчик АЭ	ЦЭ6823М	2	4
Счетчик РЭ			
Сумма			18

Выбираем для РУ 35 кВ трансформатор напряжения типа НАМИ 35 УХЛ1.

Проводим проверку по мощности вторичной нагрузки на ПС «Многоудобное». Данные приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Проверка выбранного ТН 35 кВ

Номинальные параметры ТН		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,2	$S_{2ном} = 75 \text{ ВА}$	$S_2 = 18 \text{ ВА}$	$S_{2ном} \geq S_2$

Выбираем трансформатор напряжения для РУ 6 кВ НАМИ 6 УХЛ1.

Определяем мощность вторичной нагрузки. Данные представлены в таблице 17:

Таблица 17 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения 6 кВ

Тип прибора	Прибор	Количество приборов	Потребляемая мощность, В·А
Вольтметр	Э-335	2	2
Варметр	Д-335	2	1,5
Ваттметр	Д-335	2	1,5
Счетчик АЭ	ЦЭ6823М	14	4
Счетчик РЭ			
Сумма			66

Таблица 18 – Проверка выбранного ТН 6 кВ

Номинальные параметры ТН		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,2	$S_{2ном} = 75 \text{ ВА}$	$S_2 = 66 \text{ ВА}$	$S_{2ном} \geq S_2$

Трансформатор напряжения проходит по параметрам следовательно его оставляем.

10.5 Выбор гибкой ошиновки 35 кВ

На РУ ВН 35 кВ ПС «Многоудобное» применяются провода таким же сечением как и отходящая ВЛ – 120/19 мм² Марка провода АС. Проверку на корону гибкой ошиновки 35 кВ проводить не требуется.

10.6 Выбор жестких шин 6 кВ

Принимаем первоначально шины размером 50 × 5 мм, типа АДО с длительно допустимым током 960 А.

Проверка термической стойкости:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{61,56}}{91} = 0,08 \text{ (см}^2\text{)} \quad (44)$$

где B_k – интеграл джоуля, рассчитан при выборе выключателей.

C - коэффициент для алюминия 91

Проверка механической прочности:

$$l \leq \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}} = \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{5,21}{2,5}}} = 1,12 \text{ (м)} \quad (45)$$

где J – момент инерции шины ($\text{см}^3 \times \text{см}$).

q - сечение проводника, в данном случае составляет 2,5 (см^2)

Момент инерции шин:

$$J = b \cdot h^3 \frac{1}{12} = 0,5 \cdot 5^3 \frac{1}{12} = 5,21 \quad (\text{см}^3 \times \text{см}) \quad (46)$$

Согласно расчета принимаем пролет между изоляторами 1,1 м.

Максимальное динамическое усилие при КЗ:

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_{y\partial}^2}{a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{10960^2}{0,4} = 52,01 \quad (\text{Н/м}) \quad (47)$$

где $i_{y\partial}$ – ударный ток короткого замыкания согласно расчетным данным (А).

a - расстояние между фазами шин 0,4 (м).

Момент сопротивления по формуле

$$W = b \cdot h^2 \frac{1}{6} = 0,5 \cdot 5^2 \frac{1}{6} = 2,08 \quad (\text{см}^3) \quad (48)$$

Механическое напряжение в проводе:

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{y\partial}^2 \cdot l^2}{W \cdot a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{10960^2 \cdot 1,1^2}{2,08 \cdot 0,4} = 2,09 \quad (\text{МПа}) \quad (49)$$

Расчет показывает что напряжение в материале шин меньше предельного для данного материала шин 60 МПа

10.7 Выбор трансформаторов собственных нужд

Выбор номинальной мощности трансформатора проводится на основании данных по вторичной нагрузке представленных в таблице 19

Таблица 19 – Расчетная нагрузка для выбора мощности ТСН

Вид потребителя	Расчетная мощность приемника (кВА)
Приводы выключателей	4,36
Обогрев приводов выключателей	2,4
Обогрев ЗРУ 6 кВ	1
Освещение коридора ЗРУ 6 кВ	2
Освещение ячеек 6 кВ	1,4
Освещение ОРУ	8
Расчетная полная мощность	30,16

Расчетная мощность трансформатора:

$$S_p = \frac{S_n}{n_T \cdot K_3^{omt}} = \frac{30,16}{2 \cdot 0,7} = 21,54 \text{ (кВА)} \quad (50)$$

По расчетной мощности выбираем сухой трансформатор с литой изоляцией типа ТС 25/6 номинальной мощностью 25 кВА.

11 ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ВЛ 6 КВ

Выбор проводника для ВЛ выполняется по условию:

$$I_p \leq I_{\text{до}}$$

где I_p – расчетный ток в сечении, А;

$I_{\text{до}}$ – длительно допустимый ток для определенного типа проводника (линии электропередачи), определяется по паспортным данным.

В данной работе в качестве проводника рассмотрим провод типа СИП-3

Основные характеристики такого проводника приведены в таблице 20

Токи во всех сечениях сети определяются как:

$$I_p = \frac{k_y \cdot \sum S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (51)$$

где S_p – расчетные мощности ТП (кВА);

Расчетный ток на участке РУНН 6 кВ «Многоудобное» – «ТП 1743» определяется как:

$$I_p = \frac{0,9 \cdot (25,56 + 89,19)}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 5,68 \text{ (А)}$$

Принимаем проводник СИП-3 3×16 с длительно допустимым током 100 А, для остальных сечений расчет приведен в таблице 21:

Таблица 20 – Выбор типа и сечений проводников

Участок	S_p (кВА)	Nц	I_p (А)	Марка и сечение проводника	$I_{\partial\partial}$ (А)
РУНН 6 кВ «Многоудобное» – «ТП 761»	501,73	1	27,59	СИП-3 3×16	100
РУНН 6 кВ «Многоудобное» – «ТП 751»	235,14	1	12,93	СИП-3 3×16	100
РУНН 6 кВ «Многоудобное» – «ТП 1721 «Котельная»	572,81	1	31,5	СИП-3 3×16	100
РУНН 6 кВ «Многоудобное» – «ТП 1743»	103,28	1	5,68	СИП-3 3×16	100

Далее проводим проверку выбранных сечений

12 ПРОВЕРКА СЕЧЕНИЙ ВЛ ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ И ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Принципиальная схема сети 6 Кв для расчета токов короткого замыкания представлена с указанием расчетных точек короткого замыкания на рисунке 8. Соответствующая схема замещения представлена на рисунке 9.

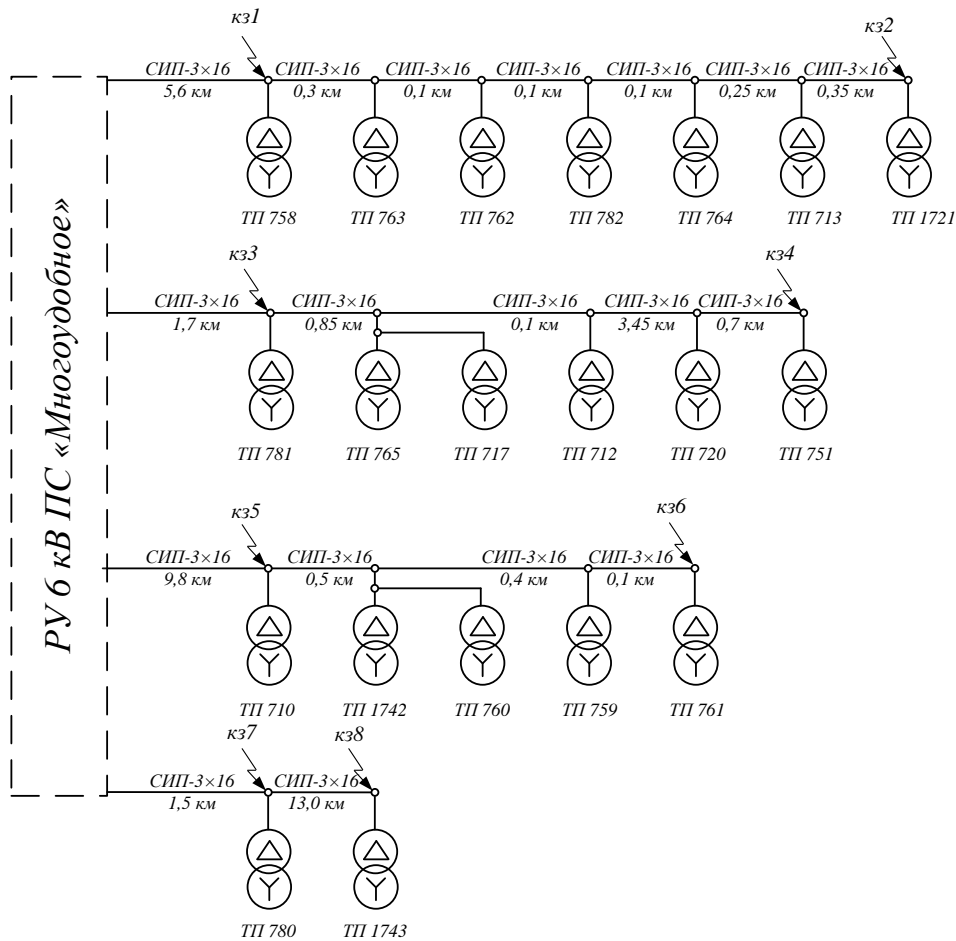


Рисунок 8 – Схема сети для расчета с указанием расчетных точек КЗ

Сопротивление системы определяется по формуле (Ом):

$$X_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз6}} \quad (52)$$

где $I_{кз6}$ – ток трёхфазного КЗ

сопротивления участков ЛЭП (Ом):

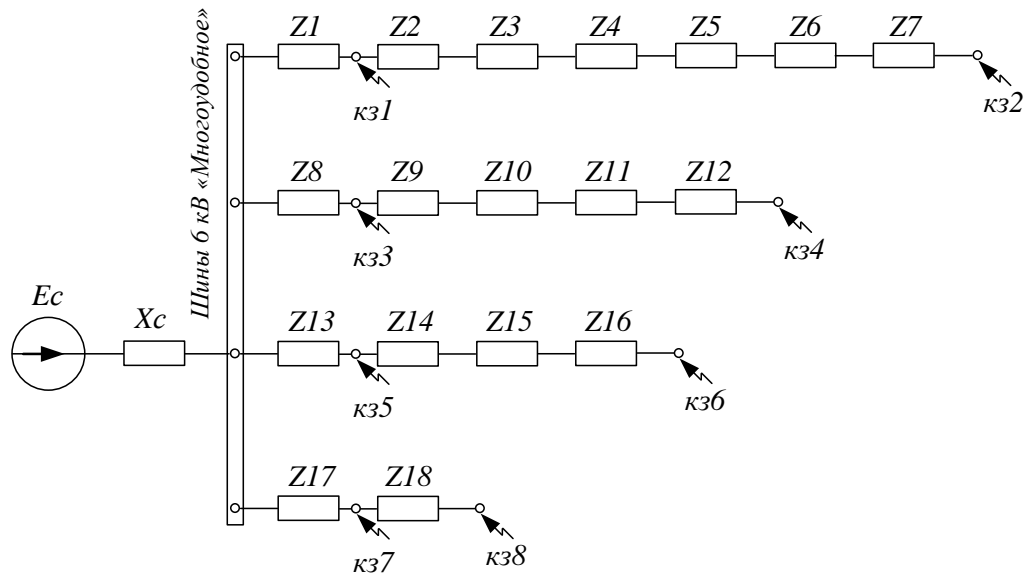


Рисунок 9 – Схема замещения сети 6 кВ

$$X_n = x_0 \cdot L \quad (53)$$

$$R_n = r_0 \cdot L \quad (54)$$

где x_0 , r_0 - удельное реактивное и активное сопротивление провода, Ом/км;

L – длина участка линии электропередач, км.

Периодическая составляющая тока КЗ:

$$I_{по} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (55)$$

Ток двухфазного короткого замыкания (кА):

$$I_{по2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{по} \quad (56)$$

Рассмотрим расчет тока токов КЗ на примере расчетной точки № 6

Определяем сопротивление системы:

$$X_c = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 4,53} = 1,34 \text{ (Ом)}$$

Сопротивления участков:

$$X_{13} = 0,3 \cdot 9,8 = 2,94 \text{ (Ом)}$$

$$R_{13} = 1,91 \cdot 9,8 = 18,72 \text{ (Ом)}$$

$$X_{14} = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15 \text{ (Ом)}$$

$$R_{14} = 1,91 \cdot 0,5 = 0,96 \text{ (Ом)}$$

$$X_{15} = 0,3 \cdot 0,4 = 0,12 \text{ (Ом)}$$

$$R_{15} = 1,91 \cdot 0,4 = 0,76 \text{ (Ом)}$$

$$X_{16} = 0,3 \cdot 0,1 = 0,03 \text{ (Ом)}$$

$$R_{16} = 1,91 \cdot 0,1 = 0,19 \text{ (Ом)}$$

Результирующее индуктивное сопротивление до точки КЗ

$$X_p = X_c + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16}$$

$$X_p = 1,34 + 2,94 + 0,15 + 0,12 + 0,03 = 4,93 \text{ (Ом)}$$

Результирующее активное сопротивление до точки КЗ

$$R_p = R_{13} + R_{14} + R_{15} + R_{16} + R_{17}$$

$$R_p = 18,72 + 0,96 + 0,76 + 0,19 = 20,63 \text{ (Ом)}$$

Ток трехфазного КЗ:

$$I_{по} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{4,93^2 + 20,63^2}} = 0,29 \text{ (кА)}$$

Ток двухфазного короткого замыкания:

$$I_{по2} = \frac{\sqrt{3}}{2} 0,29 = 0,25 \text{ (кА)}$$

Постоянная затухания аperiodической составляющей:

$$T_a = \frac{4,93}{20,63 \cdot 314} = 0,001$$

Коэффициент затухания:

$$K_a = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,001}} = 1,01$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 0,29 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,001}} \right) = 0,41 \text{ (кА)}$$

По аналогичному алгоритму рассчитываются все остальные точки КЗ результаты расчетов сводятся в таблицу 21.

Таблица 21 – Расчет токов КЗ в сети 6 кВ

Точка КЗ	Z (Ом)	$I_{по}$ (кА)	$I_{по2}$ (кА)	$I_{y\delta}$ (кА)
1	11,11	0,55	0,47	0,78
2	13,42	0,46	0,39	0,65
3	3,737	1,64	1,4	2,32
4	13,42	0,46	0,39	0,65
5	19,2	0,32	0,27	0,45
6	21,13	0,29	0,25	0,41
7	3,378	1,82	1,55	2,56
8	28,27	0,22	0,19	0,31

Полученные данные используем для проверки проводников на термическую стойкость.

12.1 Проверка линий 6 кВ на воздействие токов КЗ

Определяем минимальное сечение проводника :

$$S_T = \frac{I_{по} \cdot \sqrt{t_n}}{K_T} \tag{57}$$

где $I_{по}$ - установившееся значение тока КЗ;

t_n - приведённое время КЗ, равное сумме времени срабатывания релейной защиты (0,01с) и времени отключения выключателя (0,045с).

K_T - температурный коэффициент, равный 95 для алюминия.

Для примера рассчитывается термически стойкое к токам КЗ сечение для участка РУНН 6 кВ «Многоудобное» – «ТП 758», ток короткого трехфазного замыкания на конце этого участка составляет 0,55 кА следовательно:

$$S_T = \frac{0,55 \cdot \sqrt{0,055}}{95} = 1,36 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Значение менее чем выбранное следовательно проводник выбран верно.

Для остальных точек КЗ расчёт ведётся аналогично, результаты сведены в таблицу 22.

Таблица 22 – Проверка сечений линий 6 кВ на термическую стойкость

Точка КЗ	$I_{по}$ (кА)	S_T (мм ²)	$S_{факт}$ (мм ²)
1	0,55	1,36	35
2	0,46	1,13	16
3	1,64	4,04	16
4	0,46	1,13	16
5	0,32	0,79	16
6	0,29	0,71	16
7	1,82	4,47	16
8	0,22	0,53	16

Расчетные данные о термически стойком к КЗ сечении показывают что все линии проходят данную проверку.

12.2 Проверка линий 6 кВ по допустимой потере напряжения

Потеря напряжения в участке линии определяется по следующей формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{U_n} \quad (58)$$

где r_0 – активное сопротивление СИП -3, Ом/км;

x_0 – реактивное сопротивление СИП-3, Ом/км.

Рассмотрим подробно пример расчета потери напряжения в конце ВЛ РУНН «Многоудобное» – «ТП 1721»

Определяем потерю напряжения в сечении:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 31,5 \cdot 6,8 \cdot (1,91 \cdot 0,83 + 0,3 \cdot 0,57) \cdot \frac{100}{6300} = 6,206 (\%)$$

Потеря напряжения на участке больше допустимого значения 5%, следовательно сечение ВЛ выбрано неверно.

Для остальных участков проводится аналогичный расчет, результаты сведены в таблицу 23:

Таблица 23 – Проверка сечений линий 6 кВ на потерю напряжения

Участок	I_P (А)	Длина участка (км)	Сечение	ΔU (%)
РУНН «Многоудобное» – ТП 1721»	31,5	6,8	16	6,206
РУНН «Многоудобное» – ТП 751»	12,93	6,8	16	2,55
РУНН «Многоудобное» – ТП 761»	27,59	10,8	16	8,63
РУНН «Многоудобное» – ТП 1743»	5,68	14,5	16	1,59

Расчет сечений принятых ранее показывает что на участках РУНН «Многоудобное» – ТП 1721», РУНН «Многоудобное» – ТП 761», они не проходят проверку по допустимой потере напряжения следовательно на этих участках увеличиваем сечение соответственно до 25 мм² и 35мм² и повторно проводим расчет, результаты приведены в таблице 24:

Таблица 24 – Проверка сечений линий 6 кВ на потерю напряжения

Участок	I_P (А)	Длина участка (км)	Сечение	ΔU (%)
РУНН «Многоудобное» – ТП 1721»	31,5	6,8	25	4,12
РУНН «Многоудобное» – ТП 761»	27,59	10,8	35	4,51

Пересмотренные сечения удовлетворяют требованиям по потере напряжения их принимаем.

13 ЗАЩИТА ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ ПС «МНОГОУДОБНОЕ»

При реконструкции подстанции очень важное значение имеет молниезащита оборудования от грозовых перенапряжений, попадание молнии в оборудование приводит в большинстве случаев к выходу его из строя, а также возникновению пожаров в результате разгерметизации трансформаторов либо выключателей наполненных маслом. Худшим случаем такого варианта является распространение пожара по всей территории подстанции.

В связи с этим в данной работе рассматривается молниезащита представляющая из себя 4 отдельно стоящих молниеотводов, находящихся по периметру подстанции. У каждого молниеотвода имеется своя зона защиты, представляющая собой конус при этом у нескольких молниеотводов зоны защиты объединяются в единое целое. Всё подстанционное оборудование открытого и закрытого распределительного устройства должны находиться внутри этих зон для предотвращения попадания молнии в оборудование.

В данном разделе будут рассчитываться такие геометрические характеристики системы молниеотводов как эффективная высота отдельно стоящего молниеотвода, половина ширины внешней зоны на уровне земли, наименьшая высота внутренняя зоны двух молниеотводов, половина ширины внешней зоны на уровне защищаемого объекта, половина ширины внутренней зоны на уровне защищаемого объекта и так далее. Проводим подробно расчет:

Эффективная высота отдельно стоящего молниеотвода:

$$h_{эф} = 0,85 \cdot h \quad (59)$$

Эффективная высота молниеотвода в данном случае:

$$h_{эфл} = 0,85 \cdot 17 = 14,45 \text{ (м)}$$

Половина ширины внешней зоны (радиус зоны на уровне земли):

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h \quad (60)$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot 17) \cdot 17 = 17,09$$

Наименьшая высота внутренней зоны двух молниеотводов (на примере М1-М2):

$$h_c = h_{эф} - (0,17 + 0,0002 \cdot h) \cdot (L - h) \quad (61)$$

$$h_c = 14,45 - (0,17 + 0,0002 \cdot 17) \cdot (29,0 - 17) = 11,85 \text{ (м)}$$

где L - расстояние между молниеотводами.

Половина ширины внешней зоны на уровне защищаемого объекта-портала:

$$r_x = r_0 \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h_{эф}}\right) \quad (62)$$

Для линейного портала (высота 9,45 м):

$$r_x = 17,09 \cdot \left(1 - \frac{9,45}{14,45}\right) = 4,74 \text{ (м)}$$

Половина ширины внутренней зоны на уровне защищаемого объекта:

$$r_{cx} = r_0 \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h_c}\right) \quad (63)$$

где h_x - высота защищаемого объекта.

$$r_{cx} = 17,09 \cdot \left(1 - \frac{9,45}{11,85}\right) = 9,79 \text{ (м)}$$

Подробный расчет молниезащиты показан в графической части работы.

14 РАСЧЕТ СЕТИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Заземление подстанции так как и молниезащита представляет собой очень важное значение для нормального функционирования электрооборудования, заземления различают на несколько типов это: защитное заземление, рабочее заземление и так далее.

Для эффективной работы молниезащиты подстанции а также для безопасности эксплуатирующего персонала в данном разделе рассматриваются расчет сети заземления для подстанции «Многоудобное». При расчете параметров заземления должны использоваться такие характеристики подстанции как ее геометрические размеры длина и ширина, также используем данные о грунте в районе реконструкции, о предельном значении электрического сопротивления заземляющего устройства. При выполнении заземления оно будет представлять собой сетку из горизонтальных и вертикальных электродов которые в свою очередь будут проверяться по термической а также по коррозионной стойкости.

Размеры ПС «Многоудобное» 44,5×36 (м)

Определяем площадь контура заземления ПС:

$$S = (A + 3) \cdot (B + 3) = (44,5 + 3) \cdot (36 + 3) = 2716 \text{ (м}^2\text{)} \quad (64)$$

Принимаем диаметр вертикальных электродов $d = 0,022 \text{ (м)}$

Сечение вертикальных электродов:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,022^2}{4} = 37,79 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)} \quad (65)$$

Проверка сечения на термическую стойкость:

$$F_{mc} = \sqrt{\frac{I_M^2 \cdot T}{400 \cdot \beta}} = \sqrt{\frac{3,37^2 \cdot 5}{400 \cdot 21}} = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)} \quad (66)$$

где - I_M - максимальный ток однофазного короткого замыкания (кА)

T - предельное время работы защиты выключателя (сек)

β - справочный коэффициент термической стойкости.

Сечение проходит проверку по термической стойкости

Проверка сечения по коррозионной стойкости:

$$S_{cp} = a_k \cdot \ln(240)^3 + b_k \cdot \ln(240)^3 + c_k \cdot \ln(240)^3 + d_k \quad (67)$$

$$S_{cp} = 0,005 \cdot \ln(240)^3 + 0,0036 \cdot \ln(240)^3 - 0,05 \cdot \ln(240)^3 + d_k = 1$$

где - a_k, b_k, c_k, d_k - вспомогательные коэффициенты

$$F_{кор} = 3,14 \cdot S_{cp} \cdot (S_{cp} + d) = 3,14 \cdot 1 \cdot (1 + 0,022) \cdot 10^{-4} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)} \quad (68)$$

Принимаем первоначально расстояние между полосами $l_{nn} = 5 \text{ (м)}$

Общая длина полос в сетке:

$$L_n = \frac{(A+3)}{l_{nn}}(B+3) + \frac{(B+3)}{l_{nn}}(A+3) = \frac{(44,5+3)}{5}(36+3) + \frac{(36+3)}{5}(44,5+3) = 1086,4 \text{ (м)} \quad (69)$$

Число ячеек

$$m = \frac{L_n}{2 \cdot \sqrt{S}} = \frac{1086,4}{2 \cdot \sqrt{2716}} = 10,42 \quad (70)$$

Принимаем число ячеек: $m = 11$

Длина стороны ячейки

$$L_{я} = \frac{\sqrt{S}}{m} = \frac{\sqrt{2716}}{11} = 4,74 \text{ (м)} \quad (71)$$

Длина горизонтальных полос в сетке:

$$L = 2 \cdot \sqrt{S} (m+1) = 2 \cdot \sqrt{2716} (11+1) = 1250,8 \text{ (м)} \quad (72)$$

Количество вертикальных электродов в сетке:

$$n_g = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{10 \cdot \sqrt{2}} = \frac{4 \cdot \sqrt{2716}}{10 \cdot \sqrt{2}} = 14,74 \quad (73)$$

Принимаем: $n_g = 15$

Принимаем длину вертикальных электродов $l_g = 4 \text{ (м)}$

Определяем стационарное сопротивление заземлителя:

$$R_C = \rho \cdot \left(A \frac{1}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + l_g \cdot n_g} \right) = 50 \cdot \left(0,42 \frac{1}{\sqrt{2716}} + \frac{1}{1250,8 + 4,0 \cdot 15} \right) = 0,442 \text{ (Ом)} \quad (74)$$

где - A - вспомогательный коэффициент.

Определяем коэффициент:

$$\alpha_H = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\beta + 320) \cdot (I_M + 45)}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{2716}}{(21 + 320) \cdot (3,37 + 45)}} = 1,09 \quad (75)$$

Определяем импульсное сопротивление заземлителя:

$$R_H = R_C \cdot \alpha_H = 0,442 \cdot 1,09 = 0,482 \text{ (Ом)} \quad (76)$$

Предельное значения для класса напряжения 35 кВ составляет 4 Ом, при этом расчетное значение меньше предельного следовательно расчет окончен.

15 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПИТАНИЯ ПС «МНОГОУДОБНОЕ»

В данном разделе будем проводить расчет показателей надежности электроснабжения подстанции «Многоудобное». Результатом расчета будем считать определение среднего времени безотказной работы системы, а также расчетное время безотказной работы системы.

При выполнении расчётов будем пользоваться принципиальной схемой замещения в которой указывается последовательное либо параллельное соединение элементов. Все элементы схемы замещения имеют такие показатели как время восстановления, показатель потока отказов, преднамеренное время вывода оборудования из работы, показатель частоты преднамеренных выводов оборудования.

После определения вероятности отключения каждого из элементов производится преобразование схемы замещения до элементарного вида параметры которого определяются как эквивалентные основной схеме

В качестве схемы РУВН на ПС принята одна секционированная система шин.

Параметры элементов приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Показатели надежности элементов схемы замещения

Элемент	λ , 1/год	тв, часов	$\lambda_{пр}$, 1/год	$t_{пр}$, часов.
ВЛ 35 кВ	0,9	9,0	2,1	16,0
Сборные шины 35 кВ	0,02	7	0,17	5,0
Разъединитель 35 кВ	0,01	6	0,834	4
Выключатель 35 кВ	0,004	40	0,8	8,0
Силовой трансформатор	0,007	65	0,25	26
Выключатель 6 кВ	0,003	11	0,8	16

Шины 6 кВ	0,03	5	0,834	2
-----------	------	---	-------	---

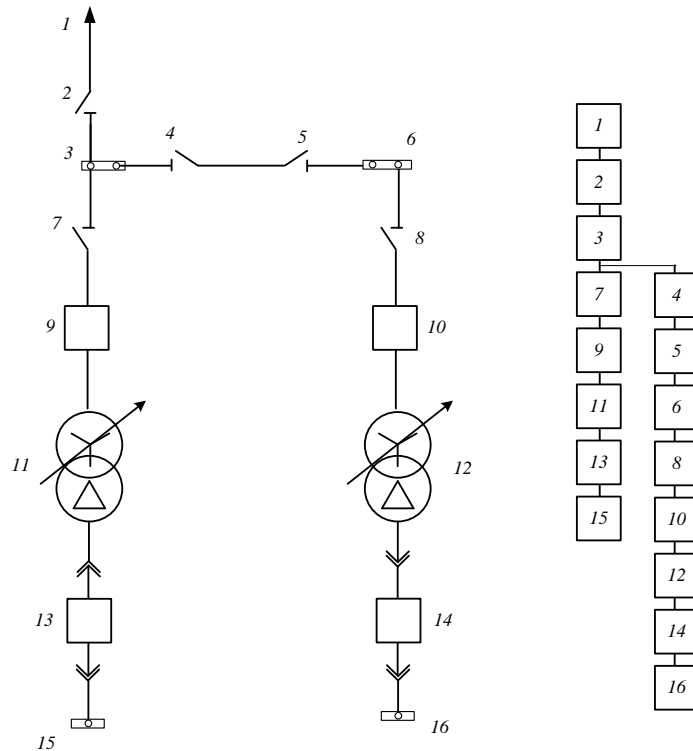


Рисунок 10 – Принципиальная однолинейная схема ПС «Многоудобное» после реконструкции и схема замещения.

Вероятность отключения ВЛ:

$$q_{вл} = \frac{\lambda_{вл} \cdot t_{вл}}{T_{г}} \cdot l \cdot \frac{1}{100} = \frac{0,9 \cdot 9}{8760} \cdot 35,05 \cdot \frac{1}{100} = 4,9 \cdot 10^{-5}. \quad (77)$$

где $T_{г}$ – число часов в году (час).

l – длина ВЛ (км).

Вероятность отказа шин 35 кВ:

$$q_{ш35} = \frac{\lambda_{ш} \cdot t_{ш}}{T_{г}} \cdot n_{пр} = \frac{0,02 \cdot 7}{8760} \cdot 3 = 1,71 \cdot 10^{-4}. \quad (78)$$

Вероятность отказа шин 6 кВ:

$$q_{ш6} = \frac{\lambda_{ш} \cdot t_{ш}}{T_{Г}} \cdot n_{пр} = \frac{0,03 \cdot 5}{8760} \cdot 9 = 1,71 \cdot 10^{-4}. \quad (79)$$

Вероятность отказа разъединителей 35 кВ:

$$q_p = \frac{\lambda_p \cdot t_{рп}}{T_{Г}} = \frac{0,01 \cdot 6}{8760} = 6,84 \cdot 10^{-6}. \quad (80)$$

Вероятность отказа трансформаторов 35 кВ:

$$q_m = \frac{\lambda_m \cdot t_{эм}}{T_{Г}} = \frac{0,007 \cdot 65}{8760} = 5,19 \cdot 10^{-5}. \quad (81)$$

Вероятность отказа ВЛ выключателей 35 кВ:

$$q_{в} = \frac{\lambda_{в35} \cdot t_{в35}}{T_{Г}} + a_{кз} \cdot (\sum q_{смеж}) + a_{он} \cdot N_{он}. \quad (82)$$

где $a_{кз}$ - частота отказов при автоматических отключениях

$q_{смеж}$ - вероятность отказа смежного с выключателем элемента;

$a_{он}$ - частота отказов выключателя

$N_{он}$ - количество оперативных переключений

Вероятность отказа выключателя 35,6 кВ

$$q_{в35} = \frac{0,004 \cdot 40}{8760} + 0,005 \cdot (4,9 \cdot 10^{-5} + 5,19 \cdot 10^{-5}) + 0,003 \cdot 2 = 6,01 \cdot 10^{-3}.$$

$$q_{в6} = \frac{0,003 \cdot 11}{8760} + 0,005 \cdot (5,19 \cdot 10^{-5} + 1,71 \cdot 10^{-4}) + 0,003 \cdot 2 = 6 \cdot 10^{-3}.$$

Рассматриваем две цепи как отдельные источники питания и определяем их вероятностные характеристики:

Параметр потока отказов цепи (1/год):

$$\lambda_{ц} = \sum \lambda_i + \lambda_{прмак} = 0,333 + 0,834 = 1,17, \quad (83)$$

где λ_i - параметр потока отказов всех элементов в цепи;

λ_{npmax} - наибольшая частота преднамеренных отключений λ_{np} ;

Коэффициент простоя цепи:

$$K_{II} = \sum \lambda_i \cdot t_{\sigma i} + \frac{\lambda_{npmax} \cdot t_{np}}{T_{\Gamma}} = 0,0013. \quad (84)$$

Время восстановления системы состоящей из одной цепи:

$$t_{\sigma c} = \frac{K_{II}}{\lambda_{\psi} - \lambda_{npmax}} = \frac{0,0013}{0,333} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ (лет)} \quad (85)$$

Коэффициент простоя цепи состоящей из двух параллельных элементов:

$$K_{II} = \lambda_{\psi}^2 \cdot t_{\sigma \psi}^2 + \lambda_{np} \cdot t_{np} \cdot \lambda_{\psi} \cdot t_{\sigma \psi} + t_{np} \cdot \lambda_{\psi}^2 \cdot t_{\sigma \psi} = 5,36 \cdot 10^{-3}. \quad (86)$$

Параметр потока отказов системы;

$$\lambda_{\psi} = 2 \cdot \lambda_{\psi}^2 \cdot t_{\sigma \psi} + 2 \cdot \lambda_{\psi} \cdot \lambda_{npmax} \cdot t_{np} = 0,012 \quad (87)$$

Время восстановления системы:

$$t_{\sigma c} = \frac{K_{II}}{\lambda_{\psi}} = \frac{5,36 \cdot 10^{-3}}{0,012} = 0,442 \text{ (час)} \quad (88)$$

Среднее время безотказной работы системы:

$$T_c = \frac{1}{\lambda_{\psi}} = \frac{1}{0,012} = 94,15 \text{ (лет)} \quad (89)$$

Расчетное время безотказной работы системы:

$$T_p = \frac{0,105}{\lambda_{\psi}} = \frac{0,105}{0,012} = 8,28 \text{ (лет)} \quad (90)$$

Расчетное время безотказной работы системы имеет приемлемое значение, расчет окончен.

16 ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТМН 1000/35

В данном разделе рассматривается расчет всех защит устанавливаемых на трансформаторе ТМН 1000/35 подстанции «Многоудобное».

Для защиты от многофазных замыканий, от токов при внешних КЗ, и от внутренних повреждений – максимальной токовой защиты; для защиты от токов в обмотках при перегрузке – защиты от перегрузок.

16.1 Защита от перегрузки

Ток срабатывания защиты от перегрузки Т1,2 (ТМН 1000/35) (с действием на сигнал) определяется следующим образом:

$$I_{CЗТ1} = \frac{k_{омс}}{k_{г}} \cdot I_{номВНП} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 16,49 = 21,65 \text{ (А)} \quad (91)$$

где $k_{омс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,05

$k_{г}$ – коэффициент возврата токового реле (принимается равным 0,8);

Ток срабатывания реле Т1,2 (ТМН 1000/35):

$$I_{CPT1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 21,65}{(150/5)} = 1,25$$

Время срабатывания защиты принимаем равным $t_{с.з.} = 9$ с.

16.2 Максимальная токовая защита

Ток срабатывания защиты на стороне 35 кВ (Т1,2):

$$I_{CЗТ1} = \frac{k_{н} \cdot k_{сам}}{k_{г}} \cdot I_{номВНП} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,8} \cdot 21,65 = 48,71 \text{ (А)} \quad (92)$$

где $k_{н}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$k_{сам}$ – коэффициент само запуска принимается равным 1,5;

$$k_q = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{3,17 \cdot 10^3 \cdot (10,5/35)}{48,71} = 16,46 \quad (93)$$

Ток срабатывания реле (Т1,2):

$$I_{ср} = \frac{\sqrt{3} \cdot 48,71}{(150/5)} = 2,81 \text{ (А)}$$

Защита проходит проверку по чувствительности, ее принимаем к установке на оба трансформатора ПС «Многоудобное»

17 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

17.1 Безопасность

Организация работ по наряду:

На выполнение работ в электроустановках оформляется в 2 экземплярах, в случае передачи его по телефону он выписывается в 3 экземплярах.

В случае если производитель работ назначается допускающим то независимо от способа передачи наряд заполняется в 2 экземплярах, один остаётся у человека выдавшего наряд.

В зависимости от принятых условий на предприятии один экземпляр наряда остается у работника который выдал разрешение на подготовку рабочего места и допуск к работам.

Работник выдающий наряд имеет право выдавать сразу несколько нарядов допускающему и производителю при условии что работы по ним будут выполняться поочередно.

Продление наряда имеет право выполнять тот работник который его выдал либо другой работник имеющий право выдачи нарядов в этой же электроустановке.

Разрешение на продление наряда может передаваться по телефону либо радио ответственному руководителю работ либо производителю в таком случае допускающий либо ответственный и производитель своей подписью подтверждает в наряде продление времени работы.

Наряды работы по которым полностью закончены имеют срок хранения 30 суток после чего могут быть уничтожены но следует отметить что при выполнении работ по нарядам если имели место аварии либо

несчастные случаи эти наряды следует хранить в архиве с материалами расследования.

Допускается учет работ по нарядам распоряжениям вести особым образом которые устанавливаются техническим руководителем организации.

Независимо от того какой принят порядок учета работ по нарядам в организации факт допуска должен обязательно быть зарегистрирован в специальном документе то есть оперативном журнале, обязательно в хронологическом порядке с описанием событий действий по изменению состояния оборудования электроустановок вспомогательного оборудования и так далее.

Выполнение работ по нарядам распоряжениям а также приемка и сдача смены также оформляется в оперативном журнале.

В случае выполнения работ по одному наряду на электродвигателе либо присоединении в распределительном устройстве которое укомплектовано шкафами КРУ не требуется оформление перевода с одного рабочего места на другое и допускается разделение членов бригады на различные рабочие места.

Организация работ по распоряжению:

Работы выполняемые в электроустановках могут выполняться по распоряжению которое является письменным заданием на выполнение работы и определяет содержание работы место и его выполнения время меры безопасности а также работников которым поручено ее выполнением с указанием группы по электробезопасности.

Распоряжение на выполнение работы дается непосредственно работнику выполняющему работу то есть производителю а также допускающему.

По распоряжению оперативным персоналом либо под его надзором в электроустановках напряжением выше 1000 вольт разрешается выполнять работы которые должны быть выполнены безотлагательно для предотвращения воздействия на работников опасного фактора который

привел к травме либо может привести к ухудшению здоровья, нарушению работы электрооборудования сооружений и устройств тепловой автоматики.

Такие работы должны выполняться не более одного часа с участием не более трёх лиц включая работника из оперативного персонала который будет на осуществлять надзор за выполнением этих работ.

В электрических установках напряжением выше 1000 Вольт по распоряжению допускается выполнять работы на электродвигателе с отсоединенным кабелем концы которого заземлены накоротко, также допускается работа на генераторе от которого отключены шины и кабели, в распределительных устройствах допускается работа по распоряжению на выкачанный в тележках КРУ шторы которых закрыты на замок.

При выполнении монтажа или ремонта и эксплуатации цепей РЗА измерительных приборов в телемеханике включая работы в агрегатных шкафах коммутационных аппаратах независимо от того находится они под напряжением или нет производителю работ допускается отключать и включать указанное устройство а также опробовать их на отключение и включение с разрешения оперативного персонала.

По распоряжению единолично и уборку коридоров распределительных устройств напряжением выше 1000 Вольт в случае если токи ведущие части ограждены имеет право выполнять работник с группой по электробезопасности 2 на открытом распределительном устройстве имеет право выполнять работник с группой 3.

17.2 Экологичность

Рассмотрим расчет маслоприемника трансформатора Размеры трансформатора типа ТМН 1000/35/6 $3,7 \times 1,55 \times 3,6$ м и масса масла в нем 2,65 т.

Объем масла в трансформаторе:

$$V_{\text{трм}} = \frac{M}{\rho} = \frac{2,65}{0,88} = 3,01 \text{ (м}^3\text{)} \quad (94)$$

где M – масса масла в трансформаторе согласно паспортным данным 2,65 тонн.

ρ – плотность масла 0,88 (т/м³)

Площадь маслоприемника по формуле:

$$S_{\text{mn}} = (A + 2 \cdot \Delta) \cdot (B + 2 \cdot \Delta) = (3,7 + 2 \cdot 1) \cdot (1,55 + 2 \cdot 1) = 20,23 \text{ (м}^2\text{)} \quad (95)$$

где A , B – длина и ширина трансформатора 35 кВ (м)

Δ – расстояние между боковой стенкой трансформатора и стенкой маслоприемника:

Площадь боковой поверхности трансформатора:

$$S_{\text{bn}} = (A + B) \cdot 2 \cdot H = (3,7 + 1,55) \cdot 2 \cdot 3,6 = 37,8 \text{ (м}^2\text{)} \quad (96)$$

где H – высота трансформатора (м)

Коэффициент пожаротушения и время тушения соответственно равны [11]:

$$K_n = 0,2 \text{ (л/(с} \times \text{м}^2\text{))}$$

$$t = 1800 \text{ (сек)}$$

Объем воды необходимый для тушения пожара:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = K_n \cdot t \cdot (S_{\text{mn}} + S_{\text{bn}}) \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 1800 \cdot (20,23 + 37,8) \cdot 10^{-3} = 20,89 \text{ (м}^3\text{)} \quad (97)$$

Объем маслоприемника необходимый для приема 100 % масла и 80 % воды

$$V_{\text{трмH}_2\text{O}} = V_{\text{трм}} + 0,8 \cdot V_{\text{H}_2\text{O}} = 3,01 + 0,8 \cdot 20,89 = 19,72 \text{ (м}^3\text{)}$$

Находим глубину маслоприемника для приема всей жидкости $V_{\text{трмH}_2\text{O}}$

$$H_{mn} = \frac{V_{m\text{м}H_2O}}{S_{mn}} = \frac{19,72}{20,23} = 0,97 \text{ (м)} \quad (98)$$

Высота подушки [11]:

$$H_z = 0,25 \text{ (м)}$$

Высота прослойки [11]:

$$H_{en} = 0,05 \text{ (м)}$$

Высота маслоприемника:

$$H_{n\text{мп}} = H_{mn} + H_{en} + H_z = 0,97 + 0,05 + 0,25 = 1,27 \text{ (м)} \quad (99)$$

17.3 Чрезвычайные ситуации

Общие положения при ликвидации чрезвычайных ситуаций:

В случае возникновения чрезвычайной ситуации все переключения должны выполняться в соответствии с правилами технической эксплуатации и техники безопасности

В случае чрезвычайной ситуации на подстанции «Многоудобное» производятся необходимые операции в устройствах РЗА или противоаварийной автоматики в соответствии с действующими нормативными документами органов диспетчерского управления

На подстанции «Многоудобное» при выполнении каких-либо действий по ликвидации чрезвычайной ситуации оперативный персонал руководствуется следующими положениями: при подаче напряжения на обесточенные части распределительного устройства проверяет сначала наличие заземленной нейтрали со стороны источника питания, при выполнении опробования напряжением оборудования включает и отключает выключатели вручную немедленно в случаи проявления короткого замыкания либо при отказе защиты при неполнофазном включении

Включение оборудования после отключения его в аварийной ситуации допускается только после анализа отключивших его защит

При потере питания распределительного устройства подготавливается схема для подачи напряжения в это распределительное устройство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе был выполнен ряд расчетов целью которого было определение оптимального варианта реконструкции системы электроснабжения с сыном центром питания подстанция «Многоудобное», в ходе расчёта были выполнены такие расчеты как определение мощности нагрузки на стороне низкого напряжения трансформаторных подстанций, определение номинальной мощности силовых трансформаторов, определение сечения ВЛ, расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования на подстанции «Многоудобное».

Дополнительно был выполнен расчет надежности систем электроснабжения после реконструкции определены меры безопасности при эксплуатации оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Блок В.М. Электрические системы и сети. // В.М. Блок– М.: Высш.шк.,2006. – 430 с.

2 Блок В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностях вузов //В. М. Блок, Г. К. Обушев и др.; Под ред. В.М.Блок – М.:Высш.шк.,2011. – 383 с.

3 Герасимов В.Г. Электротехнический справочник Т.3 //В. Г. Герасимов, П. Г. Грудинский, В. А. Лабунцов и др. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 880 с.

4 Идельчик В.И. Электрические системы и сети. // В.И. Идельчик – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 592 с.

5 Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие. // А.В. Лыкин – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2012. – 248 с.

6 Неклепаев Б. Н., Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования// Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 608 с.

7 Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети. Проектирование: Учебное пособие для вузов.- 2-е изд., испр. и до п.// Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин – Мн.: Выш. Шк., 2008.-308с.: ил.

8 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. РД 153-34.3-35.125-99. – М. 2010.

9 Файбисович Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей // Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян – М.: ЭНАС, 2012. – 365 с.

10 Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов – М.: Энергоатомиздат, 2006.

11 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб и доп. – И.: Энергоатомиздат, 2016.

12 Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения – М: Высшая школа, 2008.

13 Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В., Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003

14 Методика расчета нормативных (технологических) потерь электроэнергии в электрических сетях. Утверждена приказом Минпромэнерго России от 03 февраля 2005г. №21.

15 Железко Ю.С., Савченко О.В. Определение интегральных характеристик графиков нагрузки для расчета потерь электроэнергии в электрических сетях // Электрические станции. 2001. №10.

16 Железко Ю.С., Костюшко В.А., Крылов С.В., Потери электроэнергии, зависящие от погодных условий. Нормирование, анализ и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях, 2002.

17 Положение об организации в Министерстве промышленности и энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям утверждено приказом Минпромэнерго России от 04 октября 2005г. №267.

18 Бегентаев М.М. Экономика промышленности учебное пособие. – Издательство: Павлодар: Кереку Год: 2008

19 Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 №1 о классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы (редакция 08.08.2003), 2003.

20 Нормативы затрат на ремонт в процентах от балансовой стоимости конкретных видов основных средств. СО 34.20.611-2003 ОАО РАО «ЕЭС России».– М, 2003.

21 Собурь С.В. Пожарная безопасность электроустановок – М.ПожКнига 2010.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Расчет нагрузок на стороне 0,4 кВ

Наименование ТП	Расчетная активная мощность (кВт)	Расчетная реактивная мощность (кВАр)	Расчетная полная мощность (кВА)
ТП 758	75,2	23,29	78,72
ТП 763	84	23,4	87,19
ТП 762	94,2	27,09	98,02
ТП 782	85,5	21,23	88,1
ТП 764	94,5	23,03	97,27
ТП 713 «Школа»	150	57	160,46
ТП 1721 «Котельная»	55,4	43,15	70,22
ТП 781	20	7,6	21,4
ТП 765	21	5,03	21,59
ТП 717	21,75	5,59	22,46
ТП 712	27,4	4,08	27,71
ТП 720	77,25	65,04	100,98
ТП 751	79,5	20,03	81,98
ТП 710	85,5	21,23	88,1
ТП 1742	200	76	213,95
ТП 760	128	35,5	132,83
ТП 759	80,5	21,05	83,21

ТП 761	39,6	16,32	42,83
ТП 780	12	20,4	23,67
ТП 1743	82,5	16,5	84,13

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Выбор трансформаторов 6/0,4 кВ

Наименование ТП	S_p (кВА)	$S_{\text{прп}}$ (кВА)	$K_{\text{эф}}$	$n \times S_{\text{мп}}$ (кВА)
1	2	3	4	5
ТП 758	78,72	92,612	0,79	1×100
ТП 763	87,19	102,58	0,54	1×160
ТП 762	98,02	115,32	0,61	1×160
ТП 782	88,1	103,65	0,55	1×160
ТП 764	97,27	114,44	0,61	1×160
ТП 713	160,46	188,78	0,64	1×250
ТП 1721	70,22	82,612	0,7	1×100
ТП 781	21,4	25,176	0,54	1×40
ТП 765	21,59	25,4	0,54	1×40
ТП 717	22,46	26,424	0,56	1×40
ТП 712	27,71	32,6	0,69	1×40
ТП 720	100,98	118,8	0,63	1×160
ТП 751	81,98	96,447	0,82	1×100
ТП 710	88,1	103,65	0,55	1×160
ТП 1742	213,95	251,71	0,53	1×400

ТП 760	132,83	156,27	0,83	1×160
ТП 759	83,21	97,894	0,83	1×100
ТП 761	42,83	50,388	0,68	1×63
ТП 780	23,67	27,847	0,59	1×40
ТП 1743	84,13	98,976	0,84	1×100

ПРИЛОЖЕНИЕ В – Расчет нагрузки на стороне ВН КТП

КТП	$K_{зф}$	Потери в трансформаторах			Расчетная нагрузка узла (кВА)
		(кВт)	(квар)	(кВА)	
ТП 758	0,79	1,5	4,39	4,64	83,36
ТП 763	0,54	1,17	4,54	4,69	91,88
ТП 762	0,61	1,38	5,1	5,28	103,3
ТП 782	0,55	1,2	4,58	4,74	92,84
ТП 764	0,61	1,38	5,06	5,25	102,5
ТП 713	0,64	2,05	7,13	7,42	167,9
ТП 1721	0,7	1,24	3,82	4,01	74,23
ТП 781	0,54	0,41	1,72	1,76	23,16
ТП 765	0,54	0,41	1,72	1,77	23,36
ТП 717	0,56	0,43	1,77	1,82	24,28
ТП 712	0,69	0,57	2,06	2,14	29,85
ТП 720	2220,63	1,44	5,27	5,46	106,4
ТП 751	0,82	1,59	4,62	4,89	86,87
ТП 710	0,55	1,2	4,58	4,74	92,84

ТП 1742	0,53	2,34	8,35	8,67	222,6
ТП 760	0,83	2,2	7,36	7,68	140,5
ТП 759	0,83	1,63	4,72	4,99	88,2
ТП 761	0,68	0,81	3,2	3,3	46,13
ТП 780	0,59	0,46	1,83	1,89	25,56
ТП 1743	0,84	1,66	4,79	5,06	89,19