

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

Факультет Энергетический
Кафедра Энергетики
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы: «Электроснабжение»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
И.о. зав.кафедрой

Н.В. Савина
«18» 02 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Реконструкция системы электроснабжения сетей напряжением 6 кВ
с центром питания подстанция Шмидтовка Приморского края

Исполнитель
студент группы 442 узб


31.01.2018
подпись дата

В.В. Косачёв

Руководитель
доцент


05.02.2018
подпись, дата

А.Г. Ротачёва

Консультант
по безопасности и экологичности
канд.техн. наук


02.02.2018
подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
доцент, канд.техн.наук


06.02.2018
подпись, дата

А.Н. Козлов

Благовещенск 2018

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

Факультет энергетический
Кафедра Энергетики

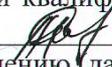
УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав.кафедрой

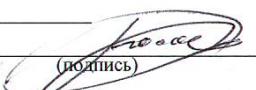
 Н.В. Савина
« 30 » 10 2017 г.

ЗАДАНИЕ

- К выпускной квалификационной работе студента Косачёва Виктора Владимировича.
1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы электроснабжения сетей напряжением 6 кВ с центром питания подстанция Шмидтовка Приморского края, утверждена приказом № 2651уч от «27» октября 2017 г.
 2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта): 31.01.2018 года.
 3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: подробная однолинейная схема электроснабжения, план расположения КТП географический, подробная однолинейная схема ПС «Шмидтовка», климатическая характеристика района реконструкции.
 4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): климатическая характеристика района размещения объектов, характеристика потребителей электроэнергии 0,4 кВ, определение расчётных нагрузок на шинах 0,4 кВ КТП, выбор числа мощности трансформаторов, определение расчётных нагрузок на шинах 6 кВ ПС «Шмидтовка», выбор компенсирующих устройств ПС «Шмидтовка», выбор числа и мощности трансформаторов КТП «Шмидтовка», конструкция РУ ВН, НН КТП «Шмидтовка», расчет токов короткого замыкания: выбор оборудования РУ ПС «Шмидтовка», выбор сечений ВЛ 6 кВ, проверка сечений КЛ по термической стойкости и потере напряжения, защита трансформатора ТМН 3200/35/6, защита понижающих трансформаторов 6/0,4 кВ, автоматический ввод резерва, защита от прямых ударов молнии ПС «Шмидтовка», расчет сети заземления, экономическая часть работы, безопасность и экологичность.
 5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): 6 чертежей, 11 рисунков, 27 таблиц, 96 формул, 22 источника, 2 приложения. Используются программные комплексы: Microsoft: Word, Excel, Visio. Matsoft: Mathcad.
 6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): консультант по безопасности и экологичности - канд.техн. наук А.Б. Булгаков (раздел 19).
 7. Дата выдачи задания: 30,10,2017

Руководитель выпускной квалификационной работы: Ротачёва Алла Георгиевна, доцент кафедры энергетики 

Задание принял к исполнению (дата): 30,10,2017


(подпись)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 89 с., 11 рисунков, 27 таблиц, 96 формул, 22 источника, 2 приложения, 6 чертежей.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ТРАНСФОРМАТОР, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ПОТРЕБИТЕЛЬ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ, ПОДСТАНЦИЯ, ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ, ДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ, ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА, ПРИБОР УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, КАТЕГОРИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В рассматриваемой выпускной квалификационной работе прилагается один из вариантов реконструкции системы электроснабжения поселка «Шмидтовка» и центра питания подстанции «Шмидтовка» 35/6 кВ приморских электрических сетей.

Решением которое предлагается в данном варианте обеспечивающим увеличения надежности электроснабжения является замена устаревшего морально и физически оборудования как в электрических сетях так и на самой питающей подстанции.

В процессе выполнения данной работы выполнен расчет электрических нагрузок со стороны низкого напряжения комплектных трансформаторных подстанций района электрических сетей с центром питания подстанция «Шмидтовка», выполнен расчет сечения и выбран тип проводника для воздушных линий электропередач, в качестве которого принят высоковольтный провод типа СИП-3, также в процессе расчета определены количество и номинальная мощность силовых трансформаторов для комплектных трансформаторных подстанций.

В процессе выполнения работы также выполнен расчет токов короткого замыкания и на его основе произведён выбор основного электротехнического оборудования для питающей подстанции «Шмидтовка». Выполнен так же расчёт зон молниезащиты оборудования номинальным напряжением 35 кВ и рассчитано заземляющее устройства на подстанции «Шмидтовка». Дополнительно выполнен расчет уставок защит силового трансформатора подстанции «Шмидтовка». В качестве дополнительных вопросов рассмотрена безопасность при эксплуатации электротехнического оборудования расположенного на данной подстанции.

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АВР – автоматическое включение резерва;

АПВ – автоматическое повторное включение;

ВН – выключатель нагрузки;

КЗ – короткое замыкание;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

КУ – компенсирующее устройство;

ЛЭП – линия электропередачи;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ОПН – ограничитель перенапряжений нелинейный;

ОУ – огнетушитель углекислотный;

ПС – подстанция;

РЗ - релейная защита;

ТН – трансформатор напряжения;

ТО – токовая отсечка;

ТТ – трансформатор тока.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Климатическая характеристика района размещения объектов	12
2 Характеристика потребителей электроэнергии 0,4 кВ	13
3 Определение расчётных нагрузок на шинах 0,4 кВ КТП	18
4 Выбор числа мощности трансформаторов КТП	24
5 Определение расчетных нагрузок на шинах 6 кВ ПС «Шмидтовка»	28
6 Выбор компенсирующих устройств ПС «Шмидтовка»	32
7 Выбор числа и мощности трансформаторов КТП «Шмидтовка»	34
8 Конструкция РУ ВН, НН КТП «Шмидтовка»	36
9 Расчет токов короткого замыкания	38
10 Выбор оборудования РУ ПС «Шмидтовка»	44
10.1 Выбор выключателей 35 кВ	44
10.2 Выбор выключателей 6 кВ	45
10.3 Выбор разъединителей	46
10.4 Выбор трансформаторов тока	48
10.5 Выбор трансформаторов напряжения	49
10.6 Выбор гибкой ошиновки	51
10.7 Выбор жестких шин 6 кВ	51
10.8 Выбор изоляторов 6 кВ	53
10.9 Выбор трансформатора собственных нужд	54
10.10 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 35 кВ	55
10.11 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 6 кВ	55
11 Выбор сечений ВЛ 6 кВ	56
12 Проверка сечений КЛ по термической стойкости и потере напряжения	57
12.1 Проверка линий 6 кВ на воздействие токов кз	60
12.2 Проверка линий 6 кВ по допустимой потере напряжения	61

13	Защита трансформатора ТМН 3200/35/6	63
13.1	Защита от перегрузки	63
13.2	Максимальная токовая отсечка	63
13.3	Газовая защита	64
14	Защита понижающих трансформаторов 6/0,4 кВ	66
15	Автоматический ввод резерва	67
16	Защита от прямых ударов молнии ПС «Шмидтовка»	68
17	Расчет сети заземления	71
18	Экономическая часть работы	74
19	Безопасность и экологичность	77
19.1	Безопасность	77
19.2	Экологичность	79
19.3	Чрезвычайные ситуации	81
	Заключение	84
	Библиографический список	85
	Приложение А расчет трансформаторов 6/0,4 кВ	88
	Приложение Б определение расчетных нагрузок 6 кВ	89

ВВЕДЕНИЕ

Состояние распределительных электрических сетей напряжением 6 кВ с центром питания подстанция «Шмидтовка» Приморского края находится в удручающем состоянии, требуется скорейшая замена данного оборудования. Ситуация приводит к тому что периодически выходят из строя как воздушные линии, так и оборудование трансформаторных подстанций, коммутационные аппараты, всё это связано с увеличением электрических нагрузок на оборудование и приводит к снижению количества отпускаемой потребителям электрической энергии и как следствие финансовым убыткам.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в том, чтобы разработать оптимальный вариант реконструкции электрических сетей и центра питания для повышения надежности электроснабжения потребителей

Оборудование центра питания подстанции «Шмидтовка» также нуждается в замене на современное и более надежное, данное решение позволит значительно снизить величину затрат на ремонт и эксплуатацию оборудования, повысит надежность электроснабжения потребителей данной подстанции и снизит финансовые риски при распределении электрической энергии.

Практическая значимость данной выпускной квалификационной работы заключается в необходимости скорейшей замены электрического оборудования с целью снижения затрат всего сетевого предприятия от периодического выхода из строя электрического оборудования и связанного с ним недоотпуском электрической энергии.

В качестве основных методов, которые применялись для выполнения работы являются: при выполнении расчета электрических нагрузок на стороне низкого напряжения трансформаторных подстанций применялся метод удельных электрических нагрузок с учетом коэффициента совмещения максимумов нагрузки, расчет токов короткого замыкания в электрической сети

проводился по методу относительных единиц приближенным методом с использованием ряда средних напряжений

Целью данной работы является разработка оптимального с экономической точки зрения варианта реконструкции и модернизации распределительных электрических сетей и центра питания подстанции «Шмидтовка» Приморского края с учетом требований к качеству и надежности электроснабжения. Для достижения поставленной цели предусматривается решение ряда следующих задач:

- 1) Разработка одного из оптимальных вариантов развития электрической сети напряжением 6 кВ.
- 2) Расчет нагрузок на стороне НН КТП и выбор на основе полученных данных типа и количества силовых трансформаторов, расчёт типа сечения проводников распределительной сети 6 кВ.
- 3) Расчет нагрузок на стороне высокого напряжения комплектных трансформаторных подстанций.
- 4) Расчет нагрузок на шинах низкого напряжения подстанции «Шмидтовка» и определение мощности компенсирующих устройств.
- 5) Выбор коммутационного измерительного и защитного оборудования для подстанции «Шмидтовка» и его проверка по условиям протекания токов короткого замыкания.

К дополнительным задачам относятся следующие. Расчет зон молниезащиты подстанции «Шмидтовка», выбор схемы защитного заземления для защиты персонала от поражения электрическим током, расчёт уставок защит для силовых трансформаторов подстанции «Шмидтовка» а также расчет основных параметров надежности электроснабжения подстанции как источника питания и после реконструкции.

При выполнении данной работы использованы следующие программные комплексы: Microsoft: Word, Excel, Visio. Matsoft: Mathcad.

В качестве ожидаемых результатов от решение поставленных задач является: получение расчетных данных о нагрузках в узлах рассматриваемого

участка, определение номинальных мощностей силовых трансформаторов 6/0,4 кВ КТП. Получение данных о действительных значениях токов короткого замыкания на распределительных устройствах подстанции «Шмидтовка» и в распределительной сети, определение величины капитальных вложений необходимые для реконструкции электрических сетей.

В результате выполненной работы были получены следующие данные: значения нагрузок во всех узлах сети как на стороне низкого так и на стороне высокого напряжения КТП, данные о мощности силовых трансформаторов КТП, так же в процессе расчета получены реальные значения токов короткого замыкания на всех уровнях номинального напряжения.

1 КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

При выборе основного электротехнического оборудования распределительной сети а так же подстанционного необходимо иметь данные по климатической характеристике рассматриваемого района, это необходимо для правильного выбора т.к. практически все оборудование имеет климатическое исполнение и может надежно функционировать только при определенных условиях. Для этого в данном разделе приводятся основные данные по климату рассматриваемой местности

Основные климатические данные для выбора необходимого оборудования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Климатические условия района размещения объектов

Климатические условия	Величина
Ветровая нагрузка	Район по ветру III
Максимальный скоростной напор, (Н/м ²)	650
Максимальная скорость ветра, (м/с)	32
Нагрузка от гололеда	Район по гололеду III
Толщина стенки гололеда (с плотностью 0,9 г/см ³), (мм)	20
Температура воздуха высшая, (град С)	41
Температура воздуха низшая, (град С)	-45
Температура воздуха среднегодовая, (град С)	0
Число грозных часов	49

Приведенные данные используем при дальнейшем решении поставленных в данной работе задач, в частности как говорилось ранее при выборе основного электротехнического оборудования.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 0,4 кВ

При проектировании системы электроснабжения или при ее реконструкции очень важное значение имеют данные о том какие потребители будут подключены к трансформаторным подстанциям рассматриваемого района, так как они могут различаться по очень большому количеству характеристик и имеет различные требования к источникам питания.

Можно привести пример того что при первой категории по надежности электроснабжения требуется 3 независимых источника питания, для 2 категории достаточно 2 источника питания, а третья категория по надежности представляет собой всех потребителей которые не включаются в первую и вторую категорию.

В рассматриваемом районе электрические сети основную массу потребителей составляют объекты жилищно-коммунального назначения, сюда можно отнести одноэтажные многоэтажные дома такие потребители как гаражи, административные сооружения, общественные здания, склады а также большое количество объектов торговли. Также в нагрузку имеются: аптека, кинотеатр, небольшие частные организации и предприятия.

При расчёте электрических нагрузок также важное значение имеет режим работы таких потребителей в данном случае это электроприемники с мало изменяющейся маломощной нагрузкой. По роду потребляемого электрического тока мы их относим к потребителям переменного тока промышленной частоты и основную массу в данном случае представляют электроприемники 2 и 3 категории по надежности электроснабжения.

Учитывая вышесказанное будем использовать эти данные при выборе количества и силовых трансформаторов на в трансформаторных подстанциях рассматриваемого района. В данном разделе также проводится описание существующей схемы электрической сети рассматриваемого района имеющей центр питания подстанцию «Шмидтовка» которая представлена на рисунке 1.

Фидер № 1 выполняется в данном случае по петлевой схеме от него получает питание от такие КТП как №17,173,142,53,146,135,159,148. От этого фидера осуществляется связь с фидером № 3 подстанции «Тавричанка» и фидером №10 «Тавричанка». Все КТП подключенные от данного фидера имеют в наличии один трансформатор, исключением является КТП №173. Фактический коэффициент загрузки силовых трансформаторов изменяется в пределах от 0,4 до 0,6.

Фидер №15 также выполнен по петлевой схеме, от него получают питание КТП: 45, 176, 174, 4, 35, 131, 90, 49, 36, 144, 129. В данном случае резервирование может быть осуществлено с фидером №19 подстанции «Надеждинская», с фидером №2 той же подстанции. Также как и в первом случае большинство трансформаторных подстанций имеет в наличии один трансформатор исключением является КТП №174 при этом коэффициенты загрузки этих трансформаторов изменяется в пределах от 0,5 до 0,6.

Фидеры №2,5,12 выполнены иначе, имеют лучевую схему, к каждому подключено по одной трансформаторной подстанции, имеющей один трансформатор, при этом коэффициент загрузки и их находится в пределах 0,6 - 0,7.

Как говорилось ранее всё силовое оборудование рассматриваемого участка сети практически исчерпало свои ресурсы и требует замены так как прослужило более 30 лет.

Рассмотрим подробно источник питания рассматриваемого района электрических сетей и подстанцию «Шмидтовка», распределительное устройство высокого напряжения в данном случае имеет транзитную схему и выполнена по схеме «мостик с выключателями в цепях трансформаторов», на стороне высокого напряжения она имеет две секции соединённые выключателем, что положительно влияет на надежность электроснабжения. При коротком замыкании на одной из секций второй трансформатор и вторая линия остаются в работе не нарушая электроснабжение потребителей.

Также стоит отметить что при выводе в ремонт одного из трансформаторов второй из них и вторая линия остается в работе, надежность электропитания остается на высоком уровне. Распределительное устройство низкого напряжения в данном случае выполняется как и на большинстве подстанции такого рода состоящее из двух секций объединённых секционным выключателем с устройством автоматического ввода резерва, который включается в случае отсутствия питания со стороны основного выключателя, либо при выводе в ремонт силового трансформатора.

Данная работа будет рассматривать замену всего электротехнического оборудования расположенного как в электрических сетях электроснабжения так и на самом источнике питания подстанции «Шмидтовка».

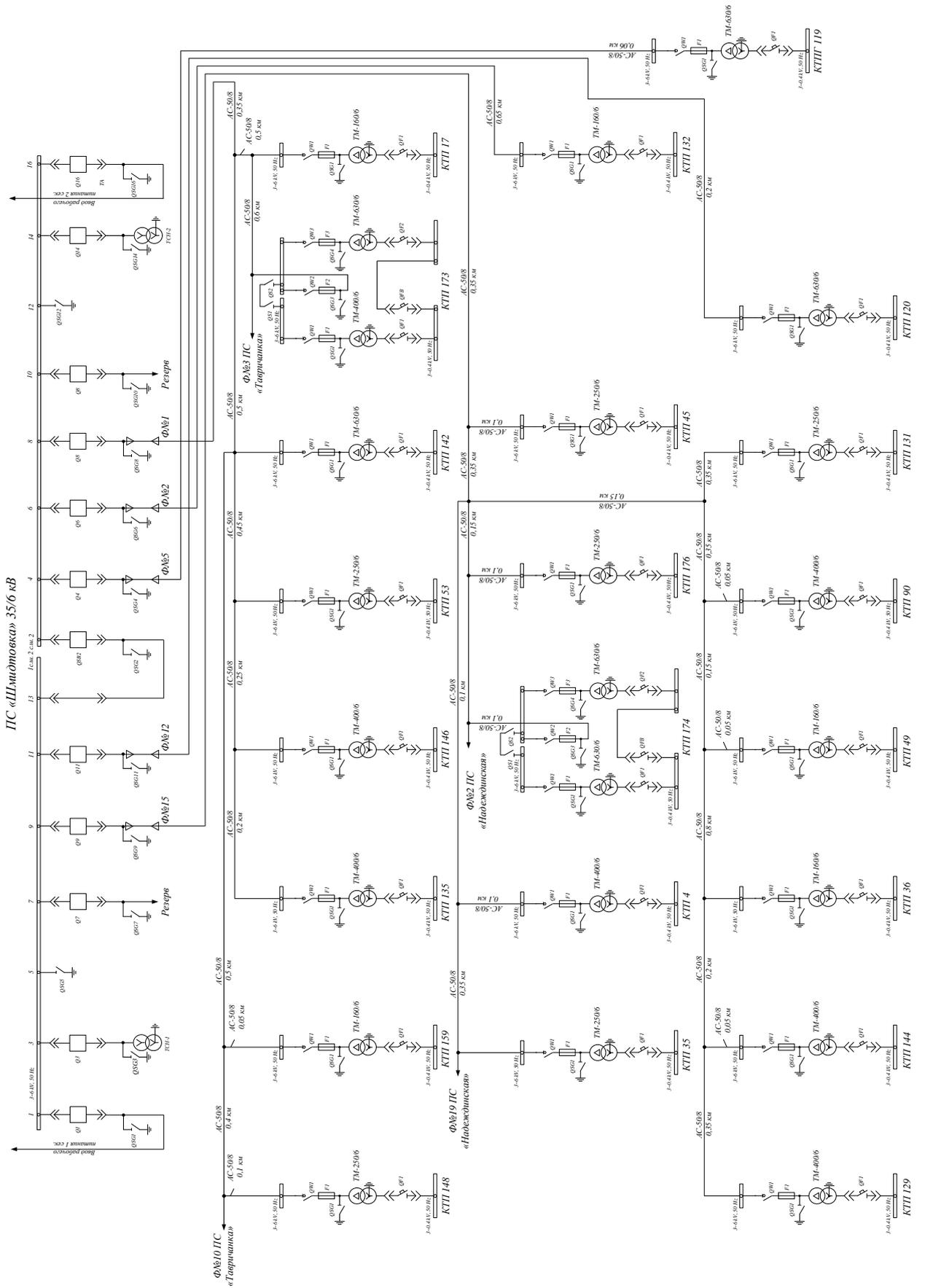


Рисунок 1 - Однолинейная схема распределительной сети 6 кВ с центром питания ПС «Шмидтовка»

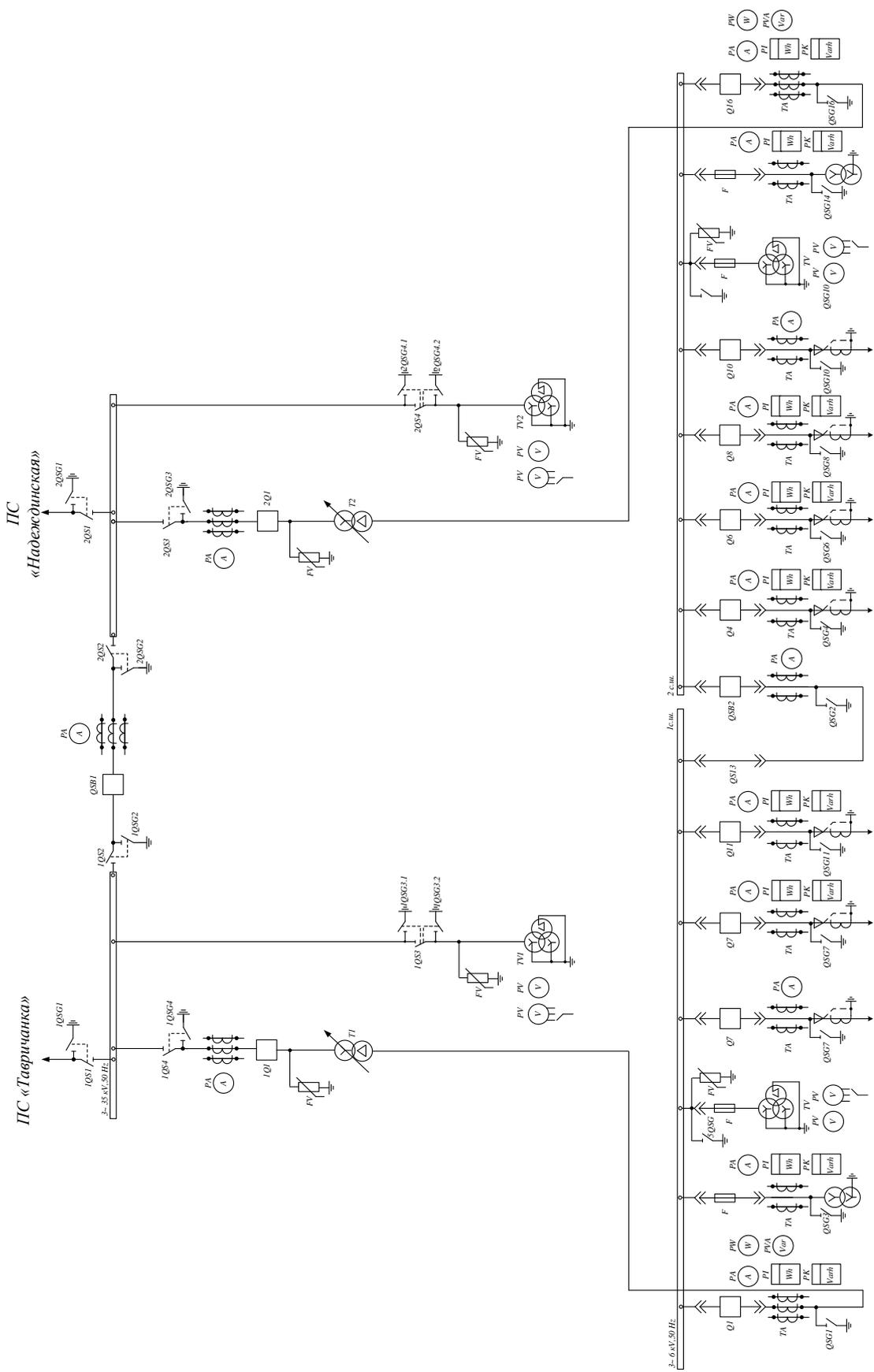


Рисунок 2 - Подробная однолинейная схема ПС «Шмидтовка»

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНЫХ НАГРУЗОК НА ШИНАХ 0,4 кВ КТП

В данном разделе будем выполнять расчет электрических нагрузок трансформаторных подстанций рассматриваемого района с использованием метода удельных электрических нагрузок который учитывает электропотребление одного из потребителей, которыми может являться семья, квартира, при этом используется вспомогательный коэффициент одновременности который в свою очередь зависит от количества таких потребителей.

Суть расчета заключается в определении количественной характеристики нагрузки на шинах низкого напряжения трансформаторных подстанций рассматриваемого района. Основную долю нагрузки составляет освещение также это электроприемники повседневного назначения; нагревательные приборы, холодильники, персональные вычислительные машины и так далее.

Целью расчета является получение данных о нагрузках на основании которых далее будет выбрано основное электротехническое оборудование: токоведущие части, провода линии электропередач, номинальная мощность силовых трансформаторов, в некоторых случаях компенсирующие устройства, а также проверена защита электрических сетей от токов короткого замыкания.

Рассмотрим подробно состав нагрузки которые присутствуют на трансформаторных подстанциях в районе электрических сетей имеющих центр питания ПС «Шмидтовка».

Исходные данные о потребителях представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные о потребителях электроэнергии

Наименование КТП	Потребитель	Количество (шт.)
1	2	3
КТП № 4	Гараж	30 ед.
	Кинотеатр	600 м. кв.
	Жилой дом эт 20кв	10 ед.
	Магазин	200 м. кв.
КТП № 17	Коттедж	58 ед.
КТП № 35	гараж	14 ед.
	Магазин	300 м. кв.
КТП № 36	Административное здание	2580 м. кв.
	Магазин	100 м. кв.
КТП № 45	гараж	240 ед.
КТП № 49	Жилой дом 1эт 40 кв	4 ед.
	Магазин	100 м. кв.
КТП № 53	Жилой дом 1эт 1кв	70 ед.
КТП № 119	Жилой дом 1эт 1кв	11 ед.
КТП № 120	Жилой дом 1эт 1кв	11 ед.
КТП № 131	Жилой дом 1эт 1кв	32 ед.
	Жилой дом 2эт 40 кв	3 ед.
КТП № 132	гараж	2 ед.
	Склад (освещение)	300 м. кв.
	Административное здание	300 м. кв.
КТП № 135	Жилой дом 1эт 1кв	56 ед.
	Жилой дом 2эт 60 кв	2 ед.
КТП № 142	Жилой дом 1эт 1кв	8 ед.
	Насосная станция	2 ед.
КТП № 146	гараж	36 ед.
	Магазин	130 м. кв.
КТП № 148	гараж	35 ед.
	Жилой дом 5эт 40 кв	2 ед.
КТП № 159	Гараж	60 ед.
КТП № 173	Школа	1000 м. кв.
	Котельная	1 ед.
	Гаражи	40 ед.
	Спортзал	200 м. кв.
КТП № 176	Торговое здание	200 м. кв.
	Жилой дом 1эт 10 кв	10 ед.
	Гаражи	20 ед.
КТП № 174	Жилой дом 5эт 45 кв	2 ед.
	Коттедж	5 ед.
	Больница	500 м. кв.
КТП № 129	Жилой дом 2эт 60 кв	2 ед.
	Гаражи	30 ед.
КТП № 144	Жилой дом 1эт 1кв	20 ед.
КТП № 90	Жилой дом 1эт 1кв	45 ед.

Рассмотрим подробно расчет на примере КТП 174:

$$P_{P0,4ТП} = P_{\max} + \sum P_{зdi} \cdot k_{yi} \quad (1)$$

где P_{\max} – наибольшая нагрузка здания из числа подключенных зданий, кВт;

$P_{зdi}$ – расчетная нагрузка зданий, кВт;

k_y – коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок.

Определяем расчетную мощность нагрузки отдельно для жилых зданий по следующей формуле:

$$P_{РЖД} = P_{кв.уд} \cdot n_{кв} \quad (2)$$

где $P_{кв.уд}$ – удельная расчетная активная мощность приходящаяся на одну квартиру или один дом (кВт/кв);

$n_{кв}$ – количество квартир, домов.

Определяем расчетную реактивную мощность нагрузки по коэффициенту мощности:

$$Q_{РЖД} = P_{РЖД} \cdot tg \varphi \quad (3)$$

Определяем расчетную мощность нагрузки отдельно для торговых зданий по следующей формуле:

$$P_{Робщ} = P_{общ.уд} \cdot M \quad (4)$$

где $P_{общ.уд}$ – удельная расчетная активная мощность приходящаяся на один квадратный метр;

M – площадь помещения (м²).

$$Q_{Робщ} = P_{Робщ} \cdot tg \varphi \quad (5)$$

При расчете учитывается коэффициент участия в максимуме нагрузки:

$$P_{P0,4ТП} = P_{РЖД} + P_{Робщ} \cdot k_y \quad (6)$$

$$Q_{P0,4ТП} = Q_{PЖД} + Q_{Робщ} \cdot k_y \quad (7)$$

Определяем полную расчетную мощность нагрузки:

$$S_{P0,4ТП} = \sqrt{P_{P0,4ТП}^2 + Q_{P0,4ТП}^2} \quad (8)$$

Пподробная информация о потребителях для КТП представлена в таблице 3:

Таблица 3 – Данные о потребителях электроэнергии КТП № 174

Потребитель	Количество (шт.)	Площадь (м ²)	P_{y0} (кВт)	tgφ
Многоквартирный дом (45 кв)	2	-	2,6	0,2
Коттедж	5	-	8,6	0,2
Больница	1	500	0,25	0,75

Определяем расчетную активную мощность нагрузки для жилых зданий по следующей формуле:

$$P_{PЖД} = P_{кв.уд} \cdot n_{кв} + P_{кот.уд} \cdot n_{кот} \quad (9)$$

$$P_{PЖД} = 45 \cdot 2 \cdot 2,6 + 8,6 \cdot 5 = 277 \text{ (кВт)}$$

где $P_{кот.уд}$ – удельная расчетная активная мощность приходящаяся на один коттедж (кВт/кот);

$n_{кот}$ – количество коттеджей.

Определяем расчетную реактивную мощность нагрузки для жилых зданий по следующей формуле:

$$Q_{PЖД} = P_{кв.уд} \cdot n_{кв} \cdot tg\varphi + P_{кот.уд} \cdot n_{кот} \cdot tg\varphi \quad (10)$$

$$Q_{PЖД} = 45 \cdot 2 \cdot 2,6 \cdot 0,2 + 8,6 \cdot 5 \cdot 0,2 = 55,4 \text{ (кВАр)}$$

Определяем расчетную активную мощность нагрузки для зданий торговли по следующей формуле:

$$P_{Робщ} = P_{общ,уд} \cdot M \quad (11)$$

$$P_{Робщ} = 0,25 \cdot 500 = 125 \text{ (кВт)}$$

Определяем расчетную реактивную мощность нагрузки для зданий торговли по следующей формуле:

$$Q_{Робщ} = P_{Робщ} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (12)$$

$$Q_{Робщ} = 125 \cdot 0,75 = 93,75 \text{ (кВАр)}$$

Определяем суммарные активную и реактивную мощность нагрузки на шинах низкого напряжения КТП №174 по следующей формуле

$$P_{Р0,4ТП} = P_{РЖД} + P_{Робщ} \cdot k_y$$

$$P_{Р0,4ТП} = 277 + 0,6 \cdot 125 = 352 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{Р0,4ТП} = Q_{РЖД} + Q_{Робщ} \cdot k_y$$

$$Q_{Р0,4ТП} = 55,4 + 0,6 \cdot 93,75 = 111,65 \text{ (кВАр)}$$

Определяем полную расчетную мощность нагрузки:

$$S_{Р0,4ТП} = \sqrt{P_{Р0,4ТП}^2 + Q_{Р0,4ТП}^2} \quad (13)$$

$$S_{Р0,4ТП} = \sqrt{352^2 + 111,65^2} = 369,28 \text{ (кВА)}$$

Расчет проводится для всех трансформаторных подстанций района электрических сетей, результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные параметры нагрузки на стороне НН КТП

Наименование КТП	Расчетная активная мощность нагрузки	Расчетная реактивная мощность нагрузки	Расчетная полная мощность нагрузки	Коэффициент реактивной мощности
КТП № 4	490,5	181,9	523,14	0,37
КТП № 17	116	23,2	118,29	0,2
КТП № 35	76,4	57,11	95,39	0,75
КТП № 36	153,8	74,13	170,73	0,48
КТП № 45	465	116,83	479,45	0,25
КТП № 49	441	101,95	452,63	0,23
КТП № 53	140	28	142,77	0,2
КТП № 119	51,7	10,34	52,72	0,2
КТП № 120	51,7	10,34	52,72	0,2
КТП № 131	395,2	79,04	403,02	0,2
КТП № 132	150,2	88,62	174,39	0,6
КТП № 135	424	84,8	432,39	0,2
КТП № 142	72,85	25,77	77,27	0,35
КТП № 146	36,1	26,6	44,84	0,74
КТП № 148	211,5	43,77	215,96	0,21
КТП № 159	6	3,72	7,05	0,62
КТП № 173	503	236,54	555,84	0,47
КТП № 176	354	92,8	365,96	0,26
КТП № 174	352	111,65	369,28	0,32
КТП № 129	315	64,26	321,48	0,21
КТП № 144	52	10,4	53,02	0,2
КТП № 90	90	18	91,78	0,2

Полученные данные используем в дальнейших расчетах при выборе трансформаторов КТП.

4 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ КТП

Данный раздел работы посвящается выбору количества, типа и мощности силовых трансформаторов, которые устанавливаются на комплектных трансформаторных подстанциях района электрических сетей. Выбор проводится в данном случае с основой на данные о электропотреблении данного района и требованием к степени надежности по электроснабжению.

В частности количество трансформаторов на подстанциях должно соответствовать категории электроснабжения потребителей которые к ним будут подключены в последствии. Учитывая тот факт что потребители района не изменяются при реконструкции систем электроснабжения, следовательно принимаем решение оставить количество трансформаторов на КТП исходное.

Выбор мощности осуществляется по расчетной мощности [1]:

$$S_{\text{ртр}} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{K_3 \cdot N} \quad (14)$$

где K_3 - номинальный коэффициент загрузки трансформатора

N – количество трансформаторов

S_p - расчетная мощность нагрузки КТП (кВА)

Для примера рассмотрим расчет мощности трансформаторов устанавливаемых на КТП № 174 , определяем расчетную мощность по формуле:

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

$$S_{\text{ртр}} = \frac{\sqrt{352^2 + 111,65^2}}{0,7 \cdot 2} = 263,77 \text{ (кВА)}$$

Принимаем к установке на КТП трансформатор типа ТМГ 400/6 - У 1.

Рассмотрим подробно преимущества силовых трансформаторов с масляной изоляцией и системой естественной циркуляции воздуха и масла типа ТМГ.

Трансформаторы имеют в наличии устройство переключения ответвлений без возбуждения то есть ПБВ, имеют герметичное исполнение и подключаются к сети трехфазного переменного тока промышленной частоты, их предназначение это питание потребителей электрической энергии общего назначения.

Такой тип трансформаторов изготавливается классом напряжения 6 кВ климатическим исполнением «У», категория размещения 1 по ГОСТ. Основные преимущества данного типа трансформаторов - это отсутствие обслуживания на всем сроке эксплуатации, отсутствие контакта масла с воздухом, что обеспечивает высокий уровень изоляционных свойств масла в течение всего срока службы трансформатора, небольшие габариты по сравнению с трансформаторами имеющим расширительный бак так как в данном случае имеется воздушная подушка. Так же следует отметить значительное снижение уровня шума, снижение потерь холостого хода и короткого замыкания по сравнению с другими трансформаторами аналогичного исполнения.

Фактический (расчётный) коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме должен находиться в пределе:

$$K_{зф} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{S_{номтр} \cdot N} \leq K_з = 0,74 \quad (15)$$

где $S_{номтр}$ - номинальная мощность принятого трансформатора КТП.

Определяем фактический (расчетный) коэффициент загрузки трансформаторов на КТП №174:

$$K_{зф} = \frac{\sqrt{352^2 + 111,65^2}}{2 \cdot 250} = 0,46$$

Определяем фактический (расчетный) коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме работы (для двухтрансформаторных КТП при отключении одного трансформатора) на примере КТП №174:

$$K_{зна} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{S_{номтр} \cdot (N - 1)} \leq 1,4 \quad (16)$$

$$K_{зна} = \frac{\sqrt{352^2 + 111,65^2}}{250} = 0,92 \leq 1,4$$

Коэффициенты загрузки имеют приемлемое значение. Данные представлены в таблице 5

Таблица 5 - Расчет электрических нагрузок КТП и выбор трансформаторов

Наименование КТП	S_p (кВА)	$S_{ртр}$ (кВА)	$K_{эф}$	$K_{зна}$	N (шт)	$S_{номтр}$ (кВА)
КТП № 4	523,14	615,46	0,83	-	1	630
КТП № 17	118,29	139,12	0,69	-	1	160
КТП № 35	95,39	112,22	0,6	-	1	160
КТП № 36	170,73	200,86	0,68	-	1	250
КТП № 45	479,45	564,06	0,76	-	1	630
КТП № 49	452,63	532,51	0,72	-	1	630
КТП № 53	142,77	167,96	0,57	-	1	250
КТП № 119	52,72	62,02	0,53	-	1	100
КТП № 120	52,72	62,02	0,53	-	1	100
КТП № 131	403,02	474,14	0,64	-	1	630
КТП № 132	174,39	205,16	0,7	-	1	250
КТП № 135	432,39	508,69	0,69	-	1	630
КТП № 142	77,27	90,91	0,77	-	1	100
КТП № 146	44,84	52,75	0,52	-	1	100
КТП № 148	215,96	254,07	0,54	-	1	400
КТП № 159	7,05	8,29	0,18	-	1	40
КТП № 173	555,84	397,03	0,69	1,38	2	400
КТП № 176	365,96	430,54	0,58	-	1	630
КТП № 174	369,28	263,77	0,54	0,92	2	400
КТП № 129	321,48	378,21	0,8	-	1	400
КТП № 144	53,02	62,38	0,53	-	1	100
КТП № 90	91,78	107,98	0,57	-	1	160

Значение коэффициентов загрузки трансформаторов находятся в пределах допустимых значений в соответствии с количеством трансформаторов на трансформаторных подстанциях, далее проводим

определение расчетной мощности нагрузки на стороне высокого напряжения трансформаторных подстанции которая будет включать в себя нагрузку на стороне низкого напряжения и потери в силовых трансформаторах

Марка и параметры выбранных типов трансформаторов представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Марка и параметры выбранных трансформаторов

Марка	Ток холостого хода (%)	Напряжение короткого замыкания (%)	Потери холостого хода (кВт)	Потери короткого замыкания (кВт)
ТМГ-40/10-У 1	3	4,5	0,15	0,88
ТМГ-100/10-У 1	2,6	4,5	0,27	1,97
ТМГ-160/10-У 1	1,5	4,5	0,41	2,6
ТМГ-250/10-У 1	1	4,5	0,53	3,7
ТМГ-400/10-У 1	0,8	4,5	0,8	5,5
ТМГ-630/10-У 1	0,6	5,5	1,24	7,6

Используем далее приведенные данные.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК НА ШИНАХ 6 кВ ПС «ШМИДТОВКА»

Перед началом выбора основного электротехнического оборудования линий электропередач от которых будут получать питание комплектные трансформаторные подстанции и района электрических сетей а также выбора компенсирующих устройств, необходимо определить данные о нагрузке на стороне высокого напряжения трансформаторных подстанций.

При этом эти данные определяются путем суммирования всех нагрузок трансформаторов и умножения полученного значения на коэффициент совмещения максимумов нагрузки согласно справочным данным.

При определении нагрузки к ней соответственно добавляются потери в трансформаторах которые мы можем определить по следующим формулам:

Потери активной мощности (кВт) [4]:

$$\Delta P_m = \left(\frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{вн}^2} \right) \cdot R + \Delta P_x \quad (17)$$

или

$$\Delta P_m = \Delta P_k \cdot K_z^2 + \Delta P_x \quad (18)$$

Потери реактивной мощности (кВАр):

$$\Delta Q_m = \left(\frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{вн}^2} \right) \cdot X + \Delta Q_x \quad (19)$$

$$\Delta Q_m = \frac{u_k \cdot S_n^2}{100 \cdot S_{тн\text{ом}}} + \frac{I_x \cdot S_{тн\text{ом}}}{100} \quad (20)$$

где P_n - расчетная активная мощность нагрузки (кВт)

Q_n - расчетная реактивная мощность нагрузки (кВАр)

R - активное сопротивление трансформатора (Ом)

X - реактивное сопротивление трансформатора (Ом)

ΔP_x - потери активной мощности в режиме холостого хода трансформатора (кВт)

ΔQ_x - потери реактивной мощности в режиме холостого хода трансформатора (квар)

Для примера рассмотрим определение потерь мощности в трансформаторах КТП №174:

$$\Delta P_m = \Delta P_k \cdot K_3^2 + \Delta P_x \quad (21)$$

$$\Delta P_m = 2 \cdot 5,5 \cdot 0,46^2 + 2 \cdot 0,8 = 3,94 \quad (\text{кВт})$$

$$\Delta Q_m = \frac{u_k \cdot S_n^2}{100 \cdot S_{\text{тн.ом}}} + \frac{I_x \cdot S_{\text{тн.ом}}}{100}$$

$$\Delta Q_m = 2 \cdot \frac{4,5 \cdot \left(\frac{369,28}{2}\right)^2}{100 \cdot 400} + 2 \cdot \frac{0,8 \cdot 400}{100} = 37,08 \quad (\text{кВАр})$$

Определяем полную мощность потерь по формуле (кВА):

$$\Delta S_m = \sqrt{\Delta P_m^2 + \Delta Q_m^2} \quad (22)$$

$$\Delta S_m = \sqrt{3,94^2 + 37,08^2} = 37,29 \quad (\text{кВА})$$

Определяем расчетную мощность нагрузки на шинах высокого напряжения КТП №174

$$S_{P6\text{ТП}} = \Delta S_m + S_{P0,4\text{ТП}}$$

$$S_{P6\text{ТП}} = 37,29 + 369,28 = 406,57 \quad (\text{кВА})$$

$$P_{P6\text{ТП}} = \Delta P_m + P_{P0,4\text{ТП}}$$

$$P_{P6П} = 3,94 + 352 = 355,94 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{P6П} = \Delta Q_m + Q_{P0,4П}$$

$$Q_{P6П} = 37,08 + 111,5 = 148,73 \text{ (кВАр)}$$

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

Таблица 7 – Расчетная электрическая нагрузка на стороне 6 кВ КТП

Наименование КТП	$K_{зф}$	Потери в трансформаторах,			Расчетная нагрузка узла (кВА)		
		ΔP_m (кВт)	ΔQ_m (квар)	ΔS_m (кВА)	$P_{P6П}$ (кВт)	$Q_{P6П}$ (квар)	$S_{P6П}$ (кВА)
КТП № 4	0,83	6,48	27,67	28,42	496,98	209,57	551,6
КТП № 17	0,69	0,64	3,45	3,5	116,64	26,65	119,65
КТП № 35	0,6	1,33	4,96	5,14	77,73	62,07	100,5
КТП № 36	0,68	2,26	7,75	8,07	156,06	81,88	178,8
КТП № 45	0,76	5,64	23,85	24,51	470,64	140,68	504
КТП № 49	0,72	5,16	21,67	22,27	446,16	123,62	474,9
КТП № 53	0,57	1,74	6,17	6,41	141,74	34,17	149,2
КТП № 119	0,53	0,82	3,85	3,94	52,52	14,19	56,66
КТП № 120	0,53	0,82	3,85	3,94	52,52	14,19	56,66
КТП № 131	0,64	4,35	17,96	18,48	399,55	97	421,5
КТП № 132	0,7	2,33	7,97	8,31	152,53	96,59	182,7
КТП № 135	0,69	4,82	20,1	20,67	428,82	104,9	453,1
КТП № 142	0,77	1,45	5,29	5,48	74,3	31,06	82,75
КТП № 146	0,45	0,67	3,51	3,57	36,77	30,11	48,41
КТП № 148	0,54	2,403	8,45	8,78	213,9	52,22	224,7
КТП № 159	0,18	0,18	1,26	1,27	6,177	4,96	8,318
КТП № 173	0,69	6,91	75,92	76,23	509,91	312,46	632,1
КТП № 176	0,58	3,8	15,47	15,93	357,8	108,27	381,9
КТП № 174	0,46	3,94	37,08	37,29	355,94	148,73	406,6
КТП № 129	0,8	4,35	14,83	15,45	319,35	79,09	336,9
КТП № 144	0,53	0,82	3,87	3,95	52,82	14,26	56,97
КТП № 90	0,57	1,27	4,77	4,93	91,27	22,77	96,71
Сумма					5010,1	1809,44	5524,63

Исходя из полученных значений проводим далее наши расчеты.

Далее определяем расчетную мощность нагрузки на шинах низкого напряжения ПС 35 кВ «Шмидтовка» по следующей формуле [5]:

$$S_{p\Sigma} = k_o \times \sum S_{pi} \quad (23)$$

где S_{pi} - расчетная полная мощность нагрузки (кВА)

k_o - коэффициент совмещения максимумов нагрузки трансформаторов КТП, принимается равным 0,7 (при количестве трансформаторов на КТП более 20)

$$S_{p\Sigma} = 0,7 \cdot 5524,63 = 3867,2 \text{ (кВА)}$$

Так же проводим расчет активной и реактивной составляющих нагрузки.

$$P_{p\Sigma} = 0,7 \times 5010,1 = 3507,07 \text{ (кВт)}$$

Реактивная мощность на шинах НН ПС «Шмидтовка»

$$Q_{p\Sigma} = 0,7 \times 1809,44 = 1266,61 \text{ (кВТ)}$$

Результатом данного расчета стало получение значений о расчетных нагрузках на стороне низкого напряжения ПС «Шмидтовка»

6 ВЫБОР КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПС «ШМИДТОВКА»

Обязательным условием при реконструкции электрических сетей в настоящее время является выбор места установки, а также номинальной мощности установок компенсации реактивной мощности. Данное устройство положительно влияет на режим работы электрооборудования позволяя разгружать его до минимального значения за счет выработки реактивной энергии непосредственно у потребителя.

Силовое оборудование при эксплуатации с такими устройствами позволяет подключать нагрузки большей мощности так как реактивная мощность больше не передается из сети а вырабатывается непосредственно на самой подстанции.

Предварительно перед выбором номинальной мощности силовых трансформаторов определяется экономически целесообразная реактивная мощность которая может быть получена из сети:

Расчёт требуемой мощности:

$$Q_K = Q_P - P_P \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (24)$$

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

Q_P - расчетная реактивная мощность.

P_P - расчетная активная мощность.

Требуемую мощность компенсирующих устройств устанавливаемых на одну систему шин 6 кВ ПС «Шмидтовка» определяем по формуле (кВАр):

$$Q_{k1} = \frac{Q_K}{2} \quad (25)$$

где Q_{k1} - мощность компенсирующих устройств необходимых к установке на одну секцию 6 кВ (кВАр)

Мощность КУ выбирается из стандартного ряда и определяется некомпенсированная мощность:

$$Q_{неск} = Q_P - Q_{ном} \quad (26)$$

где $Q_{ном}$ - номинальная мощность компенсирующих.

Проводим расчет для рассматриваемой ПС, мощность КУ требуемая:

$$Q_K = 1266,61 - 3507,07 \cdot 0,4 = -136,47 \text{ (кВАр):}$$

В ходе расчета оказалось что расчетная мощность компенсирующих устройств которые необходимо установит на ПС «Шмидтовка» имеет отрицательное значение это говорит о том что компенсация реактивной мощности не требуется.

7 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПС «ШМИДТОВКА»

Данный раздел посвящен вопросу замены силовых трансформаторов на подстанции «Шмидтовка» из за исчерпания своего ресурса и периодического выхода из строя в результате различных неполадок а также увеличения нагрузки на стороне низкого напряжения.

Расчетная мощность силового двух обмоточного трансформатора определяется по следующей формуле (кВА) [5]:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{n_T \cdot K_3^{opt}} \quad (27)$$

где S_p – расчётная мощность трансформатора (кВА);

P_p – расчетная активная мощность (согласно расчетным данным) (МВт);

Q_p – расчетная реактивная мощность (кВАр);

n_T – число трансформаторов (согласно категории потребителей электроэнергии);

K_3^{opt} – оптимальный коэффициент загрузки (0,7- для двух трансформаторной ПС).

Проверяем трансформаторы по коэффициенту загрузки

$$K_H = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{n_T \cdot S_{Тном}} \quad (28)$$

$$K_A = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{(n_T - 1) \cdot S_{Тном}} \quad (29)$$

Определяем расчетную мощность трансформаторов устанавливаемых на подстанции «Шмидтовка»:

$$S_p = \frac{\sqrt{3507,07^2 + 1266,61^2}}{2 \cdot 0,7} = 2565,32 \text{ (кВА)}$$

Принимаем для установки на данной подстанции трансформатор типа ТМН 3200/35/6 который имеет систему охлаждения в виде естественной циркуляцией воздуха и масла также он оснащен устройством регулирования напряжения под нагрузкой номинальная мощность составляет 3200 кВА, напряжение соответственно стороны ВН 35 кВ и стороны НН 6 кВ далее проводим расчет коэффициента загрузки в различных режимах работы трансформатора.

$$K_H = \frac{\sqrt{3507,07^2 + 1266,61^2}}{2 \cdot 3200} = 0,58$$

$$K_A = \frac{\sqrt{3507,07^2 + 1266,61^2}}{3200} = 1,16$$

Расчёт показывает что коэффициент фактической загрузки трансформатора на подстанции «Шмидтовка» не выходит за допустимые пределы как в нормальном режиме так и в режиме отключения одного из трансформаторов, делаем вывод о том что в режиме минимальных нагрузок есть возможность отключения одного из трансформаторов например в режиме летнего минимума

8 КОНСТРУКЦИЯ РУ ВН, НН ПС «ШМИДТОВКА».

Однолинейная схема ПС «Шмидтовка» представлена на рисунке 3. Распределительное устройство высокого напряжения в данном случае имеет транзитную схему и выполнена по схеме «мостик с выключателями в цепях трансформаторов», на стороне высокого напряжения она имеет две секции соединённые выключателем, что положительно влияет на надёжность электроснабжения. При коротком замыкании на одной из секций второй трансформатор и вторая линия остаются в работе не нарушая электроснабжение потребителей.

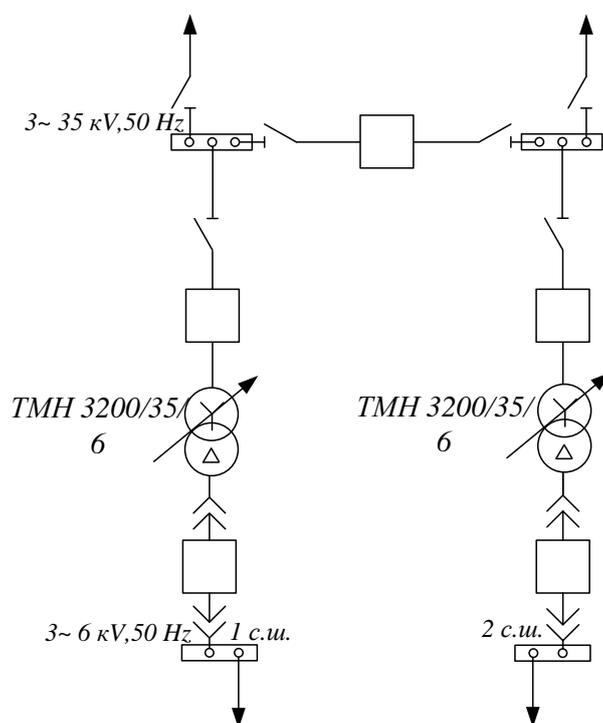


Рисунок 3 – Однолинейная схема подстанции 35 кВ «Шмидтовка» после реконструкции

Также стоит отметить что при выводе в ремонт одного из трансформаторов второй из них и вторая линия остается в работе, надёжность электро-

снабжения остается на высоком уровне. Распределительное устройство низкого напряжения в данном случае выполняется как и на большинстве подстанции такого рода состоящее из двух секций объединённых секционным выключателем с устройством автоматического ввода резерва, который включается в случае отсутствия питания со стороны основного выключателя, либо при выводе в ремонт силового трансформатора.

Питание ПС как указывалось ранее осуществляется по двум ВЛ выполненным проводом марки АС 120/19 со стороны ПС «Тавричанка» и «Наеждинская».

9 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Данный расчет проводился для выбора оборудования устанавливаемого на РУ 35 и 6 кВ ПС «Шмидтовка». В качестве источников питания принимаются РУ 35 кВ ПС «Тавричанка» и РУ 35 кВ ПС «Надеждинская»

Расчетные точки КЗ показаны на рисунке 4.

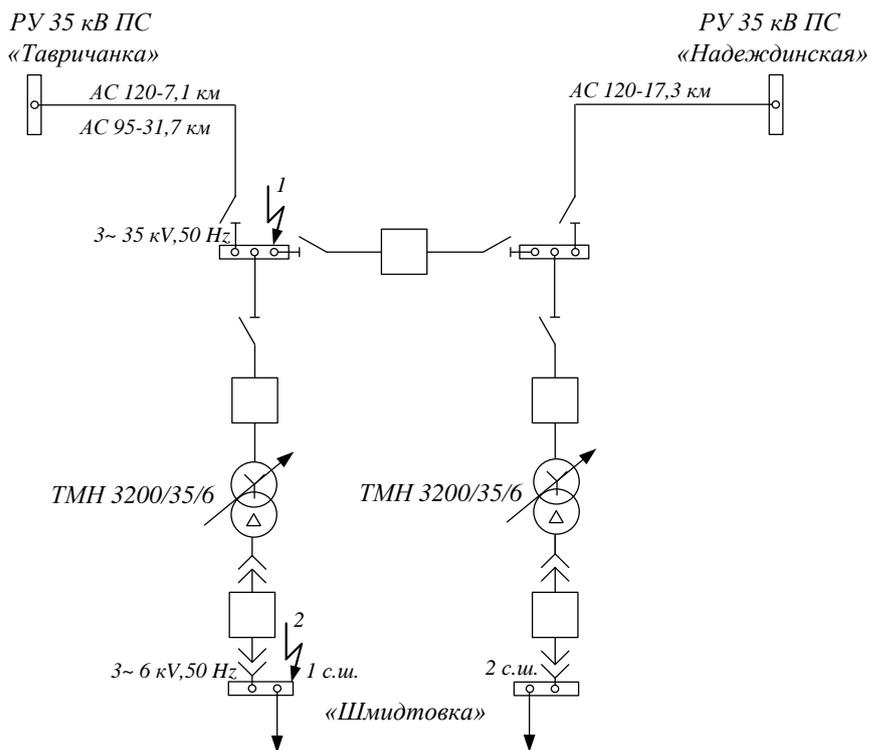


Рисунок 4 – Расчетное место КЗ

На рисунке 5 представлена схема замещения участка сети для расчета токов КЗ.

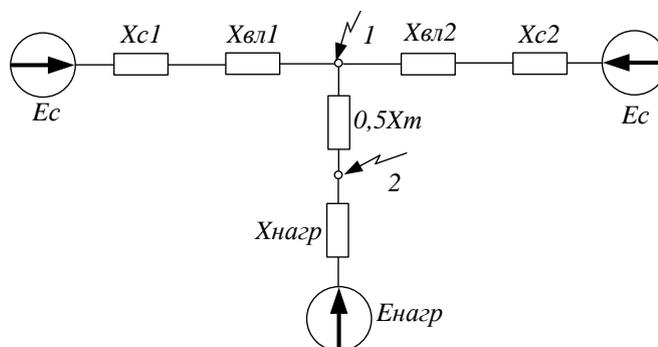


Рисунок 5 – Схема замещения участка сети с указанием расчетной точки КЗ

Принимаем базисные условия:

- 1) базисная мощность $S_6 = 3,2$ (МВА),
- 2) базисное напряжение на стороне 35 кВ $U_{635} = 37$,
- 3) базисное напряжение на стороне 6 кВ $U_{66} = 6,3$.
- 4) Справочные ЭДС и сопротивление обобщенной нагрузки соответственно равны 0,85 и 0,35 (о.е.)

Базисный ток:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \quad (30)$$

где I_6 , U_6 – базисные ток и напряжение на одной ступени номинального напряжения;

$$I_{635} = \frac{3,2}{\sqrt{3} \cdot 37} = 0,06 \text{ (кА)}$$

$$I_{66} = \frac{3,2}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,29 \text{ (кА)}$$

Определяем сопротивления элементов:

Сопротивление энергосистемы (ПС «Тавричанка»):

$$X_{c1} = \frac{S_6}{S_{c1}} \quad (31)$$

$$X_{c1} = \frac{3,2}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot 7,9} = 0,08 \text{ (о.е.)}$$

$$X_{c2} = \frac{S_6}{S_{c2}}$$

$$X_{c2} = \frac{3,2}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot 5,8} = 0,09 \text{ (о.е.)}$$

где S_c – мощность короткого замыкания.

Определяем сопротивление ПС «Шмидтовка» - ПС «Тавричанка»:

$$X_B = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} \quad (32)$$

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

l – длина ВЛ (км)

$$X_{B1} = 0,4 \cdot (7,1 + 31,7) \cdot \frac{3,2}{37^2} = 0,045 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление ВЛ ПС «Надеждинская» - ПС «Шмидтовка»:

$$X_{B2} = 0,4 \cdot 17,3 \cdot \frac{3,2}{37^2} = 0,002$$

Определяем сопротивление обобщенной нагрузки (о.е.):

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{S_6}{S_H} \quad (33)$$

где S_H , – мощность нагрузки (МВА)

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{S_6}{S_H} = 0,35 \cdot \frac{3,2}{\sqrt{3,51^2 + 1,27^2}} = 0,37 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление обмотки трансформаторов установленных на подстанции «Шмидтовка» (о.е.) по следующей формуле:

$$X_T = \frac{u_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}} \quad (34)$$

$$X_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{3,2}{3,2} = 0,055 \text{ (о.е.)}$$

где $u_{к\%}$, – напряжение короткого замыкания

Проводим последовательное преобразование схемы замещения для определения расчетных значений результирующего сопротивления и ЭДС.

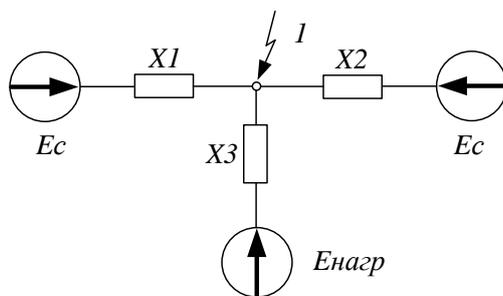


Рисунок 6 – Сворачивание схемы замещения

$$X1 = X_{C1} + X_{B1}$$

$$X1 = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ (о.е.)}$$

$$X2 = X_{C2} + X_{B2}$$

$$X2 = 0,09 + 0,002 = 0,092 \text{ (о.е.)}$$

$$X3 = 0,5 \times X_T + X_H$$

$$X3 = 0,5 \times 0,055 + 0,37 = 0,398 \text{ (о.е.)}$$

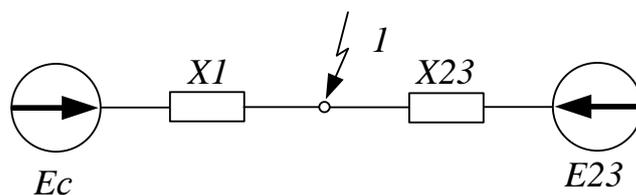


Рисунок 7 – Сворачивание схемы замещения

$$X23 = \frac{X2 \cdot X3}{X2 + X3}$$

$$X23 = \frac{0,092 \cdot 0,398}{0,092 + 0,398} = 0,07 \text{ (о.е.)}$$

$$E23 = \frac{E_c \cdot X3 + E_H \cdot X2}{X2 + X3}$$

$$E23 = \frac{1 \cdot 0,398 + 0,85 \cdot 0,092}{0,398 + 0,092} = 0,97 \text{ (о.е.)}$$

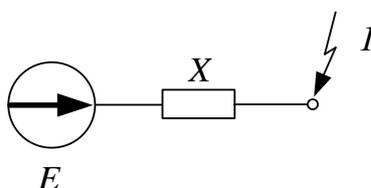


Рисунок 8 – Определение результирующего сопротивления и ЭДС

$$X = \frac{X1 \cdot X23}{X1 + X23}$$

$$X = \frac{0,125 \cdot 0,07}{0,125 + 0,07} = 0,04 \text{ (о.е.)}$$

$$E = \frac{E_c \cdot X23 + E23 \cdot X1}{X23 + X1}$$

$$E = \frac{1 \cdot 0,07 + 0,97 \cdot 0,125}{0,07 + 0,125} = 0,98 \text{ (о.е.)}$$

Находим начальное значение периодической составляющей тока КЗ в расчетной точке кз1:

$$I_{no1} = \frac{E}{X} \cdot I_{635} = \frac{0,98}{0,04} \cdot 0,06 = 1,47 \text{ (кА)} \quad (35)$$

Находим значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания по следующей формуле:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no1} \cdot e^{\frac{-t_{OB}}{T_a}} \quad (36)$$

где I_{at} – аperiodическая составляющая тока КЗ

I_{no} – периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени (кА)

t_{OB} – время отключения выключателя

T_a – постоянная времени

Значение апериодической составляющей тока короткого замыкания на примере первой точки:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no1} \cdot e^{\frac{-t_{OB}}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 1,47 \cdot e^{\frac{-0,6}{0,03}} = 0,001 \text{ (кА)}$$

Постоянную времени можно определить по следующей формуле:

$$T_a = \frac{X_p}{\omega \cdot R_p} \quad (37)$$

где X_p – результирующее индуктивное сопротивление до точки короткого замыкания (о.е.)

R_p – результирующее активное сопротивление до точки короткого замыкания (о.е.)

ω – угловая частота (314 рад/сек.)

Ударный ток короткого замыкания:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} \right) \quad (38)$$

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 1,47 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}} \right) = 3,57 \text{ (кА)}$$

Аналогично проводится расчет токов короткого замыкания для точки кз2 результаты расчета сводятся в таблицу 8:

Таблица 8 – Результаты расчета токов короткого замыкания

Расчетная точка короткого замыкания	$I_{no}, \text{(кА)}$	$I_{at}, \text{(кА)}$	$I_{y\partial}, \text{(кА)}$
1	1,47	0,001	3,57
2	4,62	0,02	11,21

Полученные данные используем в расчетах при проверке токоведущих частей и коммутационной аппаратуры.

10 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РУ ПС «ШМИДТОВКА»

На основании данных полученных в ходе расчет электрических нагрузок в данном разделе будет производиться выбор всего силового оборудования для источника питания района электрических сетей - подстанции «Шмидтовка», также при выборе оборудования следует учитывать данные о токах короткого замыкания, характеристике потребителей электрической энергии и условиях расположения объектов реконструкции. Дополнительно необходимо знать данные о рабочих токах в электроустановках на различных уровнях напряжения.

10.1 Выбор выключателей 35 кВ.

Максимальные рабочие токи в РУ указаны в таблице 9.

Таблица 9 – Максимальные рабочие токи в РУ

Номинальное напряжение (кВ)	Максимальный рабочий ток (А)
ПС «Шмидтовка»	
35	105,5
6	410,6

Выбираем выключатели 35 кВ. Первоначально принимаем вакуумный выключатель марки ВР35НС.

Определяем значение интеграла на шинах ВН ПС «Шмидтовка»

$$B_K = 1,47^2 \cdot (0,1 + 0,03) = 0,28 \text{ (кА}^2 \cdot \text{сек)}$$

Определяем значение интеграла на шинах НН ПС «Шмидтовка»

$$B_K = 4,62^2 \cdot (0,1 + 0,03) = 2,77 \text{ (кА}^2 \cdot \text{сек)}$$

Сравнение параметров выбранного выключателя со значениями, полученными при расчете токов КЗ показано в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор выключателя 35 кВ для ПС «Шмидтовка»

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора
1	2	3	4
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{номсети} = 35$ кВ	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток	$I_{ном} = 630$ А	$I_{макс} = 105,5$ А	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Условия проверки			
Номинальный ток включения	$I_{вкл} = 12,5$ кА	$I_{н0} = 1,47$ кА	$I_{вкл} \geq I_{н0}$
Наибольший пик тока включения	$i_{вкл} = 31$ кА	$i_{уд} = 3,57$ кА	$i_{вкл} \geq i_{уд}$
Номинальный ток отключения	$I_{откл} = 12,5$ кА	$I_{нт} = 1,47$ кА	$I_{откл} \geq I_{нт}$
Номинальное значение апериодической составляющей, кА	$i_{ан} = 7,9$ кА	$i_a = 0,001$ кА	$i_{ан} \geq i_a$
Предельный сквозной ток	$i_{прскв} = 31$ кА	$i_{уд} = 3,57$ кА	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 5000$ кА ² с	$B_K = 0,28$ кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$

Данный тип выключателя предлагается к установке на все присоединения РУ 35 кВ ПС «Шмидтовка».

10.2 Выбор выключателей 6 кВ.

На напряжении 6 кВ для ПС «Шмидтовка» первоначально принимаем для установки выключатель вакуумные ВРС-10-31,5-630 в комплекте КРУ типа КУ-6С. Комплектное распределительное устройство 6 кВ серии КУ-6С разработано для работы в сетях трехфазного переменного тока класса напряжения 6(10) кВ промышленной частоты 50(60) Гц при номинальном токе 630-4000 А и токе отключения 20; 31,5 и 40 кА в системах с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью.

Сравнение параметров выбранного выключателя со значениями, полученными при расчете токов короткого замыкания показано в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор выключателя 6 кВ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора
Номинальное напряжение (кВ)	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{номсети} = 6$ кВ	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток (А)	$I_{ном} = 630$ А	$I_{макс} = 410,6$ А	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Условия проверки			
Номинальный ток включения (кА)	$I_{вкл} = 31,5$ кА	$I_{н0} = 4,62$ кА	$I_{вкл} \geq I_{н0}$
Наибольший пик тока включения (кА)	$i_{вкл} = 128$ кА	$i_{уд} = 11,21$ кА	$i_{вкл} \geq i_{уд}$
Номинальный ток отключения (кА)	$I_{откл} = 31,5$ кА	$I_{нт} = 4,62$ кА	$I_{откл} \geq I_{нт}$
Номинальное значение аperiodической составляющей (кА)	$i_{ан} = 8,48$ кА	$i_a = 0,02$ кА	$i_{ан} \geq i_a$
Предельный сквозной ток (кА)	$i_{прскв} = 128$ кА	$i_{уд} = 11,21$ кА	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 4800$ кА ² с	$B_K = 2,77$ кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$

Данный тип выключателя предлагается к установке на все присоединения.

10.3 Выбор разъединителей.

На ОРУ 35 кВ, по напряжению и максимальному рабочему току выбираем разъединители марки РДЗ-35/1000 УХЛ1. Привод разъединителя – ПРНЗ.

Сравнение параметров показано в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор и проверка разъединителя 35 кВ для ПС «Шмидтовка»

Номинальные параметры разъединителя		Расчетные данные	Условия выбора
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{номсети} = 35$ кВ	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток	$I_{ном} = 1000$ А	$I_{макс} = 105,5$ А	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Условия проверки			
Предельный сквозной ток	$i_{прскв} = 63$ кА	$i_{уд} = 3,57$ кА	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1875$ кА ² с	$B_K = 0,28$ кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$

10.4 Выбор трансформаторов тока.

Рассмотрим подробно расчет вторичной нагрузки трансформатора тока:

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}} + r_{\kappa} \quad (41)$$

Сопротивление контактов принимается равным $r_{\kappa}=0,1$ Ом. Сопротивление соединительных проводов можно рассчитать по формуле:

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l}{F} \quad (42)$$

где $\rho = 0,0283$ (Ом·мм²)/м – удельное сопротивление алюминия;

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

F - сечение соединительного провода, $F = 4$ мм².

Сопротивление соединительных проводов (для 35 и 6 кВ):

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

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{пров}} = \frac{S_{\text{пр}}}{I_2^2} \quad (43)$$

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

I_2 - вторичный номинальный ток трансформатора тока, $I_2=1$ А.

В качестве измерительного комплекса используем трехфазный прибор учета электрической энергии Меркурий 201.8.

Расчет нагрузки наиболее загруженной фазы на напряжении 35, 6 кВ приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 35 и 6 кВ ПС «Шмидтовка»

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, ВА
Амперметр	Э-350	0,5
Счетчик АЭ	Меркурий 201.8	0,12
Счетчик РЭ		

Мощность наиболее загруженной фазы на напряжение 35 и 6 кВ $S_{ПП} = 0,62$ ВА. Тогда сопротивление приборов:

$$r_{приб} = \frac{S_{ПП}}{I^2}$$

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

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

$$Z_2 = r_{пров} + r_{приб} + r_k$$

$$Z_2 = 0,62 + 0,43 + 0,1 = 1,15 \text{ (Ом)}$$

Принимаем трансформатор тока по стороне 35 кВ ТОЛ-35-III для ПС «Шмидтовка». Сравнение параметров приведено в таблице 14, 15.

Таблица 14 – Проверка выбранного ТТ 35 кВ для ПС «Шмидтовка»

Номинальные параметры трансформатора тока	Расчетные данные		Условия выбора
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{номсети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток	$I_{ном} = 150 \text{ А}$	$I_{макс} = 105,5 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Условия проверки			
Предельный сквозной ток	$i_{прскв} = 125 \text{ кА}$	$i_{уд} = 3,57 \text{ кА}$	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, $\text{кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 7203 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 0,28 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$
Номинальная вторичная нагрузка Z_2 ном (Ом)	30 Ом	1,15 Ом	$Z_{2ном} \geq Z_2$

Принимаем трансформатор тока по стороне 6 кВ для ПС «Шмидтовка» ТПЛК-6/150 с номинальным током первичной обмотки 150 А. Сравнение параметров приведено в таблице 20.

Таблица 15 – Проверка выбранного ТТ 6 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{номсети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Номинальный ток	$I_{ном} = 500 \text{ А}$	$I_{макс} = 410,6 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{макс}$
Условия проверки			
Предельный сквозной ток	$i_{прскв} = 140 \text{ кА}$	$i_{уд} = 11,21 \text{ кА}$	$i_{прскв} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость, кА ² с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 58800 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 2,77 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K$
Номинальная вторичная нагрузка Z ₂ ном (Ом)	15 Ом	1,15 Ом	$Z_{2ном} \geq Z_2$

Данный тип трансформатора тока проходит по всем параметрам, следовательно его оставляем.

10.5 Выбор трансформаторов напряжения.

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим критериям:

- а) по номинальному напряжению
- б) по конструкции и схеме подключения;
- в) по классу точности;
- г) по мощности вторичной нагрузки:

$$S_{2ном} \geq S_2$$

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

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

Выбираем трансформатор напряжения на ОРУ 35 кВ определяем мощность вторичной нагрузки. Данные представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения 35 кВ ПС «Шмидтовка»

Тип прибора	Прибор	Количество приборов	Потребляемая мощность, В·А
Вольтметр	Э-335	2	2
Счетчик АЭ	Меркурий 201.8	2	4
Счетчик РЭ			
Сумма			12

Принимаем к установке трансформатор напряжения типа НАМИ 35 УХЛ1.

Проводим проверку по вторичной нагрузке. Данные приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Проверка выбранного ТН 35 кВ для ПС «Шмидтовка»

Номинальные параметры ТН		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,2	$S_{2ном} = 75 \text{ ВА}$	$S_2 = 12 \text{ ВА}$	$S_{2ном} \geq S_2$

Трансформатор напряжения проходит проверку по параметрам, следовательно, его оставляем.

Выбираем трансформатор напряжения для РУ 6 кВ ПС «Шмидтовка» НАМИ 6 УХЛ1. Определяем мощность вторичной нагрузки РУ 6 кВ ПС «Шмидтовка». Данные представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Вторичная нагрузка трансформаторов 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	Меркурий 201.8	12	4
Счетчик РЭ			
Сумма			58

Таблица 19 – Проверка выбранных трансформаторов напряжения 6 кВ

Номинальные параметры ТН		Расчетные дан- ные	Условия выбора и проверки
Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,2	$S_{2ном} = 75 \text{ ВА}$	$S_2 = 58 \text{ ВА}$	$S_{2ном} \geq S_2$

Трансформатор напряжения проходит по параметрам следовательно его оставляем.

10.6 Выбор гибкой ошиновки.

Для РУ 35 кВ применяются провода таким же сечением как и отходящие ВЛ – АС-120/19 мм² Проверку на корону гибкой ошиновки 35 кВ проводить не требуется. Длительно допустимый ток для данного типа провода составляет 390 А вне помещений что меньше расчетного тока 105,5 А

10.7 Выбор жестких шин 6 кВ.

Проводим выбор жестких шин марки АД на стороне низкого напряжения подстанции «Шмидтовка». Максимальный рабочий ток составляет 410,6 А. Принимаем минимальное сечение алюминиевой шины с размерами 50 × 5 мм (2,5 см²), длительно допустимы ток для данной шины составляет 860 А. Шины устанавливаем плашмя, расстояние между фазами составляет 0,4 м.

Проверяем шины на термическую стойкость, определяем минимальное сечение по условиям нагрева токами КЗ.

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} \quad (44)$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{12,81}}{91} = 0,04 \text{ (см}^2\text{)}$$

где B_K – интеграл джоуля.

C - коэффициент для алюминия.

Проверяем шины на механическую прочность, определяем пролет при условии, что частота собственных колебаний конструкции составит более 200 Гц

$$l \leq \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}} \quad (45)$$

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

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

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

Момент инерции находим по следующей формуле:

$$J = b \cdot h^3 \frac{1}{12} \quad (46)$$

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

Согласно расчета принимаем пролет между изоляторами 1,1 м.

Определяем наибольшее удельное усилие при трехфазном коротком замыкании

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_{y0}^2}{a} \quad (47)$$

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{11210^2}{0,4} = 54,41 \text{ (Н/м)}$$

где i_{y0} – ударный ток короткого замыкания (А).

a - расстояние между фазами 0,4 (м).

Определяем момент сопротивления по формуле

$$W = b \cdot h^2 \frac{1}{6} \quad (48)$$

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

Определяем напряжение в проводе:

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a} \quad (49)$$

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{11210^2 \cdot 1,1^2}{2,08 \cdot 0,4} = 2,87 \text{ (МПа)}$$

При расчете напряжения все длины приведены в метры.

Разрушающее напряжение для принятого материала составляет 60 МПа, расчетное напряжение не превышает разрушающего следовательно данное сечение оставляем.

10.8 Выбор изоляторов 6 кВ.

В распределительных устройствах шины крепятся на опорных, проходных и подвесных изоляторах. Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

1) по номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{номсети}$$

2) по допустимой нагрузке:

$$F_{разр} \cdot 0,6 \geq F_{расч}$$

где $F_{разр}$ – разрушающее усилие для выбранного типа изолятора (Н).

$F_{расч}$ - расчетное усилие в рассматриваемом РУ 6 кВ (Н).

Рассмотрим подробно расчет усилия воздействующего на опорные изоляторы в РУ 6 кВ ПС «Шмидтовка», при горизонтальном или вертикальном расположении изоляторов всех фаз расчетная сила, определяется как:

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

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{11210^2 \cdot 1,1}{0,4} \cdot 10^{-7} = 59,85$$

Выбираем по номинальному напряжению проходной изолятор типа ОСК 8-6 УХЛ2 с номинальным разрушающим усилием 8000 Н, проверяем неравенство:

$$8000 \cdot 0,6 = 4800 \geq 59,85$$

Условие выполняется следовательно данный тип изолятора принимаем для установки в РУ 6 кВ ПС «Шмидтовка»

10.9 Выбор трансформатора собственных нужд.

Проводим выбор мощности и типа ТСН. В таблице 20 приведены мощности нагрузки электроприемников на ПС «Шмидтовка».

Таблица 20– Расчетная нагрузка для выбора мощности ТСН

Тип потребителя	Расчетная мощность потребителей собственных нужд ПС «Шмидтовка» (кВА)
Электродвигатели завода включающих пружин ВРС-35	1,375×3
Обогрев приводов выключателей ВРС-35	(1,6+0,05)×3
Обогрев РУ 6 кВ	8
Освещение коридора РУ 6 кВ	0,8
Освещение ячеек РУ 6 кВ	0,8
Освещение РУ 35кВ	4,0
Расчетная полная мощность потребителей собственных нужд	22,675

По расчетной мощности электроприемников определяем мощность трансформатора собственных нужд ПС «Шмидтовка»:

$$S_p = \frac{S_{наг}}{n_T \cdot K_3^{онт}} = \frac{22,675}{2 \cdot 0,7} = 15,196 \text{ (кВА)} \quad (50)$$

По расчетной мощности выбираем трансформатор типа ТСЗ 16/6 номинальной мощностью 16 кВА. Трансформатор имеет сухое защищенное исполнение.

10.10 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 35 кВ

Принимаем ОПН - 35 - УХЛ1 номинальным напряжением 35 кВ

Сравнение расчетных данных с паспортными ОПН приведено в таблице 21.

Таблица 21 – Выбор и проверка ОПН 35 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{номсети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Условия проверки			
Наибольшее рабочее напряжение $U_{нр}$ (кВ)	25,56	22,2	$U_{нр} \geq U_{нр.сети}$

ОПН 35 проходит проверку по всем показателям его принимаем к установке в РУ 35 кВ.

10.11 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 6 кВ

Принимаем к установке ОПН-6 УХЛ1 Сравнение параметров приведено в таблице 22.

Таблица 22 – Выбор и проверка ОПН 6 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора
Номинальное напряжение	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{номсети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{номсети}$
Условия проверки			
Наибольшее рабочее напряжение $U_{нр}$ (кВ)	3,8	3,62	$U_{нр} \geq U_{нр.сети}$

ОПН 6 проходит проверку по всем показателям его принимаем к установке в РУ 35 кВ.

11 ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ВЛ 6 КВ

При выборе типа проводников а также их сечения для воздушных линий электропередач необходимо будет их проверить по тепловому воздействию токов короткого замыкания и по предельному значению потери напряжения для удаленных объектах существующей схемы электроснабжения. Предварительно определяется расчетное значение тока нагрузки и в соответствии с ним выбирается сечение проводника, соответствующее данному значению тока. Выбор сечения выполняется исходя из сравнения:

$$I_p \leq I_{\text{до}} \quad (51)$$

где I_p – расчетный ток в сечении, А;

В данной работе будем рассматривать как альтернативу голому проводу марки АС самонесущий изолированный провод типа СИП, который представляет собой одножильный многопроволочный проводник с нанесенной поверх него специальной изоляции, жилы изготавливаются из специального алюминиевого сплава, изоляция выполняется сшитым полиэтиленом.

Расчетный ток в рассматриваемом сечении определяется по выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (52)$$

где S_p – расчетная мощность в сечении (кВА);

Рассмотрим расчет сечения ВЛ на примере участка РУ 6 кВ «Шмидтовка» КТП – 17. В данном случае на этом участке находятся следующие КТП : 17, 173, 142, 53, 146, 135, 159, 148, формула для расчета тока:

$$I_p = \frac{k_c \cdot \Sigma S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (53)$$

где k_c – коэффициент совмещения максимумов нагрузки;

$$I_p = \frac{0,8 \cdot (119,65 + 632,1 + 82,75 + 149,2 + 46,41 + 453,1 + 8,32 + 224,7)}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 97,8 \text{ (А)}$$

Для полученного значения подбираем соответствующее сечение СИП-3.

Результаты расчета приведены в таблице 24:

Таблица 24 – Выбор типа и сечений проводников по длительно допустимому току

Участок	S_p (кВА)	I_p (А)	Марка и сечение проводника	$I_{до}$ (А)
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №17 - КТП №148	1088,5	97,8	СИП-3 3×35	160
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №45	2106	193,0	СИП-3 3×50	195
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №119	56,66	5,2	СИП-3 3×35	160
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №120	56,66	5,2	СИП-3 3×35	160
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №132	182,7	16,74	СИП-3 3×35	160

12 ПРОВЕРКА СЕЧЕНИЙ КЛ ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ И ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрим на примере расчет тока короткого замыкания на шинах высокого напряжения КТП №132 в точке К1, схема замещения представлена на рисунке 10.

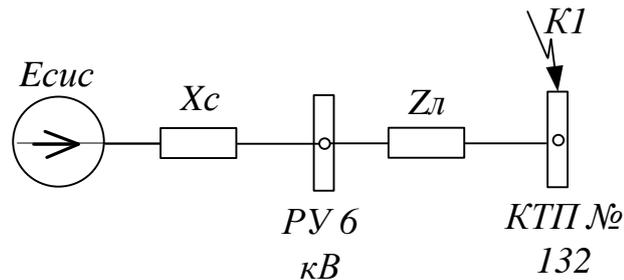


Рисунок 10 – Схема замещения участка сети

Сопротивление энергосистемы определяется по формуле (Ом):

$$X_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз6}} \quad (54)$$

где $I_{кз6}$ – ток трёхфазного КЗ на шинах 6 кВ ПС «Шмидтовка», определен в разделе расчетов токов КЗ для выбора оборудования на ПС «Шмидтовка».

Активные и индуктивные сопротивления:

$$X_l = x_0 \cdot L \quad (55)$$

$$R_l = r_0 \cdot L \quad (56)$$

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

L – длина участка провода, км.

Периодическая составляющая тока короткого замыкания:

$$I_{\text{по}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (57)$$

Ток двухфазного короткого замыкания (кА):

$$I_{\text{по}2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{по}} \quad (58)$$

Определяем сопротивление системы:

$$X_c = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 4,62} = 0,78 \text{ (Ом)}$$

Сопротивления участков:

$$X_{\text{л}} = 0,08 \cdot 0,65 = 0,052 \text{ (Ом)}$$

$$R_{\text{л}} = 2,45 \cdot 0,65 = 1,59 \text{ (Ом)}$$

Результирующее индуктивное сопротивление до точки КЗ

$$X_p = X_c + X_{\text{л}} \text{ (Ом)} \quad (59)$$

$$X_p = 0,78 + 0,052 = 0,83$$

Результирующее активное сопротивление до точки КЗ

$$R_p = 1,59$$

Ток трехфазного КЗ:

$$I_{\text{по}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,83^2 + 1,59^2}} = 2,03 \text{ (кА)}$$

Ток двухфазного короткого замыкания:

$$I_{\text{по}2} = \frac{\sqrt{3}}{2} 2,03 = 1,76 \text{ (кА)}$$

Постоянная затухания аperiodической составляющей:

$$T_a = \frac{0,83}{1,59 \cdot 314} = 0,001$$

Коэффициент затухания:

$$K_a = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,001}} = 1,18 \quad (60)$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 2,03 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,002}} \right) = 2,76 \text{ (кА)}$$

По аналогичному алгоритму рассчитываются все остальные точки КЗ результаты расчетов сводятся в таблицу 25.

Таблица 25 – Расчет токов КЗ в сети 6 кВ

Точка КЗ	Z (Ом)	$I_{по}$ (кА)	$I_{по2}$ (кА)	$I_{y\delta}$ (кА)
Шины ВН КТП №17	2,29	1,59	1,38	2,15
Шины ВН КТП №45	1,34	2,72	2,35	3,67
Шины ВН КТП №119	0,96	3,79	3,28	5,12
Шины ВН КТП №120	1,24	2,94	2,54	3,96
Шины ВН КТП №132	1,78	2,05	1,77	2,76

Подробный расчет приведен в приложении Б

12.1 Проверка линий 6 кВ на воздействие токов КЗ.

Термически стойкое к токам КЗ сечение линий находим по формуле:

$$S_T = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} \quad (61)$$

где B_K - интеграл Джоуля.

C_T - температурный коэффициент, равный 95.

Интеграл Джоуля определяется по следующей формуле

$$B_K = I_{\text{пю}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + t_a) \quad (62)$$

где $t_{\text{откл}}$ - полное время отключения выключателя (сек).

Определяем значение интеграла на шинах ВН КТП – 132

$$B_K = 2,05^2 \cdot (0,1 + 0,001) = 0,42 \text{ (кА}^2 \cdot \text{сек)}$$

Для примера рассчитывается термически стойкое к токам КЗ сечение для ВЛ участка сети РУ 6 кВ «Шмидтовка» КТП – 132:

$$S_T = \frac{\sqrt{0,42}}{95} = 6,82 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Расчетное значение сечения более чем выбранное сечение следовательно провод проходит проверку.

Результаты расчета сведены в таблицу 26.

Таблица 26 – Проверка сечений по термической стойкости

Участок	$I_{\text{пю}}$ (кА)	S_T (мм.кв.)	$S_{\text{факт}}$ (мм.кв.)
Шины ВН КТП №17	1,59	5,29	35
Шины ВН КТП №45	2,72	9,05	50
Шины ВН КТП №119	3,79	12,61	35
Шины ВН КТП №120	2,94	9,78	35
Шины ВН КТП №132	2,05	6,82	35

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:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{U_n} \quad (63)$$

где r_0 – активное сопротивление линии, Ом/км;

x_0 – реактивное сопротивление кабеля, Ом/км.

Рассмотрим подробно пример расчета потери напряжения на участке РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №132:

Определяем потерю напряжения в сечении:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 16,74 \cdot 0,65 \cdot (2,45 \cdot 0,83 + 0,08 \cdot 0,52) \cdot \frac{100}{6,3} = 0,62 (\%)$$

Расчет показывает что полученное значение менее предельного 10 % следовательно растёт окончен, остальные результаты сведены в таблицу 27:

Таблица 27 – Проверка сечений линий 6 кВ на потерю напряжения

Участок	Длина участка (км)	ΔU (%)
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №148	1,85	4,65
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №35	0,8	3,28
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №119	0,06	0,21
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №120	0,2	0,32
РУ 6 кВ «Шмидтовка» - КТП №132	0,65	0,62

Все сечения проходят проверку

13 ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА ТМН 3200/35/6

13.1 Защита от перегрузки.

В данном разделе выполняется расчет уставок защит устанавливаемых на трансформаторах подстанции «Шмидтовка» первую основную защиту которую будем рассчитывать это защита от перегрузки, которая представляет собой максимальную токовую защиту но устанавливаемую в одной фазе.

Следует отметить то что данная защита будет работать на сигнал в случае если на подстанции имеется обслуживающий персонал, но при его отсутствии защита с выдержкой времени будет работать на отключение трансформатора от сети.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{C3} = \frac{k_{omc}}{k_g} \cdot I_{номВН} \quad (64)$$

$$I_{C3} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 52,7 = 69,16 \text{ (A)}$$

где k_{omc} – коэффициент отстройки, принимается равным 1,0

k_g – коэффициент возврата токового реле;

Ток срабатывания защиты:

$$I_{CP} = \frac{\sqrt{3} \cdot 69,16}{(150/5)} = 3,99$$

Время срабатывания защиты принимаем равным 9 секунд.

13.2 Максимальная токовая отсечка.

Максимальная токовая отсечка также является основной защитой для силового трансформатора 35 кВ подстанции «Шмидтовка» и предназначена для отключению его от сети в случаях однофазных коротких замыканий

двухфазных коротких замыканий, трехфазных, а так же межвитковых замыканиях в обмотках трансформатора.

Ток срабатывания защиты на стороне 35 кВ:

$$I_{C3} = k_n \cdot I_{кзНН} \cdot k_{тр} \quad (65)$$

где k_n – коэффициент надежности;

$k_{тр}$ – коэффициент трансформации трансформатора;

$I_{кзНН}$ – максимальное значение тока короткого замыкания на шинах низкого напряжения ПС «Шмидтовка»;

Ток срабатывания защиты:

$$I_{C3} = 1,1 \cdot 4620 \cdot 10,5 / 35 = 1524,6 \quad (66)$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = \frac{1524,6}{(150 / 5)} = 50,82 \text{ (A)}$$

Защита принимается для трансформаторов ТМН 3200/35/6 ПС «Шмидтовка».

13.3 Газовая защита.

Газовая защита представляет собой реле имеющие внутри поплавковые контакты, которые будут замыкаться в следствии движения через них потока газов. Данная защита обладает очень высокой степенью селективности и устанавливается на трансформаторы имеющие масляную изоляцию как в данном случае, также дополнительным условиям установки данной защиты является наличие расширительного бака.

Реле устанавливаются между расширительным баком и основным баком трансформатора и пропускает через себя все газы которые образуются в основном баке. При нормальной эксплуатации через газовое реле будет проходить незначительное количество газа и оно некоторых случаях может сра-

батывать на сигнал, при этом трансформатор должен быть отключен от сети и выполнен отбор газа для анализа при условии что аз бесцветный и негорючий может быть продолжена работа трансформатора.

В случае наличия короткого замыкания внутри бака либо на корпус, либо между витками происходит бурное газообразование, все эти газы поднимаются наверх, проходя через реле. При бурном истечении газов на реле срабатывает второй контакт, который отключает без выдержки времени трансформатор. Повторно трансформатор осматривается, выполняется отбор газа из газового реле и на основании химического анализа этого газа принимается решение о выводе в ремонт этого трансформатора.

Для защиты выбранного типа трансформатора газовое реле «Бухгольца»

14 ЗАЩИТА ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 6/0,4 КВ

Понижающие трансформаторы рассматриваемого района электрических сетей также должны быть обеспечены защитой от различного рода коротких замыканий: сюда можем отнести однофазные короткие замыкания, двухфазные и трехфазные, однофазные замыкания на землю, замыкания в обмотках трансформаторов и так далее

Также должна быть обеспечена защита от перегрузки трансформаторов. При этом для снижения стоимости реконструкции предполагается в данной работе применять высоковольтные предохранители как недорогое и очень эффективное средство для отключения трансформаторов при повреждениях. Для данного типа защитного устройства следует отметить низкую себестоимость, высокую степень надежности, быстродействие, безотказность. Данные устройства позволяют довольно быстро отключать оборудование в случае повреждения без значительного материального ущерба для остального оборудования.

В данной работе для установки совместно с выключателями нагрузки на трансформаторных подстанциях будем применять предохранители номинальным напряжением 6 кВ типа ПКТ

15 АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВА

Устройство автоматического ввода резерва - АВР предназначено для работы на секционном выключателе подстанции «Шмидтовка», особенность его работы заключается в том что оно воздействует на секционный выключатель то есть на его включающую катушку при различных ситуациях например при исчезновении питания на рабочем источнике, при этом производится секционирование секции то есть секции включаются в параллельную работу и питание осуществляется от одного источника.

К таким схемам должны предъявляться требования например они должны быть выполнены с выявлением отказа рабочего источника, должны быть согласованы с другими автоматическими устройствами которые находятся на подстанции, при работе таких устройств должен производиться контроль наличия короткого замыкания чтобы включение выключателя не производилось на него, также работа таких устройств должна быть заблокирована при значительном снижении питающего напряжения.

16 ЗАЩИТА ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ ПС «ШМИДТОВКА»

Повышение уровня напряжения в результате попадания молнии в электрооборудование происходит по нескольким путям, это перенапряжение прямого удара молнии которые возникают в непосредственном при попадании молнии в подстанцию, либо индуцированное которое может происходить в результате удара молнии в землю вблизи рассматриваемого объекта.

Несмотря на то что воздействие имеет очень значительную кратковременность ущерб от этого быть значительным при этом молния имеет очень высокую температуру в главном канале которая может достигать 30000 градусов, что при попадании в подстанцию может привести к значительным разрушениям элементов.

Перенапряжение на электрооборудовании может быть вызвано ударом молнии в участок воздушной линии которые питают данную подстанцию, поэтому грозозащита воздушных линий электропередач также относится к мерам защиты подстанции от воздействия перенапряжений.

Здание подстанции, открытые распределительные устройства, воздушные линии должны защищаться от прямых ударов молнии с помощью стержневых молниеотводов либо системой из таковых. Данное устройство представляет собой стержень состоящий из молниеприемника, токоотвода и заземляющего устройства, он располагается значительно выше чем всё остальное оборудование расположено на подстанции и в случае попадания молнии принимает на себя удар без повреждений. В данной работе будем рассматривать систему, состоящую из четырех молниеприемников, которая защищает оборудование открытого распределительного устройства а также закрытого распределительного устройства подстанции «Шмидтовка»

Расчет молниезащиты поводится по следующим формулам :

Эффективная высота отдельно стоящего молниеотвода:

$$h_{\text{эф}} = 0,85 \cdot h \quad (67)$$

Эффективная высота молниеотвода в данном случае:

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

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

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h \quad (68)$$

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

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

$$h_c = h_{\text{эф}} - (0,17 + 0,0002 \cdot h) \cdot (L - h) \quad (69)$$

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

где L - расстояние между молниеотводами.

Половина ширины внешней зоны на уровне защищаемого объекта-портала:

$$r_x = r_0 \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h_{\text{эф}}} \right) \quad (70)$$

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:

$$r_{cx} = r_0 \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h_c} \right) \quad (71)$$

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.

17 РАСЧЕТ СЕТИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Сопrotивление искусственного заземлителя не должно превышать 4 Ом для подстанций классом напряжения 35 кВ.

Размеры ПС «Шмидтовка» 44,5×36 (м)

Определяем площадь контура заземления ПС:

$$S = (A + 3) \cdot (B + 3) = (44,5 + 3) \cdot (36 + 3) = 2716 \text{ (м}^2\text{)} \quad (71)$$

Принимаем диаметр вертикальных электродов $d = 0,022$ (м)

Сечение вертикальных электродов:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,022^2}{4} = 37,79 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)} \quad (72)$$

Проверка сечения на термическую стойкость:

$$F_{mc} = \sqrt{\frac{I_M^2 \cdot T}{400 \cdot \beta}} = \sqrt{\frac{3,37^2 \cdot 5}{400 \cdot 21}} = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)} \quad (73)$$

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:

$$S_{cp} = a_k \cdot \ln(240)^3 + b_k \cdot \ln(240)^3 + c_k \cdot \ln(240)^3 + d_k \quad (74)$$

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

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

$$F_{кор} = 3,14 \cdot S_{cp} \cdot (S_{cp} + d) = 3,14 \cdot 1 \cdot (1 + 0,022) \cdot 10^{-4} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)} \quad (75)$$

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

Общая длина полос в сетке:

$$L_n = \frac{(A+3)}{l_{nn}}(B+3) + \frac{(B+3)}{l_{nn}}(A+3) = \frac{(44,5+3)}{5}(36+3) + \frac{(36+3)}{5}(44,5+3) = 1086,4 \text{ (м)} \quad (76)$$

Число ячеек

$$m = \frac{L_n}{2 \cdot \sqrt{S}} = \frac{1086,4}{2 \cdot \sqrt{2716}} = 10,42 \quad (77)$$

Принимаем число ячеек: $m = 11$

Длина стороны ячейки

$$L_{я} = \frac{\sqrt{S}}{m} = \frac{\sqrt{2716}}{11} = 4,74 \text{ (м)} \quad (78)$$

Длина горизонтальных полос в сетке:

$$L = 2 \cdot \sqrt{S}(m+1) = 2 \cdot \sqrt{2716}(11+1) = 1250,8 \text{ (м)} \quad (79)$$

Количество вертикальных электродов в сетке:

$$n_e = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{10 \cdot \sqrt{2}} = \frac{4 \cdot \sqrt{2716}}{10 \cdot \sqrt{2}} = 14,74 \quad (80)$$

Принимаем: $n_e = 15$

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

Определяем стационарное сопротивление заземлителя:

$$R_C = \rho \cdot \left(A \frac{1}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + l_e \cdot n_e} \right) = 50 \cdot \left(0,42 \frac{1}{\sqrt{2716}} + \frac{1}{1250,8 + 4,0 \cdot 15} \right) = 0,442 \text{ (Ом)} \quad (81)$$

где - A - вспомогательный коэффициент.

Определяем коэффициент:

$$\alpha_H = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\beta + 320) \cdot (I_M + 45)}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{2716}}{(21 + 320) \cdot (3,37 + 45)}} = 1,09 \quad (82)$$

Определяем импульсное сопротивление заземлителя:

$$R_H = R_C \cdot \alpha_H = 0,442 \cdot 1,09 = 0,482 \text{ (Ом)} \quad (83)$$

Полученное значение сопротивления не превышает нормативного 4 Ом, следовательно, расчет считаем окончанным.

18 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

В данном разделе будем рассматривать определение суммарных капиталовложений в реконструкцию подстанции «Шмидтовка», в данном случае берется стоимость ячеек выключателей напряжением 35 и 6 кВ, силовых трансформаторов напряжением 35 кВ, а также постоянная часть затрат которая связана с изменением коммуникации, аварийной автоматикой и так далее.

Расчёт стоимости оборудования основан на использовании укрупнённых стоимостных показателей в которых приведены цены 2000 года, это стоимость переводится на 2017 год с помощью специального коэффициента перевода цен. Также учитывая то что оборудование располагается на Дальнем Востоке при этом в расчёте стоимости используется районный коэффициент который для подстанций составляет 1,3.

После определения суммарных капиталовложений в реконструкцию подстанции мы находим издержки при эксплуатации данного оборудования в течение всего его срока службы такие как амортизационные отчисления зависящие от срока службы того или иного оборудования а также нормы отчислений на эксплуатацию оборудования зависящие от типа оборудования.

Определяем стоимость ячеек РУВН, НН ПС «Шмидтовка»:

$$K_{PV} = (n_{35} \cdot k_{35} + n_6 \cdot k_6) \cdot k_u \cdot k_p \quad (84)$$

где k_u - коэффициент перевода цен 2000 года на четвертый квартал 2017 год

k_p - районный коэффициент:

n_{35} - количество ячеек выключателей 35 кВ:

k_{35} - стоимость ячейки выключателя 35 кВ:

n_6 - количество ячеек выключателей 6 кВ

k_6 - стоимость ячейки выключателя 6 кВ:

$$K_{py} = (3 \cdot 0,79 + 0,1 \cdot 10) \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 18,75 \text{ (млн.руб)}$$

Определяем стоимость трансформаторов ПС «Шмидтовка»:

$$K_{mp} = (n_{mp} \cdot k_{mp}) \cdot k_u \cdot k_p \quad (85)$$

где k_{mp} - стоимость силового трансформатора 35 кВ:

n_{mp} - количество трансформаторов:

$$K_{mp} = (2 \cdot 2,58) \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 28,71$$

Определяем постоянную часть затрат при модернизации подстанции «Шмидтовка»:

$$K_{nocm} = k'_{nocm} \cdot k_u \cdot k_p \quad (86)$$

где k'_{nocm} - постоянная часть затрат на модернизацию ПС «Шмидтовка» в ценах 2000 года:

$$K_{nocm} = 4,7 \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 26,15$$

Определяем суммарные капиталовложения в модернизацию ПС «Шмидтовка»:

$$K_{nc} = K_{py} + K_{mp} + K_{nocm} = 18,75 + 28,71 + 26,15 = 73,61 \text{ (млн.руб)}$$

Издержки на эксплуатацию и ремонт нового электрооборудования ПС «Шмидтовка» а так же на его амортизацию вычисляются по формуле:

$$u_{AM} = k_{ПС} \cdot \alpha_{ам}, \quad (87)$$

где $\alpha_{ам}$ – нормы отчислений на амортизацию в год для подстанционного оборудования в год;

$k_{ПС}$ - капитальные вложения в оборудование ПС «Шмидтовка».

Нормы отчислений на амортизацию определяются:

$$\alpha_{ам} = \frac{1}{T_{сл}}, \quad (88)$$

где $T_{сл}$ - срок службы оборудования подстанционного оборудования:

$$u_{АМ} = 73,61 \cdot \frac{1}{20} = 3,68 \text{ (млн.руб)}$$

Определяем эксплуатационные издержки для оборудования ПС «Шмидтовка»:

$$u_{ЭК.ПС} = \alpha_{ЭК.ПС} \cdot k_{ПС}, \quad (89)$$

где $\alpha_{ЭК.ПС}$ – норма отчислений на ежегодную эксплуатацию и ремонт оборудования ПС «Шмидтовка»:

$$u_{ЭК.ПС} = 5,9/100 \cdot 73,61 = 4,34 \text{ (млн.руб)}$$

Актуальность данного расчета заключается в том что позволяет понять величину затрат на реализацию проекта реконструкции ПС Шмидтовка и в последующем определить экономическую эффективность инвестиций

19 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

19.1 Безопасность

Рассмотрим требования предъявляемые к работникам при работах в электроустановках:

Работники, занятые на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда (в том числе на подземных работах), а также на работах, связанных с движением транспорта, должны проходить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (для лиц в возрасте до 21 года - ежегодные) медицинские осмотры (обследования) для определения пригодности этих работников для выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний [22].

Работники связанные с работой в электроустановках должны проходить обучение по оказанию первой медицинской помощи человеку попавшему под действие электрического тока. Электротехнический персонал при этом также должен быть обучен приемам освобождения человека от действия электрического тока с учетом специфики его работы.

Работникам прошедшим проверку знаний по системе охраны труда при эксплуатации электроустановок выдается специальное удостоверение в котором указывается то, что он прошел проверку знаний, правил и норм, форма данного удостоверения определяется специальным приложением правил. Результаты проверки знаний у работников по нормативным документам в электроэнергетике оформляются специальным протоколом о проверке знаний и правил работы в электроустановках. Его форма также предусмотрена специальным приложением правил.

Если работники имеют право выполнения каких-либо специальных видов работ то они должны иметь об этом запись в своём удостоверении.

К специальным видам работ относятся работы: которые выполняются на высоте более 5 м от поверхности земли, либо перекрытия, либо рабочего настила непосредственно над которым будут производиться работы, при

этом должны в обязательном порядке использовать средства защиты от падения. Также к специальным видам работ относятся работы без снятия напряжения с электроустановки и выполняемые с учётом прикосновения к токоведущим частям находящимся под номинальным напряжением, либо выполнение этих работ на расстоянии меньше допустимого по условиям безопасности, испытание электрооборудования повышенным напряжением также относится к специальным видам работ, работы со снятием напряжения но при учете того что оборудование находится под наведенным напряжением более 25 вольт на рабочем месте.

Оперативные приключения могут выполняться персоналом осуществляющим оперативное управление этих электроустановок, осмотр, оперативное переключение, подготовку рабочего места, допуск, надзор за работающими, выполнение работ в порядке текущей эксплуатации, либо работниками которые специально обучены и подготовлен для оперативного обслуживания в объеме утвержденным за ними оборудовании.

В электрических установках напряжением более 1000 В работники из числа оперативного персонала могут единолично обслуживать электроустановки, при этом старшие работники в смене должны иметь группу по электробезопасности не менее 4 остальные не менее 3.

В электроустановках напряжением до 1000 В персонал единолично обслуживающий электроустановки должен иметь группу не менее 3. Вид оперативного обслуживания электрического оборудования а также количество работников из числа оперативного персонала устанавливается организационно - распорядительным документам этого подразделения

При выполнении оперативного обслуживания электрооборудования: осмотра, электрооборудования выполнение каких-то работ не допускается приближение людей, различных механизмов, вышек, экскаваторов, и различные другой техники на расстоянии менее допустимых по условиям безопасности.

Единоличный осмотр электрооборудования либо его технологической части имеет право выполнять один работник из числа оперативного персонала имеющий группу не ниже 3 при этом обслуживающий данную электроустановку в рабочее время или находящийся на дежурстве либо персонал из числа административно-технических работников на которых возложены обязанности по организации технического обслуживания, при этом для электроустановки выше 1000 В эти работники должны иметь группу 5 при напряжении электроустановки ниже 1000 В должны иметь группу 4.

19.2 Экологичность

На подстанции «Шмидтовка» устанавливаются 2 трансформатора марки ТМН 3200/35/6 с размерами (м) 4,25×3,42×2,35 и массой масла 5,35 т.

При расчете основных размеров данного маслоприемника принимаются следующие условия [11].

Рассмотрим подробно расчет маслоприемника на подстанции «Шмидтовка». На рисунке 10 представлено схематичное изображение маслоприемника без отвода масла.

Определяем объем масла в трансформаторе ТМН 3200/35 по формуле:

$$V_{\text{трм}} = \frac{M}{\rho} = \frac{5,35}{0,88} = 6,08 \text{ (м}^3\text{)} \quad (90)$$

где M – масса масла (т).

ρ – плотность масла (т/м³)

Площадь маслоприемника:

$$S_{\text{мн}} = (A + 2 \cdot \Delta) \cdot (B + 2 \cdot \Delta) = (4,25 + 2 \cdot 1) \cdot (3,42 + 2 \cdot 1) = 33,87 \text{ (м}^2\text{)} \quad (91)$$

где A , B – длина и ширина трансформатора типа ТМН 3200/35 (м)

Δ – промежуток между боковой стенкой трансформатора и стенкой маслоприемника

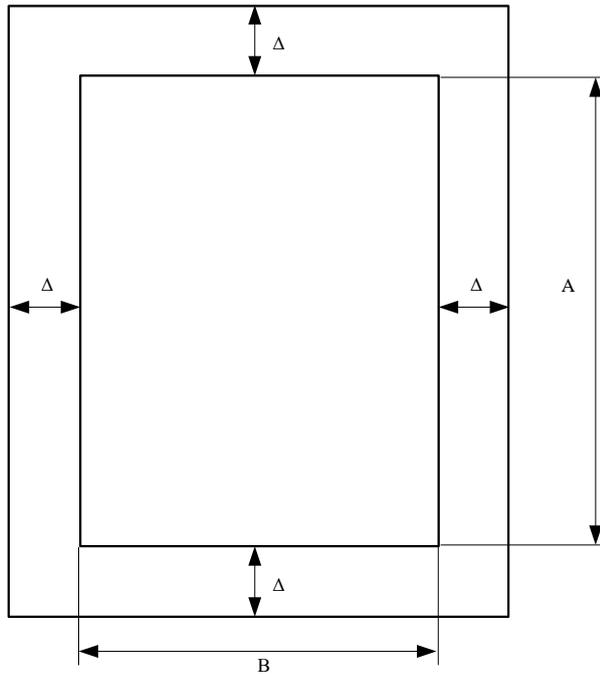


Рисунок 11 – Маслоприемник вид сверху

Площадь боковой поверхности трансформатора ТМН 3200/35:

$$S_{\text{бн}} = (A + B) \cdot 2 \cdot H = (4,25 + 3,42) \cdot 2 \cdot 2,35 = 68,31 \text{ (м}^2\text{)} \quad (92)$$

где H – высота трансформатора (м)

Нормированный коэффициент пожаротушения и нормированное 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:

$$V_{H_2O} = K_n \cdot t \cdot (S_{\text{мн}} + S_{\text{бн}}) \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 1800 \cdot (33,87 + 68,31) \cdot 10^{-3} = 36,78 \quad (93)$$

Объем маслоприемника необходимый для приема 100 % масла и 80 % ВОДЫ:

$$V_{mM_{H_2O}} = V_{mpM} + 0,8 \cdot V_{H_2O} = 6,08 + 0,8 \cdot 36,78 = 35,58 \quad (\text{м}^3) \quad (94)$$

Глубина маслоприемника для приема всей жидкости $V_{mM_{H_2O}}$

$$H_{mn} = \frac{V_{mM_{H_2O}}}{S_{mn}} = \frac{35,58}{33,87} = 1,05 \quad (\text{м}) \quad (95)$$

Высота гравийной подсыпки [11]:

$$H_z = 0,25 \quad (\text{м})$$

Высота воздушного зазора [11]:

$$H_{en} = 0,05 \quad (\text{м})$$

Полная высота маслоприемника находится как сумма расстояний [11]:

$$H_{nMn} = H_{mn} + H_{en} + H_z = 1,05 + 0,05 + 0,25 = 1,35 \quad (\text{м}) \quad (96)$$

19.3 Чрезвычайные ситуации

В данном разделе рассматривается основная причина возникновения пожарной ситуации на подстанции «Шмидтовка» это возникновение пожара.

Воспламенение электроустановок достаточно частое явление на подстанциях, основной особенностью данного явления является быстрое распространение огня из-за того что при изготовлении данного оборудования используется большое количество горючих материалов, например такие как бумага резина трансформаторное масло и так далее.

Существенной является опасность поражения электрическим током которое может произойти при тушении пожара огнетушащими средствами либо при прикосновении к токоведущим.

Тушение пожаров в электроустановках находящихся под напряжением допускается однако при этом должны использоваться средства защиты пожарных от действия электрического тока, напряжение электроустановок которые могут быть потушены под напряжением не должно превышать 0,4 кВ.

На электрических подстанциях должен быть специально составлен оперативный план пожаротушения при возгорании с учетом всех возможных очагов и возникновения, он составляется пожарной охраной совместно с руководством объекта электроэнергетики. При возгорании персонал должен в обязательном порядке сообщить старшему смены после этого начать ликвидировать возгорание имеющимися средствами пожаротушения при этом обязательно соблюдая средства пожарной безопасности.

Старший персонал находящийся на смене определяет места нахождения возгорания а также возможные пути его распространения и при этом определяют оборудование которое необходимо отключить для предотвращения поражения электрическим током.

Электрооборудование находящееся под напряжением до подхода пожарных подразделений должно тушиться собственными силами как минимум двумя людьми, при этом необходимо учитывать тот факт что оно должно находиться под напряжением не более 0,4 кВ. Обязательным в таких условиях является применение диэлектрических перчаток бот а также средств пожаротушения - огнетушителей. При тушении электроустановок находящихся под напряжением это возможно организовать распыленными струями воды но при этом растроб должен быть обязательно заземлен.

Персонал пожарных подразделений должен получить обязательном порядке письменное разрешение на тушение пожара в электроустановках которые либо находятся под напряжением до 0,4 кВ либо обесточены. В этом документе обязательно должно быть указано место прохождения к очагу возгорания, электроустановки которые остались под напряжением, электроустановки которые обесточены, а также в нём должен быть указан целевой инструктаж по тушению пожара.

Бригада пожарных может организовать тушение электроустановки только используя распыленную струю огнетушащей смеси так как компактная струя очень хорошо проводит электрический ток что создает опасность

поражения током, при этом расстояние от тушащего пожар до электроустановки не должно быть не менее 5 м.

Для тушения пожара силами персонала подстанции запрещено использовать и водно - пенные огнетушители, допускается использовать хладоновые огнетушители на напряжение до 0,4 кВ, порошковые огнетушители напряжением до 1 кВ, либо углекислотным напряжением напряжением до 10 кВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рассматриваемой работе в процессе ее выполнения был разработан вариант реконструкции системы электроснабжения имеющей центр питания подстанцию «Шмидтовка» Приморского края.

Основным оптимальным решением обеспечивающим повышение надёжности внешнего электроснабжения данного района электрических сетей является замена оборудования на современное непосредственно как в сетях а так же на источнике питания. В ходе выполнения данной работы было проведено значительное количество расчетов параметров таких как электрические нагрузки на стороне низкого и высокого напряжения комплектных трансформаторных подстанций, выполнен расчет токов короткого замыкания, определены сечения воздушных линий, мощности трансформаторов и так далее.

В ходе расчёта также выполнен расчет молниезащиты в качестве защиты оборудования распределительных устройств от грозовых перенапряжений, выполнен расчет защиты силового трансформатора, а также рассмотрены основные вопросы безопасной эксплуатации электротехнического оборудования на подстанции «Шмидтовка».

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 грозовых 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.

22 Правила охраны труда при эксплуатации электроустановок Приказ от 24 июля 2013 года №328 н

ПРИЛОЖЕНИЕ А Расчет трансформаторов 6/0,4 кВ

Наим КТП	Расч мощ S	Ншт	Р м тр	Рном
КТП № 4	523,14	1	615,46	630
КТП № 17	118,29	1	139,12	160
КТП № 35	95,39	1	112,22	160
КТП № 36	170,73	1	200,86	250
КТП № 45	479,45	1	564,06	630
КТП № 49	452,63	1	532,51	630
КТП № 53	142,77	1	167,96	250
КТП № 119	52,72	1	62,024	100
КТП № 120	52,72	1	62,024	100
КТП № 131	403,02	1	474,14	630
КТП № 132	174,39	1	205,16	250
КТП № 135	432,39	1	508,69	630
КТП № 142	77,27	1	90,906	100
КТП № 146	44,84	1	52,753	100
КТП № 148	215,96	1	254,07	400
КТП № 159	7,05	1	8,2941	40
КТП № 173	555,84	2	397,03	400
КТП № 176	365,96	1	430,54	630
КТП № 174	369,28	2	263,77	400
КТП № 129	321,48	1	378,21	400
КТП № 144	53,02	1	62,376	100
КТП № 90	91,78	1	107,98	160

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Определение расчетных нагрузок 6 кВ

Наим КТП	DP	DQ	DS	Срасч 6	Ррас0,4	Qрасч0,4	Расчетная Р 6 (кВт)	Расчетная Q 6 (кВар)
КТП № 4	6,48	27,67	28,42	551,6	490,5	181,9	496,98045	209,572
КТП № 17	0,64	3,445	3,504	46,84	42,5	8,5	43,140036	11,9453
КТП № 35	1,334	4,959	5,135	100,5	76,4	57,11	77,734143	62,0692
КТП № 36	2,256	7,747	8,068	178,8	153,8	74,13	156,0556	81,8768
КТП № 45	5,642	23,85	24,51	504	465	116,83	470,64169	140,678
КТП № 49	5,163	21,67	22,27	474,9	441	101,95	446,16301	123,616
КТП № 53	1,737	6,169	6,409	149,2	140	28	141,73669	34,169
КТП № 119	0,818	3,851	3,937	56,66	51,7	10,34	52,517541	14,1907
КТП № 120	0,818	3,851	3,937	56,66	51,7	10,34	52,517541	14,1907
КТП № 131	4,35	17,96	18,48	421,5	395,2	79,04	399,55018	97
КТП № 132	2,33	7,974	8,308	182,7	150,2	88,62	152,53038	96,5941
КТП № 135	4,82	20,1	20,67	453,1	424	84,8	428,82001	104,902
КТП № 142	1,446	5,287	5,481	82,75	72,85	25,77	74,296219	31,0568
КТП № 146	0,666	3,505	3,568	48,41	36,1	26,6	36,766093	30,1048
КТП № 148	2,403	8,447	8,782	224,7	211,5	43,77	213,90321	52,2169
КТП № 159	0,177	1,256	1,268	8,318	6	3,72	6,1773364	4,97592
КТП № 173	6,91	75,92	76,23	632,1	503	236,54	509,91022	312,456
КТП № 176	3,804	15,47	15,93	381,9	354	92,8	357,80448	108,272
КТП № 174	3,944	37,08	37,29	406,6	352	111,65	355,94382	148,733
КТП № 129	4,353	14,83	15,45	336,9	315	64,26	319,35264	79,0868
КТП № 144	0,824	3,865	3,952	56,97	52	10,4	52,823791	14,265
КТП № 90	1,266	4,769	4,934	96,71	90	18	91,265519	22,7691