

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

Факультет энергетический
Кафедра энергетики
Направление подготовки
Направленность (профиль)

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина

« ____ » _____ 20 ____ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование подстанции напряжением 110/10 кВ Транспортная в Амурской области

Исполнитель
студент группы

подпись, дата

А.А. Корниенко

Руководитель
Доцент
канд. техн.наук

подпись, дата

А.Н. Козлов

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

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
ст. преподаватель

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Благовещенск 2022

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

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

Н.В. Савина

« _____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Корниенко Артема Алексеевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование подстанции напряжением 110/10 кВ Транспортная в Амурской области

(утверждено приказом от __ № __)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 01.06.2022

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Однолинейная схема электрических сетей в районе расположения ПС Транспортная, географическое расположение объектов реконструкции, данные о нагрузках в день контрольного замера __

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Разработка варианта реконструкции электрической сети, расчет электрических нагрузок, выбор схемы подключения вновь вводимой ПС Транспортная, расчет и выбор силовых трансформаторов и остального электротехнического оборудования, расчет экономических показателей, рассмотрение вопросов безопасности жизнедеятельности _____

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) 6 листов формата А1 _____

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) консультант по безопасности и экологичности доцент, канд. техн. наук А.Б. Булгаков) _____

7. Дата выдачи задания 16.03.2022

Руководитель выпускной квалификационной работы: __ доцент, канд. техн. наук А.Н. Козлов
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 100 стр. , 7 рисунков, 21 таблицу, 108 формул, 26 источников, 2 приложения.

ПОДСТАНЦИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР, ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ, МОЛНИЕЗАЩИТА, ТРАНСФОРМАТОР ТОКА, ТРАНСФОРМАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, МОЛНИЕЗАЩИТА, ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ.

В данной ВКР рассмотрен вариант проектирования и подключения подстанции Транспортная напряжением 110/10 кВ к существующим электрическим сетям. Выполнено обоснование конструкции распределительных устройств всех номинальных напряжений данной подстанции. Произведен расчет рабочих токов нагрузки и токов короткого замыкания в характерных точках. Произведен выбор основного электротехнического оборудования для всех распределительных устройств. Выбрана система микропроцессорной защиты силового трансформатора 110 кВ. Произведен расчет всех основных режимов работы электрической сети после подключения данного объекта. Рассчитано заземляющее устройство ПС Транспортная. Выбрана схема расстановки молниеотводов для защиты РУ 110 кВ от прямых ударов молнии. Произведен технико-экономический расчет основных показателей. Проведены расчеты в области охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности при строительстве и эксплуатации электроустановок.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Климатическая характеристика района размещения объекта	9
2 Обоснование необходимости сооружения подстанции	10
3 Расчет характеристик нагрузки	11
4 Определение рационального напряжения ВЛ для питания ПС Транспортная	18
5 Компенсация реактивной мощности на ПС Транспортная	20
6 Выбор числа и мощности трансформаторов ПС Транспортная	21
7 Выбор схемы подключения ПС Транспортная к системе внешнего электрообеспечения	24
7.1 Анализ существующей системы электрообеспечения	24
7.2 Выбор конструкции РУ ПС Транспортная	27
8 Расчет сечения питающей ВЛ	29
9 Расчет токов короткого замыкания	31
10 Выбор оборудования ПС Транспортная	40
10.1 Выбор выключателей 110 кВ	41
10.2 Выбор выключателей 10 кВ	42
10.3 Выбор разъединителей 110 кВ	43
10.4 Выбор высокочастотного заградителя связи 110 кВ	43
10.5 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 110 кВ	44
10.6 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 10 кВ	45
10.7 Выбор трансформаторов тока	45
10.8 Выбор трансформаторов напряжения	48
10.9 Выбор трансформаторов собственных нужд	50
10.10 Выбор гибких шин 110 кВ	50
10.11 Выбор жестких шин 10 кВ	52
10.12 Выбор опорных изоляторов 10 кВ	53
11 Расчет устройств молниезащиты	55

12	Расчет устройств заземления	58
13	Расчет экономических показателей	62
14	Защита силовых трансформаторов ПС Транспортная	65
14.1	Дифференциальная защита	65
14.2	Газовая защита	67
14.3	Защита от перегрузки	68
14.4	Максимальная токовая защита	69
15	Автоматика ввода резерва	70
16	Автоматизированная информационно измерительная система коммерческого учета электроэнергии	73
17	Телемеханика	75
18	Автоматизированная система управления электротехническим оборудованием	79
19	Дуговая защита шин низкого напряжения	84
20	Устройство резервирования отказа выключателя	85
21	Безопасность и экологичность	87
21.1	Безопасность	87
21.2	Экологичность	91
21.3	Чрезвычайные ситуации	93
	Заключение	97
	Библиографический список	98
	Приложение А – Потребители подстанции	101
	Приложение Б - Выбор и проверка выключателей	102

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АВР – автоматика ввода резерва;

АПВ – автоматика повторного включения;

ВВ – вакуумный выключатель;

КЗ – короткое замыкание;

ТП – комплектная трансформаторная подстанция;

КУ – компенсирующее устройство;

ЛЭП – линия электропередачи;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ОПН – ограничитель перенапряжений нелинейный;

ОУ – огнетушитель углекислотный;

ПС – понижающая электрическая подстанция;

СВ – секционный выключатель;

ТН – трансформатор напряжения;

ТТ – трансформатор тока;

ТО – токовая отсечка.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Амурской области планируется возведение такого важного объекта как сухой порт.

Проект реализует крупный российский инвестор группа компаний «Регион». Инвестиции на первом этапе составят порядка 7 млрд. рублей. На втором этапе планируется построить порт на железнодорожной станции Березовка для обеспечения связи проекта с Транссибирской железной дорогой, также в планах - создание современного контейнерного терминала.

В этом месте появится один из самых крупных на Дальнем Востоке транспортно-логистических комплексов с инвестиционными вложениями порядка семи миллиардов рублей. Реализация этого масштабного проекта позволит открыть новые возможности для развития региона.

Основная цель порта – обслуживание внешнеэкономической деятельности (экспортные грузопотоки, идущие из регионов РФ в КНР, а также импортные потоки, идущие с северо-востока КНР в РФ грузовым автотранспортом через мостовой автомобильный переход через р. Амур), предоставление сервисных услуг пассажирам и водителям, обслуживание автотранспортных средств.

Данная работа рассматривает один из вариантов развития системы внешнего электроснабжения напряжением 110 кВ Амурской области при подключении вновь вводимого потребителя ПС 110/10 кВ Транспортная которая будет служить основным источником питания для указанного объекта. Так же в работе рассматривается проект строительства ВЛ для питания указанной подстанции.

Актуальность данной работы заключается в том что: ввод в работу подстанции и новых потребителей сухого порта приведет к развитию инфраструктуры региона, повысит уровень жизни населения, приведет к притоку капитала и отчислению средств в местный бюджет.

Целью данного проекта является определение наиболее экономически целесообразного варианта подключения ПС Транспортная к системе внешнего электроснабжения, обеспечивающего требуемые параметры надежности и качества электрической энергии.

К основным задачам которые будут решаться в представленной работе следует отнести следующие: определение номинального напряжения и сечения ВЛ питающей ПС Транспортная, выбор схемы распределительного устройства высокого и низкого напряжения ПС и номинальной мощности силовых трансформаторов устанавливаемых на ПС. Так же к основным задачам следует отнести выбор основного электротехнического оборудования на ПС Транспортная, и определение экономической эффективности инвестиций в данный объект и реконструкцию сети. Определение требуемых мер безопасности в области охраны окружающей среды, при строительстве и эксплуатации электроэнергетических объектов.

К ожидаемым результатам от выполнения данной работы отнесем: экономическую оценку реализации данного проекта в частности стоимость его реализации и эксплуатационные затраты, получение действительных значений токов короткого замыкания на распределительных устройствах вновь вводимой подстанции, получение технических характеристик необходимого для реализации проекта оборудования.

При выполненной указанной работы были использованы такие программы как Word, Excel, Visio. Mat soft: Mathcad.

1 КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА

В данном разделе приводится климатическая характеристика местности которая необходима для правильного выбора и проверки электротехнического оборудования, в частности район по ветру, район по гололеду необходимы для выбора проводов линий электропередач, температура воздуха необходима для выбора подстанционного оборудования, число грозových часов необходимо для расчета системы молниезащиты подстанции, степень загрязнения атмосферы необходима для правильного выбора изоляторов, глубина промерзания грунтов применяется при расчете заземляющего устройства.

Необходимые данные представлены в таблице 1

Таблица 1 – Климатическая характеристика

Параметр	Величина
Район по ветру	III
Максимальный скоростной напор, (Н/м ²)	650
Максимальная скорость ветра, (м/с)	32
Район по гололеду	III
Температура воздуха высшая, (°С)	41
Температура воздуха низшая, (°С)	-45
Температура воздуха среднегодовая, (°С)	0
Число грозových часов	50
Степень загрязнения атмосферы	II
Глубина промерзания грунтов (м)	2,0
Преобладающее направление ветра	Западное, Северо-западное

Указанные в таблице 1 данные будут использованы в дальнейших расчетах и при выборе оборудования.

2 ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПОДСТАНЦИИ

Введение в работу столь важного с международной точки зрения объекта как транспортный узел в Амурской области станет большим толчком для местной экономики и позволит получать финансовые вливания в больших объёмах, переоценить важность данного предприятия практически невозможно. При этом в настоящее время никакое промышленное, торговое, транспортное или иное предприятие не может функционировать без надежной системы электроснабжения т.к. практически каждый технологический процесс требует электрической энергии. Для данного объекта характерным будет наличие значительного количество различных устройств, различных средств перемещения грузов по территории порта, а это означает что существует острая необходимость в появлении основного источника электрической энергии для всех потребителей данного объекта.

Основной источник питания для сухого порта должен соответствовать всем требованиям по надежности электроснабжения и предоставлять электрическую энергию должного качества, таким источником будет являться понизительная подстанция Транспортная.

В данной работе будет разработан вариант подключения данного источника питания к системе внешнего электроснабжения, а так же выбрано все необходимое оборудование включая распределительные устройства и силовые трансформаторы, коммутационные и иные устройства. В качестве проверки в данной работе все выбранное оборудование будет проверено по условиям протекания токов короткого замыкания.

Расчет режимов работы сети после подключения ПС Транспортная к системе внешнего электроснабжения позволит определить узкие места и устранить их на этапе проектирования

3 РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ

В данном разделе проводим расчет таких параметров нагрузки как расчетная активная, реактивная и полная мощность нагрузки сухого порта. Для расчета данных параметров в таблице 2 представлен перечень потребителей которые будут получать питание от ПС Транспортная. Согласно представленным данным на территории порта основную часть потребителей представляю промышленные установки включая крановые установки в виде порталных кранов, так же необходимым оборудованием для данного объекта является рентген установки, весовые, системы отопления и освещения складских помещений.

Таблица 2 – Данные о потребителях

Потребитель	Количество	Номинальная мощность $P_{ном}$ (кВт)	Коэффициент использования k_u	Коэффициент мощности $tg\phi$
1	2	3	4	5
Портальный кран				
Эл. двигатель основного подъёма	12	160,0	0,6	0,88
Эл. двигатель микро подъёма	12	2,2	0,6	0,88
Эл. двигатель поворота	12	60,0	0,6	0,88
Эл. двигатель изменения вылета стрелы	12	22,0	0,6	0,88
Эл. двигатель передвижения крана	48	11,0	0,2	0,88
Эл. двигатель противоугонных захватов	48	0,6	0,1	0,75
Насосная станция противопожарного водоснабжения				
Основной насос пожаротушения	4	160,0	0,9	0,88
Вспомогательный насос пожаротушения	4	75,0	0,9	0,88
Освещение	50	0,02 кВт /м ²	0,6	1,0
Весовая установка				
Основное оборудование	8	8,0	0,65	0,6

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Рентген установка				
Основное оборудование	8	25,0	0,7	0,5
Отопительные котельные				
Котел эл. отопления	20	300	1	0
Сетевой насос	4	25	0,9	0,46
Вентиляционные установки				
Вентиляция	10	5,0	0,8	0,88
Вентиляция	10	7,0	0,8	0,88
Осветительные установки				
Освещение территории	20000 м ²	0,01 кВт /м ²	0,95	1,0
Освещение складов	12000 м ²	0,02 кВт /м ²	0,95	1,0
Административные помещения				
-	800 м ²	0,054 кВт /м ²	-	1,0

Далее проводим расчет нагрузок рассматриваемого транспортно-логистического объекта

Первоначально проводим расчет нагрузки от электропривода его проводим с использованием коэффициента использования механизма, предварительно определяем групповой коэффициент использования [1]:

$$k_{иср} = \frac{\sum k_{ui} \cdot P_{номi}}{\sum P_{номi}} \quad (1)$$

где k_{ui} - коэффициент использования

$P_{номi}$ - номинальная активная мощность отдельного потребителя.

Далее определяется эффективное количество электроприемников по следующей формуле [1]:

$$N_э = \frac{(\sum n_i \cdot P_{номi})^2}{\sum n_i \cdot P_{номi}^2} \quad (2)$$

где n_i - количество электроприемников в группе.

На следующем этапе определяется средняя мощность рассматриваемой группы электроприемников, с указанием коэффициента использования по формуле:

$$P_{cp} = \sum k_{ui} \cdot P_{номi} \quad (3)$$

Используя справочные данные определяем коэффициент расчетной нагрузки, который зависит от группового коэффициента использования и эффективного числа электроприемников, далее на основании полученного значения определяется расчетная активная мощность группы электроприемников с использованием следующей формулы:

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

Далее определяется значение средней реактивной мощности:

$$Q_{cp} = \sum k_{ui} \cdot P_{номi} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \quad (5)$$

Расчетная реактивная мощности при эффективном числе электроприемников менее или более 10 равна средней реактивной мощности умноженной на соответствующий коэффициент:

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

Определение расчетной мощности нагрузки освещения выполняем через нормированную удельную мощность приходящуюся на единицу площади освещаемого помещения или периметра по следующей формуле:

$$P_{po} = P_{y\partial} \cdot S_{ном} \quad (7)$$

где $P_{y\partial}$ - мощность осветительных приборов приходящаяся на единицу площади (кВт/м²)

$S_{ном}$ - площадь (м²)

Определяем расчетную реактивную мощность нагрузки осветительных приборов через коэффициент мощности:

$$Q_{po} = P_{po} \cdot tg \varphi_l \quad (8)$$

где $tg \varphi_l$ - коэффициент реактивной мощности для ламп определенного типа.

Определяем расчетную активную мощность нагрузки от отопительных приборов согласно паспортным данным этого оборудования:

$$P_{рот} = n \cdot P_{ном} \quad (9)$$

где $n, P_{ном}$ - соответственно количество и номинальная мощность тепловой установки.

Определение расчетной мощности нагрузки административных помещений выполняем через нормированную удельную мощность приходящуюся на единицу площади по следующей формуле:

$$P_{радм} = P_{уд} \cdot S_{ном} \quad (10)$$

где $P_{уд}$ - мощность приходящаяся на единицу площади (кВт/м²)

$S_{ном}$ - площадь помещения (м²)

Определяем расчетную реактивную мощность нагрузки административного помещения через коэффициент мощности:

$$Q_{радм} = P_{радм} \cdot tg \phi_{адм} \quad (11)$$

где $tg \phi_{адм}$ - коэффициент реактивной мощности для административного помещения.

По приведенным выше параметрам находим расчетную активную мощность нагрузки от всех категорий нагрузки [1]:

$$P_{p\Sigma} = P_p + P_{po} + P_{рот} + P_{адм} \quad (12)$$

Определяем расчетную реактивную мощность нагрузки:

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + Q_{po} + Q_{adm} \quad (13)$$

Окончательно определяется полная расчетная мощность нагрузки по следующей формуле:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \quad (14)$$

Выполняем данный расчет, определяем групповой коэффициент использования:

$$k_{исп} = \frac{8,59}{29,3} = 0,62$$

Определяем эффективное число электроприемников:

$$N_s = \frac{858,49}{35,43} = 54,24 \text{ (шт)}$$

Определяем среднюю активную мощность группы электроприемников:

$$P_{cp} = 3,39 \text{ (МВт)}$$

Определяем расчетную активную мощность группы электроприемников:

$$P_p = 3,39 \cdot 1,05 = 3,56 \text{ (МВт)}$$

Определяем среднюю реактивную мощность группы электроприемников:

$$Q_{cp} = 2,88 \text{ (Мвар)}$$

Определяем расчетную реактивную мощность группы электроприемников (при эффективном количестве приемников более 10 коэффициент равен 1):

$$Q_p = 2,88 \cdot 1 = 2,88 \text{ (квар)}$$

Определяем расчетную мощность нагрузки освещения внутри и снаружи периметра:

$$P_{po} = \frac{0,02}{1000} \cdot (50 + 12000) + \frac{0,01}{1000} \cdot 20000 = 0,44 \text{ (МВт)}$$

Расчетная реактивная мощность нагрузки осветительных приборов:

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg} \phi_l$$

$$Q_{po} = 0,441 \cdot 1 = 0,44 \text{ (Мвар)}$$

Определяем расчетную мощность нагрузки отопления:

$$P_{пот} = 20 \cdot \frac{300}{1000} = 6,0 \text{ (МВт)}$$

Определяем расчетную мощность нагрузки административных помещений:

$$P_{ра\text{дм}} = \frac{0,054}{1000} \cdot 800 = 0,04 \text{ (МВт)}$$

Расчетная реактивная мощность нагрузки административного помещения:

$$Q_{ра\text{дм}} = 0,04 \cdot 1 = 0,04 \text{ (Мвар)}$$

Определяем суммарное значение расчетной активной мощности нагрузки ПС Транспортная:

$$P_{p\Sigma} = 3,56 + 0,44 + 6,0 + 0,04 = 10,04 \text{ (МВт)}$$

Определяем суммарное значение реактивной расчетной мощности нагрузки ПС Транспортная:

$$Q_{p\Sigma} = 2,88 + 0,44 + 0,04 = 3,36 \text{ (Мвар)}$$

Определяем суммарное значение полной расчетной мощности нагрузки
ПС Транспортная:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{10,04^2 + 3,36^2} = 10,59 \text{ (МВА)}$$

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ВЛ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПС ТРАНСПОРТНАЯ

Питающая воздушная линия для ПС Транспортная на этапе проектирования должна быть проверена на рациональное напряжение, при этом необходимо знать такие параметры как максимальная передаваемая мощность по одной цепи ВЛ и расстояние на которое эта мощность будет передаваться, в данном случае, потребитель в частности сухой порт расположен рядом с проходящей ВЛ «Среднебелая» - ПС «Силикатная» номинальным напряжением 110 кВ и наиболее оптимальным вариантом является подключение ПС Транспортная от этой ВЛ. Рациональное напряжение для подключения ПС Транспортная в таком случае не должно превышать указанный уровень напряжения ВЛ, иначе необходимо рассматривать другой вариант подключения.

В данной работе рациональное напряжение ВЛ определяется по универсальной формуле Г.А. Илларионова [8]:

$$U_{РАЦ} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_m}}} \quad (15)$$

где $U_{РАЦ}$ – рациональное напряжение передачи мощности P_m по линии длиной L .

Расстояние от ПС Транспортная до предполагаемого места подключения составит 0,6 км, определяем рациональное напряжение ВЛ (ВЛ имеет двух цепное исполнение):

$$U_{РАЦ} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{0,6} + \frac{2500}{10,04}}} = 30,39 \text{ (кВ)}$$

Дополнительно проводим расчет рационального напряжения при подключении данного потребителя от шин 35 кВ ПС «Березовка» которая расположена на расстоянии 0,96 км от рассматриваемой ПС Транспортная

$$U_{РАЦ} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{0,96} + \frac{2500}{10,04}}} = 36,4 \text{ (кВ)}$$

По полученным данным о расчётном значении тока в сечении, климатическим данным местности [15], при питания подстанции Транспортная от указанной ВЛ следует сделать следующий вывод: замена проводника не требуется может быть оставлен провод марки АС 120/19

5 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПС ТРАНСПОРТНАЯ

В данном разделе проводим анализ необходимости установки устройств компенсации реактивной мощности на ПС Транспортная.

Устройства компенсации реактивной мощности позволяют в значительной степени разгрузить сеть по перетокам мощности, снизить потери мощности как в сети, так и силовых трансформаторах, повысить уровни напряжения в узлах сети где они установлены.

В настоящее время промышленностью выпускаются современные и надежные устройства компенсации реактивной мощности, которые позволяют ступенчато (автоматически) регулировать выдаваемую мощность и соответственно плавно регулировать уровень напряжения в зависимости от режима работы.

Расчёт требуемой мощности КУ проводится по максимальному значению нормативного коэффициента мощности задаваемому энергосистемой в часы максимума нагрузки (приказ №380 от 23.06.2015 Минэнерго) [4]:

$$Q_k = Q_m - P_m \cdot \operatorname{tg} \cdot \phi \quad (16)$$

где $\operatorname{tg} \cdot \phi$ - максимальное значение нормативного коэффициента реактивной мощности, для 110 кВ равен 0,5.

$$Q_k = 3,36 - 10,04 \cdot 0,5 = -1,66 \text{ (Мвар)}$$

При отрицательном значении данного параметра установка компенсирующих устройств на ПС Транспортная не требуется т.к. вся реактивная мощность необходимая для потребителей может быть получена из сети без каких либо ограничений.

6 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПС ТРАНСПОРТНАЯ

Для питания потребителей сухого порта который в свою очередь будет получать питание от ПС Транспортная должно быть организовано два независимых источника, это следует из категории надежности электроснабжения данного объекта (II категория). В качестве этих источников служат две секции шин 10 кВ данной ПС с применением устройства автоматического ввода резерва для повышения надежности и бесперебойности электроснабжения. Шины в свою очередь будут получать питание в нормальном режиме каждая от своего трансформатора. Исходя из вышесказанного принимаем к установке на ПС Транспортная два силовых трансформатора. Требуемая мощность силового трансформатора зависит от среднего значения активной мощности нагрузки подключённого потребителя и от некомпенсированной реактивной мощности (в данном случае компенсация не требуется) которая так же проходит через трансформатор в сеть низкого напряжения.

Расчетная мощность силового двух обмоточного трансформатора определяется по следующей формуле [8]:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}}{n_T \cdot K_3^{opt}} \quad (17)$$

где S_p – расчётная мощность трансформатора (МВА);

$P_{p\Sigma}$ – расчетная активная мощность нагрузки (МВт);

$Q_{p\Sigma}$ – расчетная реактивная мощность нагрузки (Мвар);

n_T – количество трансформаторов на ПС Транспортная трансформаторов ;

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

Проверка выбранного трансформатора осуществляется по коэффициенту загрузки в нормальном и послеаварийном режиме:

$$K_H = \frac{\sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}}{n_T \cdot S_{Tном}} \quad (18)$$

$$K_A = \frac{\sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}}{(n_T - 1) \cdot S_{Tном}} \quad (19)$$

Определяем расчетную мощность трансформаторов устанавливаемых на подстанции Транспортная:

$$S_p = \frac{\sqrt{10,04^2 + 3,36^2}}{2 \cdot 0,7} = 7,56 \text{ (кВА)}$$

Исходя из полученного значения принимаем силовой трансформатор согласно справочным данным с ближайшим большим номинальным значением мощности, в частности принимаем трансформатор типа ТДН 10000/110/10. Основные технические данные данного устройства представлены в таблице 3.

Определяем значение фактических коэффициентов загрузки принятого типа трансформатора в нормальном и послеаварийном режиме работы:

$$K_H = \frac{\sqrt{10,04^2 + 3,36^2}}{2 \cdot 10,0} = 0,53$$

$$K_A = \frac{\sqrt{10,04^2 + 3,36^2}}{10,0} = 1,06$$

Таблица 3 – Технические характеристики принятого типа трансформатора

1	2
ТДН 10000/110/10	
Номинальное напряжение	110/10 кВ
Номинальная мощность	10000 кВА
Потери холостого хода	14 кВт

Продолжение таблицы 3

1	2
Потери короткого замыкания	58 кВт
Напряжение короткого замыкания	10,5 %
Ток холостого хода	0,8%
Регулирование напряжения под нагрузкой	РПН
Габаритные размеры	5,8×3,5×5,3 м

При нормальном режиме работы двух трансформаторной подстанции коэффициент загрузки не должен превышать 0,7, для послеаварийного режима при отключении одного из трансформаторов коэффициент загрузки не должен превышать 1,4. Расчет показывает что номинальная мощность трансформатора выбрана верно т.к. коэффициенты загрузки находятся в требуемых пределах.

7 ВЫБОР СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПС ТРАНСПОРТНАЯ К СИСТЕМЕ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.

Как указывалось ранее предполагаемая схема подключения ПС Транспортная к сетям ДРСК осуществляется путем подключения в рассечку к проходящей рядом ВЛ 110 кВ «Среднебелая» - ПС «Силикатная», этот тип подключения определяет схему распределительного устройства высокого напряжения данной ПС, рассмотрим существующую схему электроснабжения рассматриваемого района электрических сетей в месте расположения ПС Транспортная

7.1 Анализ существующей системы электроснабжения

На рисунке 1 представлена однолинейная схема электрической сети в месте предполагаемого расположения ПС Транспортная. В рассматриваемой части имеются два источника питания это ПС «Благовещенская» и «Белогорск», таким образом подстанции номинальным напряжением 110 кВ «Среднебелая», «Силикатная», «Птицефабрика» получают питание от этих источников, остальные ПС («Моховая», «Новотроицкое», «Березовка», «Петропавловка», «Алексеевка», «Лохвицы») в рассматриваемой части сети имеют номинальное напряжение 35 кВ. Рассмотрим подробно подстанции 110 кВ:

«Среднебелая»: имеет три уровня номинальных напряжений, получает питание по двум линиям электропередачи выполненным проводом марки АС со стороны ПС «Благовещенск» и со стороны ПС «Силикатная», распределительное устройство высокого напряжения выполнено по схеме 5АН - «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов», на стороне среднего напряжения использована схема 9 - «одна секционированная система шин» (количество присоединенных линий – 1 в сторону ПС «Новотроицкое»), на стороне низкого напряжения схема с двумя секциями шин и секционным выключателем. На ПС установлены силовые трансформаторы типа ТДН 10000/110/10 номинальной мощностью 10

МВА номинальным напряжением обмоток 110/10 кВ, системой охлаждения типа Д и устройством регулирования напряжения РПН

«Силикатная»: имеет три уровня номинальных напряжений, так же получает питание по двум линиям электропередачи выполненным проводом марки АС со стороны ПС «Белогорск» и со стороны ПС «Среднебелая», распределительное устройство высокого напряжения выполнено по схеме 5АН - «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов», на стороне среднего напряжения использована схема 9 - «одна секционированная система шин» (количество присоединенных линий – 4 в сторону ПС «Березовка», «Алексеевка», «Лохвицы»), на стороне низкого напряжения схема с двумя секциями шин и секционным выключателем. На ПС установлены силовые трансформаторы типа ТДН 16000/110/10 номинальной мощностью 16 МВА номинальным напряжением обмоток 110/10 кВ, системой охлаждения типа Д и устройством регулирования напряжения РПН.

«Птицефабрика»: имеет три уровня номинальных напряжений, получает питание по двухцепной линии электропередачи выполненным проводом марки АС со стороны ПС Благовещенск, распределительное устройство высокого напряжения выполнено по схеме 5АН - «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов», на стороне среднего напряжения использована схема 9 - «одна секционированная система шин» (количество присоединенных линий – 1 в сторону ПС «Моховая»), на стороне низкого напряжения схема с двумя секциями шин и секционным выключателем. На ПС установлены силовые трансформаторы типа ТДН 10000/110/10 номинальной мощностью 10 МВА номинальным напряжением обмоток 110/10 кВ, системой охлаждения типа Д и устройством регулирования напряжения РПН

Протяжённость участков ВЛ в данном районе электрических сетей варьируется от 3,9 до 66 км.

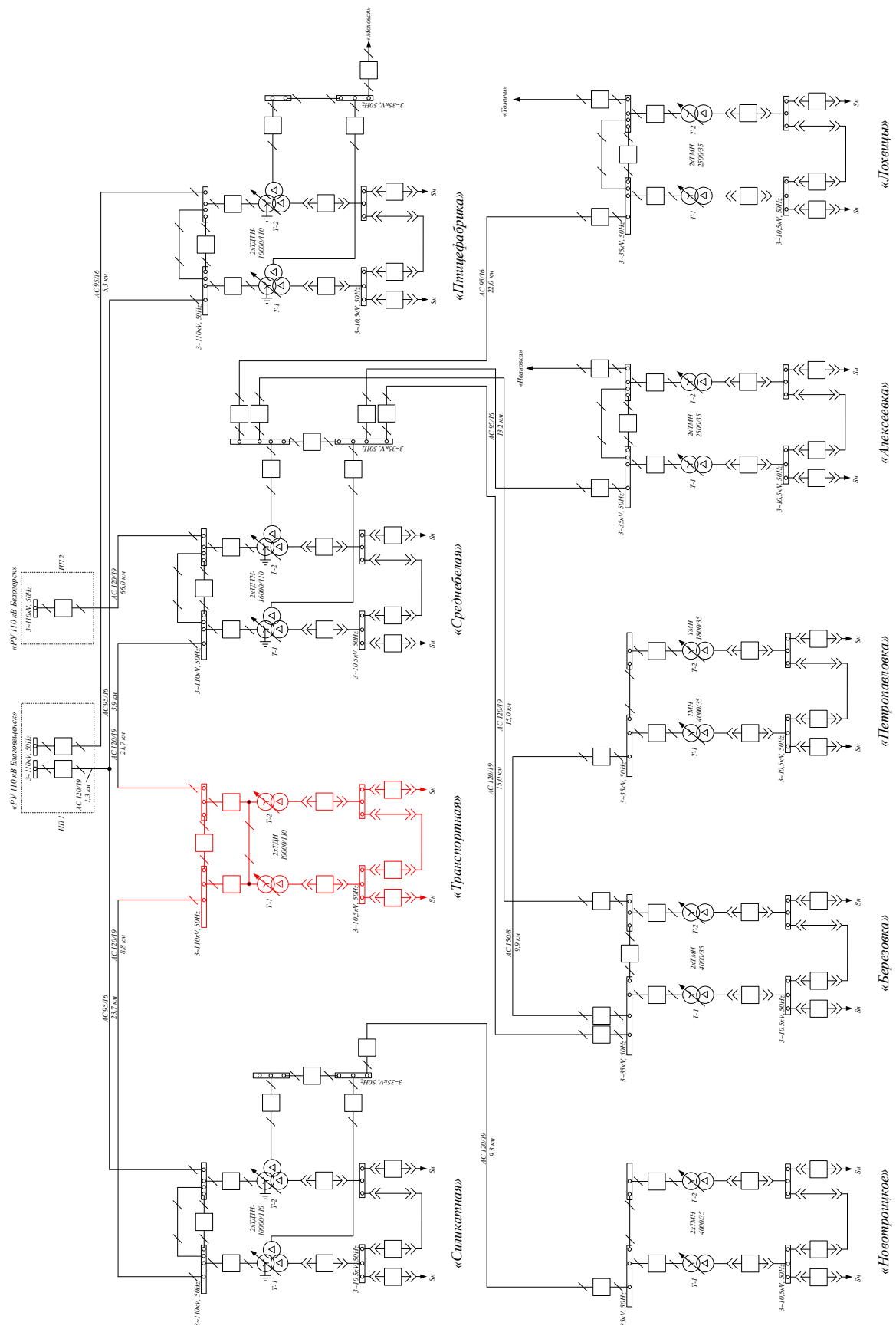


Рисунок 1 – Однолинейная схема существующей электрической сети

7.2 Выбор конструкции РУ ПС Транспортная

Проектируемая ПС Транспортная должна получать питание от двух независимых источников питания это условие надежности электроснабжения потребителей которые имеют вторую категорию, при этом учитывая то что она будет подключаться к линии имеющей двухстороннее питание то ее схема должна быть выполнена транзитной, в данном случае принимаем схему 5АН «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов». Данная схема применяется в следующих условиях: проходные двухтрансформаторные ПС с двусторонним питанием при необходимости сохранения транзита при КЗ (повреждении) в трансформаторе, при необходимости отключения одного из трансформаторов в течение суток (неравномерный график нагрузок).

Принятая принципиальная однолинейная схема подстанции Транспортная согласно принятому типу подключения представлена на рисунке 2.

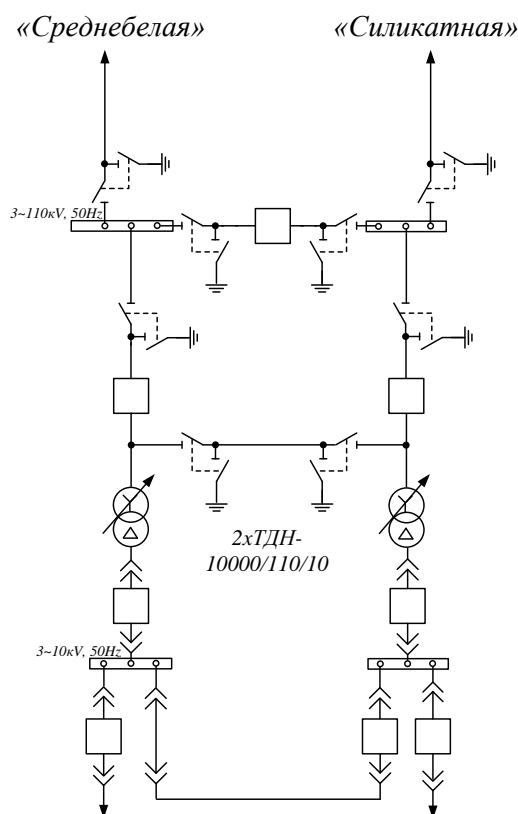


Рисунок 2 – Принятая однолинейная схема подстанции Транспортная

На стороне 10 кВ применена схема «две секции шин с секционным выключателем», здесь при отключении по защите силового трансформатора и отключении рабочего ввода секции, происходит автоматический ввод резерва путем включения секционного выключателя и все потребители переводятся на питание от оставшегося в работе трансформатора, перерыв в питании в таком режиме имеет минимальное значение, которое обусловлено временем работы автоматики.

Рассмотрим подробно работу распределительного устройства высокого напряжения на данной ПС: в нормальном режиме работы все выключатели находятся во включённом положении, разъединители в ремонтной перемычке отключены, через выключатель в перемычке осуществляется транзит мощности. При повреждении на трансформаторе или выводе его в ремонт отключаются оба выключателя на стороне низкого и высокого напряжения при этом транзит мощности сохраняется, на стороне низкого напряжения одна секция шин переключается на питание от смежной и потребители не обесточиваются. При повреждении или отключении в ремонт одной из питающих линий она отключается тремя выключателями – трансформаторным, выключателем в перемычке и со стороны источника питания, при этом отключившийся трансформатор может быть введен в работу путём включения ремонтной перемычки.

8 РАСЧЕТ СЕЧЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ ВЛ

В данном разделе будем проводить расчет сечений проводов ВЛ для подхода к ПС Транспортная, учитывая тот факт что подстанция имеет подключение в рассечку ВЛ ПС Среднебелая – ПС Силикатная следует выполнить подходы к ПС таким же сечением что и данная ВЛ - АС 120/19, при этом следует учитывать что нагрузка на данную ВЛ увеличивается на величину мощности которая потребляет сама ПС Транспортная.

Исходя из вышесказанного необходимо выполнить расчет сечения данной ВЛ с учетом подключения нового потребителя, при этом токовая нагрузка в сечении будет складываться из существующей нагрузки и нагрузки потребителя – ПС Транспортная, таким образом проводим расчет тока в сечении ВЛ по следующей формуле [8]:

$$I_{расч} = I_{тр} + \frac{2 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot n} \alpha_i \cdot \alpha_T \quad (20)$$

где $I_{тр}$ – существующее максимальное значение транзитного тока ВЛ: ПС Среднебелая – ПС Силикатная согласно данным контрольного замера 2021г;

n – количество цепей ВЛ;

$S_{ном}$ – номинальная мощность трансформаторов ПС Транспортная;

α_i – коэффициент, учитывающий изменение тока по годам эксплуатации;

α_T – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки.

Определяем значение расчетного тока ВЛ:

$$I_{расч} = 53,23 + \frac{2 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 1} 1,05 \cdot 0,9 = 152,43 \text{ (кА)}$$

По полученным данным о расчётном значении тока в сечении, климатическим данным местности [8], при питания подстанции Транспортная от указанной ВЛ следует сделать следующий вывод: замена проводника не требуется может быть оставлен провод марки АС 120/19

9 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Перед выбором оборудования на ПС Транспортная необходимо выполнить расчет токов короткого замыкания для последующей проверки данного оборудования на коммутационную, термическую, и динамическую стойкость.

Для расчета токов короткого замыкания существует два основных метода: расчет в именованных единицах, расчет в относительных единицах

При большом количестве трансформаций расчет лучше проводить в относительных единицах т.к. он позволяет избежать введения в расчеты точных коэффициентов трансформации что упрощает расчет. Однако при использовании метода именованных единиц отсутствует необходимость задания параметров таких как базисная мощность и базисное напряжение каждой ступени.

Каждый из данных указанных методов может выполняться с использованием действительных коэффициентов трансформации трансформаторов либо с использованием напряжений из среднего ряда. Последний прием наиболее предпочтителен, он менее точен чем первый, но получаемая в результате погрешность имеет приемлемое значение (менее 10% от действительного значения тока короткого замыкания).

Данный расчет проводится для выбора оборудования устанавливаемого на РУ 110 и 10 кВ ПС Транспортная принимаем метод расчета в относительных единицах с использованием среднего ряда напряжений. В качестве источников питания принимаются РУ 110 кВ ПС «Благовещенская» и РУ 110 кВ «Белогорск», расчётные точки КЗ для нее представлены на рисунке 3.

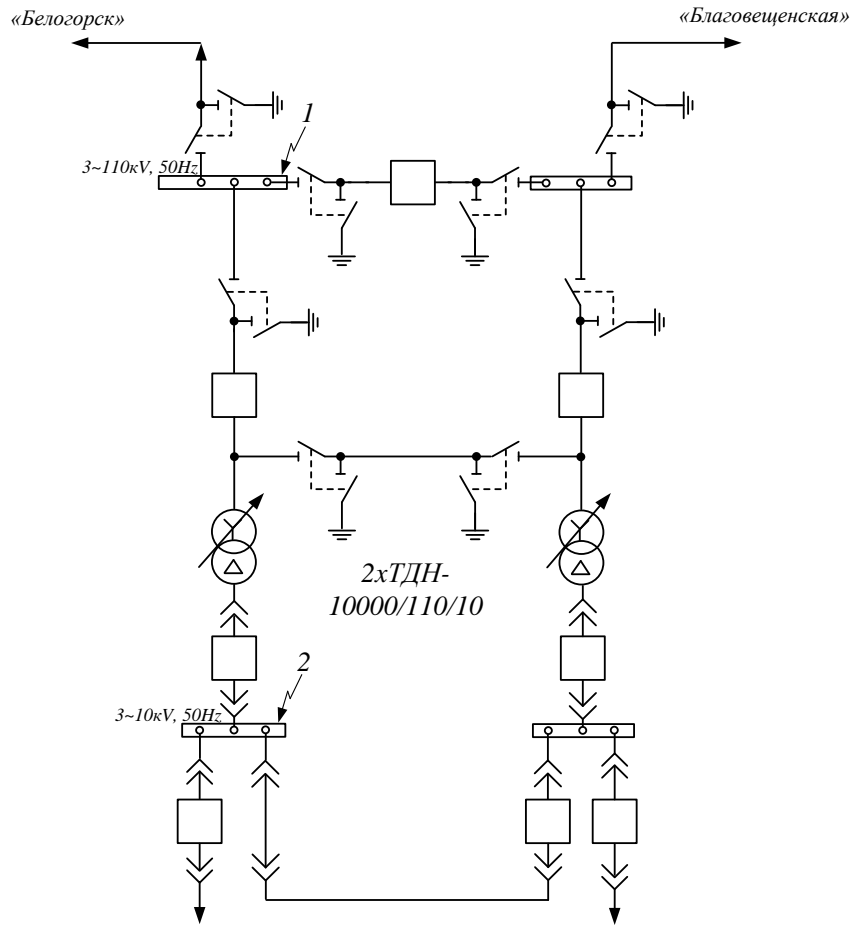


Рисунок 3, – Расчетные точки КЗ

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

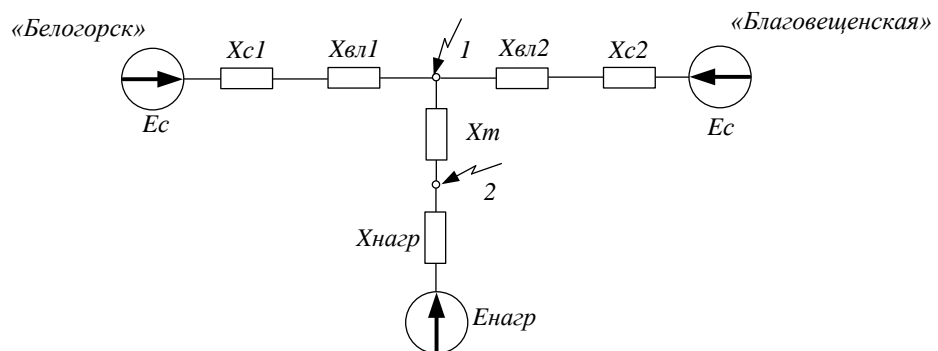


Рисунок 4 – Схема замещения участка сети с указанием расчетных точек КЗ

Для примера проводим расчет тока трехфазного короткого замыкания на шинах ВН ПС Транспортная (расчетная точка 1)

Принимаем базисные условия [16]:

- 1) базисная мощность $S_{\sigma} = 1000,0$ (МВА),
- 2) базисное напряжение на стороне 110 кВ $U_{\sigma 115} = 115$,
- 3) базисное напряжение на стороне 10 кВ $U_{\sigma 10} = 10,5$.
- 4) Справочные ЭДС и сопротивление обобщенной нагрузки соответственно равны 0,85 и 0,35 (о.е.)

Базисный ток:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} \quad (21)$$

где I_{σ} , U_{σ} – базисные ток и напряжение на одной ступени номинального напряжения;

$$I_{\sigma 110} = \frac{1000,0}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ (кА)}$$

$$I_{\sigma 10} = \frac{1000,0}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,98 \text{ (кА)}$$

Определяем сопротивления прямой последовательности элементов:

Сопротивление энергосистемы определяется через мощность трехфазного короткого замыкания на шинах источника питания, со стороны ПС «Белогорск»:

$$X_{C1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma} \cdot I_{K3}} \quad (22)$$

где I_{K3} – ток трехфазного короткого замыкания на шинах источника питания.

$$X_{C1} = \frac{1000,0}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 17,7} = 0,28 \text{ (о.е.)}$$

Со стороны ПС «Благовещенская»:

$$X_{C2} = \frac{S_6}{S_{C2}} \quad (23)$$

$$X_{C2} = \frac{1000,0}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 18,9} = 0,27 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление ВЛ ПС «Белогорск» - ПС Транспортная:

$$X_{ВЛ} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} \quad (24)$$

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

l – длина ВЛ (км)

$$X_{ВЛ1} = 0,4 \cdot 87,7 \cdot \frac{1000,0}{115^2} = 2,65 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление ВЛ ПС Транспортная - «Благовещенская»:

$$X_{ВЛ2} = 0,4 \cdot 33,8 \cdot \frac{1000,0}{115^2} = 1,02 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление обобщенной нагрузки:

$$X_H = 1,2 \cdot \frac{S_6}{\sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}} \quad (25)$$

$$X_H = 1,2 \cdot \frac{1000,0}{\sqrt{10,04^2 + 3,36^2}} = 113,34 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление обмотки трансформаторов установленных на подстанции Транспортная по следующей формуле:

$$X_T = \frac{u_{K\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}} \quad (26)$$

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

$S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора

$$X_T = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000,0}{10,0} = 10,5 \text{ (о.е.)}$$

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

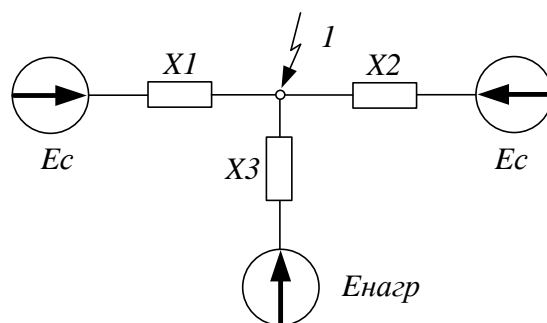


Рисунок 5 – Сворачивание схемы замещения

$$X1 = X_{C1} + X_{ВЛ1} \tag{27}$$

$$X1 = 0,28 + 2,65 = 2,93 \text{ (о.е.)}$$

$$X2 = X_{C2} + X_{ВЛ2} \tag{28}$$

$$X2 = 0,27 + 1,02 = 1,29 \text{ (о.е.)}$$

$$X3 = 0,5 \cdot X_T + X_H \tag{29}$$

$$X3 = 0,5 \cdot 10,5 + 113,34 = 118,59 \text{ (о.е.)}$$

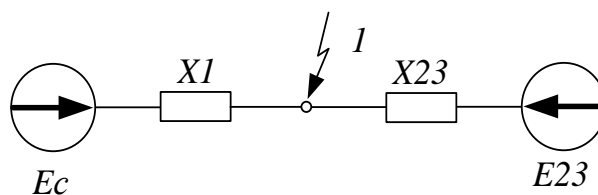


Рисунок 6 – Сворачивание схемы замещения

$$X_{23} = \frac{X_2 \cdot X_3}{X_2 + X_3} \quad (30)$$

$$X_{23} = \frac{1,29 \cdot 118,59}{1,29 + 118,59} = 1,28 \text{ (о.е.)}$$

$$E_{23} = \frac{E_c \cdot X_3 + E_H \cdot X_2}{X_2 + X_3} \quad (31)$$

$$E_{23} = \frac{1 \cdot 118,59 + 0,85 \cdot 1,29}{118,59 + 1,29} = 0,97 \text{ (о.е.)}$$

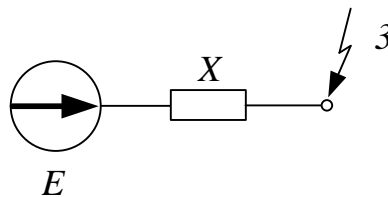


Рисунок 7 – Определение результирующего сопротивления и ЭДС

$$X = \frac{X_1 \cdot X_{23}}{X_1 + X_{23}} \quad (32)$$

$$X = \frac{2,93 \cdot 1,28}{2,93 + 1,28} = 0,89 \text{ (о.е.)}$$

$$E = \frac{E_c \cdot X_{23} + E_{23} \cdot X_1}{X_{23} + X_1} \quad (33)$$

$$E = \frac{1 \cdot 1,28 + 0,97 \cdot 2,93}{1,28 + 2,93} = 0,98 \text{ (о.е.)}$$

Находим начальное значение периодической составляющей тока КЗ в расчетной точке КЗ 1:

$$I_{no} = \frac{E}{X} \cdot I_{6110} \quad (34)$$

$$I_{no} = \frac{0,98}{0,89} \cdot 5,02 = 5,52 \text{ (кА)}$$

Находим значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания по следующей формуле:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot e^{\frac{-t_{OB}}{T_a}} \quad (35)$$

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 аperiodической составляющей тока короткого замыкания на примере первой точки:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot e^{\frac{-t_{OB}}{T_a}}$$

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot 8,76 \cdot e^{\frac{-0,05}{0,03}} = 2,34 \text{ (кА)}$$

Постоянную времени можно определить по следующей формуле:

$$T_a = \frac{X_p}{\omega \cdot R_p} \quad (36)$$

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.)

T_{OB} – время отключения выключателя с учетом времени работы защиты

В данном случае для упрощения расчета T_a принимается согласно справочных данных.

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot 5,52 \cdot e^{\frac{-0,1}{0,03}} = 0,28 \text{ (кА)}$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}\right) \quad (37)$$

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 5,52 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}}\right) = 13,4 \text{ (кА)}$$

Расчет теплового импульса проводится по следующей формуле:

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (t_{pz} + t_{cv} + T_a) \quad (38)$$

где t_{pz} - максимальное время работы резервной защиты;

t_{cv} - собственное время отключения выключателя;

Для точки КЗ №1:

$$B_k = 5,52^2 \cdot (2 + 0,05 + 0,03) = 63,37 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

Аналогично проводится расчет суммарных токов короткого замыкания для точки 2 результаты расчета сводятся в таблицу 4:

Таблица 4 – Результаты расчета токов короткого замыкания для выбора оборудования

Расчетная точка короткого замыкания	I_{no} (кА)	I_{at} (кА)	$I_{y\partial}$ (кА)	B_k (кА ² с)
1	5,52	0,28	13,4	63,37
2	21,45	5,73	52,07	957,01

Дополнительно для выбора оборудования 110 кВ необходимо определить токи короткого замыкания отдельно от каждого источника питания, данные расчеты выполняются по аналогичным формулам при этом результаты расчетов приведены в таблице 5

Таблица 5 – Результаты расчета токов короткого замыкания для выбора оборудования

Токи короткого замыкания в РУ 110 кВ от источников питания	I_{no} (кА)	I_{at} (кА)	$I_{y\delta}$ (кА)	B_k (кА ² с)
ПС «Белогорск»	1,68	0,08	4,0	5,64
ПС «Благовещенская»	3,84	0,19	9,14	29,49

10 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ ТРАНСПОРТНАЯ

Перед выполнением задач данного раздела необходимо знать такие данные как уровни токов короткого замыкания во всех распределительных устройствах подстанции Транспортная, уровни максимальных токов во всех распределительных устройствах, а также категорию потребителей подключенных к шинам низкого напряжения данной подстанции и климатическую характеристику рассматриваемого района. При этом все выше указанные данные были определены ранее либо рассчитаны по определенным формулам. Проводим расчет и выбор оборудования для подстанции Транспортная предварительно определяем значение максимальных рабочих токов в распределительных устройствах

Определяем максимальные рабочие токи РУ 110 кВ ПС Транспортная по следующей формуле [8]:

$$I_{\text{макс. раб}} = \frac{2 \cdot S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} + I_{\text{тр}} \quad (39)$$

где S_n – номинальная мощность трансформатора (МВА);

U_n – номинальное напряжение (кВ);

$I_{\text{тр}}$ – транзитный ток (значение приведено ранее) (А);

$$I_{\text{макс. раб}} = \frac{2 \cdot 10,0}{\sqrt{3} \cdot 115} + 53,23 = 153,63 \text{ (А)}.$$

Для стороны 10 кВ:

$$I_{\text{макс. раб}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_{\text{макс. раб}} = \frac{10,0}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 549,85 \text{ (А)}.$$

10.1 Выбор выключателей 110 кВ

Выбор выключателей на стороне 110 кВ подстанции Транспортная.

Выбор выключателей осуществляется по номинальному напряжению сети и номинальному току нагрузки [8]:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети} \quad (40)$$

$$I_{ном} \geq I_{макс.раб} \quad (41)$$

Напряжение сети 110 кВ.

Первоначально проверяем установленные на ПС Транспортная элегазовые выключатели марки ВЭБ-110 П-20/2500У1. Привод выключателя – пневматический.

Проверка термической стойкости проводится по максимальному току:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k \quad (42)$$

где $I_{тер}$ - ток термической стойкости;

$t_{тер}$ - время термической стойкости,

B_k - интеграл Джоуля.

Проверка динамической стойкости проводится по максимальному току:

$$I_{пр.скв} = I_{дин} \geq I_{уд} \quad (43)$$

где $I_{пр.скв}$ - предельный сквозной ток выключателя;

$I_{дин}$ - ток электродинамической стойкости аппарата.

Сравнение параметров выключателя со значениями, полученными при расчете токов КЗ показаны в таблице 6:

Таблица 6 – Выбор и проверка выключателей 110 кВ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном}$ (А)	2500	153,63	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{откл}$ (кА)	20	3,84	$I_{откл} \geq I_{по}$
$I_{вкл}$ (кА)	20	3,48	$I_{вкл} \geq I_{по}$
$I_{пик}, I_{уд}$ (кА)	102	9,14	$I_{пик} \geq I_{уд}$
I_a (кА)	$\sqrt{2} \cdot \beta \cdot I_{откл} =$ $\sqrt{2} \cdot 0,45 \cdot 20 =$ 12,456	0,19	$I_{ном.а} \geq I_a$
$I_{пр.скв}, I_{уд}$ (кА)	102	9,14	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ (кА ² с)	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} =$ $20^2 \cdot 3 =$ 1200	29,49	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

10.2 Выбор выключателей 10 кВ

Первоначально принимаем выключатель вакуумный ВВЭ-М-10-630-40У1. Сравнение параметров в показано в таблице 7:

Таблица 7 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
1	2	3	4
$U_{ном}$ (кВ)	10	10	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном}$ (А)	630	549,85	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{откл}$ (кА)	40	21,45	$I_{откл} \geq I_{по}$
$I_{вкл}$ (кА)	40	21,45	$I_{вкл} \geq I_{по}$
$I_{пик}, I_{уд}$ (кА)	81	52,07	$I_{пик} \geq I_{уд}$
I_a (кА)	$\sqrt{2} \cdot \beta \cdot I_{откл} =$ $\sqrt{2} \cdot 0,3 \cdot 40 =$ 16,96	5,73	$I_{ном.а} \geq I_a$
$I_{пр.скв}, I_{уд}$ (кА)	81	52,07	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$

1	2	3	4
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер}$ (кА ² с)	$I_{гер}^2 \cdot t_{гер} =$ $40^2 \cdot 3 =$ 4800	957,01	$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} \geq B_k$

Выбор выключателей так же приведен в приложении Б

10.3 Выбор разъединителей 110 кВ

Принимаем разъединители марки РНДЗ-2-110/1000 ХЛ1 Сравнение параметров показано в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор и проверка разъединителей 110 кВ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном}$ (А)	1000	153,63	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{пр.скв}, I_{уд}$ (кА)	80	9,14	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер}$ (кА ² с)	$I_{гер}^2 \cdot t_{гер} =$ $31,5^2 \cdot 3 =$ 2790,75	29,49	$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} \geq B_k$

10.4 Выбор высокочастотного заградителя связи 110 кВ

По номинальному напряжению выбираем заградитель типа ВЗ-200 УХЛ1,

Сравнение основных данных заградителя с расчетными показаны в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор и проверка ВЧЗ 110 кВ

Номинальные параметры заградителя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном}$ (А)	200	153,63	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{пр.скв}, I_{уд}$ (кА)	29,5	9,14	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$

Высокочастотный заградитель типа ВЗ - 200 УХЛ1 проходит по всем показателям его принимаем к установке на ПС Транспортная

10.5 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 110 кВ

Наибольшее рабочее линейное напряжения на шинах 110 ПС составляет 126 кВ.

Рассчитываем фазное значение наибольшего рабочего напряжения:

$$U_{нрф} = \frac{U_{нрл}}{\sqrt{3}} \quad (44)$$

$$U_{нрф} = \frac{126}{\sqrt{3}} = 72,74 \text{ (кВ)}$$

Энергия поглощаемая ограничителем определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \left(\frac{U - U_{ост}}{Z_B} \right) \cdot U_{ост} \cdot 2 \cdot T \quad (45)$$

где U - величина неограниченных перенапряжений на линии электропередачи;

$U_{ост}$ - остаточное напряжение на ОПН;

Z_B - волновое сопротивление линии Ом;

t - время распространения волны.

$$U = \frac{U_0}{1 + k \cdot L \cdot U_0} \quad (46)$$

$$U = \frac{260}{1 + 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 260} = 224,9 \text{ (кВ)}$$

где U_0 - напряжение волны перенапряжений в месте удара молнии;

k – коэффициент полярности;

L - длина защитного подхода принимаем равной 3 (км).

Время распространения волны рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{L \cdot 10^6}{\beta \cdot c} \quad (47)$$

где β - коэффициент затухания волны в фазном проводе;

c - скорость распространения электромагнитной волны в вакууме (км/сек).

$$T = \frac{3 \cdot 10^6}{0,91 \cdot 300000} = 11 \text{ (мкс)}$$

$$\mathcal{E} = \left(\frac{224,9 - 180}{415} \right) \cdot 180 \cdot 2 \cdot 11 = 398 \text{ (кДж)}.$$

Сравнение расчетных данных с паспортными ОПН приведено в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор и проверка ОПН 110 кВ

Номинальные параметры		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
Наибольшее рабочее напряжение $U_{нр}$ (кВ)	77	72,74	$U_{нр} \geq U_{нр.сети}$
Поглощаемая энергия (кДж)	400	398	$\mathcal{E}_{наст} \geq \mathcal{E}$

ОПН 110 проходит проверку по всем показателям его принимаем к установке.

10.6 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 10 кВ

Принимаем к установке ОПН-10 УХЛ1 Сравнение параметров приведено в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор и проверка ОПН 10 кВ

Номинальные параметры		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	10	10	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
Наибольшее рабочее напряжение $U_{нр}$ (кВ)	7,12	6,92	$U_{нр} \geq U_{нр.сети}$

ОПН 10 проходит проверку по всем показателям его принимаем к установке.

10.7 Выбор трансформаторов тока

Расчет общего сопротивления вторичных цепей:

$$Z_2 \approx r_2 = r_{пров} + r_{приб} + r_k \quad (48)$$

Сопротивление контактов $r_k = 0,1$ Ом.

Сопротивление соединительных проводов:

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l}{F} \quad (49)$$

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

l - длина проводов, для РУ 110 кВ подстанции 100 м, для РУ 10 кВ - 60 м;

F - сечение провода, $F = 4$ мм².

Сопротивление проводов (для 110 кВ):

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 100}{4} = 0,71 \text{ (Ом)}.$$

Сопротивление проводов (для РУ 10 кВ):

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 600}{4} = 0,43 \text{ (Ом)}.$$

Сопротивление приборов:

$$r_{\text{пров}} = \frac{S_{\text{пр}}}{I_2^2} \quad (50)$$

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

I_2 - вторичный ток.

Принимаем измерительный комплекс АВВ «delta+». Расчет нагрузки приведен в таблице 12, 13.

Таблица 12 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 110 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка фазы (ВА)
Амперметр	ЕМ-06	0,5
Ваттметр	СК3021-1	0,5
Варметр	СК3021-1	0,5
Счетчик АЭ	delta +	0,12
Счетчик РЭ		

Таблица 13 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка фазы (ВА)
Ваттметр	СК3021-1	0,5
Амперметр	ЕМ-06	0,5
Счетчик АЭ	delta +	0,12
Счетчик РЭ		

Мощность наиболее загруженной фазы на напряжении 110 $S_{np}=1,62$ ВА.

Тогда сопротивление приборов на стороне 110 кВ:

$$r_{приб} = \frac{S_{np}}{I^2}$$

$$r_{приб} = \frac{1,62}{5^2} = 0,06 \text{ (Ом)}.$$

Мощность наиболее загруженной фазы на напряжение 10 кВ $s_{np} = 0,62$ ВА.

Тогда сопротивление приборов на стороне 10 кВ:

$$r_{приб} = \frac{S_{np}}{I^2}$$

$$r_{приб} = \frac{1,12}{5^2} = 0,045 \text{ (Ом)}.$$

Вторичная нагрузка трансформатора тока (на стороне 110 кВ):

$$Z_{2.110} = r_{пров} + r_{приб} + r_k$$

$$Z_{2.110} = 0,06 + 0,71 + 0,1 = 0,87 \text{ (Ом)}$$

Вторичная нагрузка трансформатора тока (на стороне 10 кВ):

$$Z_{2.10} = r_{пров} + r_{приб} + r_k$$

$$Z_{2.10} = 0,045 + 0,43 + 0,1 = 0,58 \text{ (Ом)}$$

Проверяем встроенный трансформатор тока на стороне 110 кВ ПС
Транспортная.

Сравнение параметров выбранного трансформатора тока приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Проверка встроенного ТТ 110 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$Z_{2\text{ном}} (\text{Ом})$	20	0,87	$Z_{2\text{ном}} \geq Z_2$
$I_{\text{ном}} (\text{А})$	200	153,63	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс.раб}}$

Принимаем трансформатор тока по стороне 10 кВ ПС Транспортная ТПЛК-10 с номинальным током первичной обмотки 600 А. Сравнение параметров приведено в таблице 15.

Таблица 15 – Проверка выбранного ТТ 10 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{\text{ном}} (\text{кВ})$	10	10	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$
$I_{\text{ном}} (\text{А})$	600	549,85	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс.раб}}$
$I_{\text{пр.скв}}, I_{\text{уд}} (\text{кА})$	82	52,07	$I_{\text{пр.скв}} \geq I_{\text{уд}}$
$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$ ($\text{кА}^2\text{с}$)	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} =$ $35^2 \cdot 3 =$ 3675	957,01	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}}$
$Z_{2\text{ном}} (\text{Ом})$	1,2	0,58	$Z_{2\text{ном}} \geq Z_2$

Выбранные трансформаторы тока проходят по всем требованиям.

10.8 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы выбираются и проверяются по вторичной нагрузке:

$$S_{2\text{ном}} \geq S_2 \quad (51)$$

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

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

Расчет вторичной нагрузки трансформаторов напряжения ПС
Транспортная приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения 110 кВ

Тип прибора	Прибор	Количество приборов	Потребляемая мощность (В·А)
Вольтметр	ЕМ-06	2	2
Вольтметр регистрирующий	ЕМ-06	2	10
Частотомер	ЧС-01 ТК	2	7
Ваттметр	СК3021-1	2	1,5
Счетчик АЭ	delta +	2	1
Счетчик РЭ			
Сумма			43

Принимаем на стороне 110 кВ трансформатор напряжения типа: НАМИ-110.

Таблица 17 – Проверка выбранного ТН 110 кВ

Номинальные параметры ТН		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,5	400 ВА	43 ВА	$S_{2ном} \geq S_2$

Выбираем трансформаторы напряжения на стороне 10 кВ.

Сравнение параметров принятого трансформатора напряжения приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 6 кВ

Тип прибора	Прибор	Количество приборов	Потребляемая мощность (В·А)
Вольтметр	ЕМ-06	2	4
Счетчик АЭ	delta +	14	14
Счетчик РЭ			
Сумма			18

Принимаем для РУ 10 кВ трансформатор напряжения типа: НАМИ – 10.

Таблица 19 – Проверка выбранного ТН 10 кВ

Номинальные параметры ТН		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,5	75 ВА	18 ВА	$S_{2ном} \geq S_2$

Данный тип трансформатора оставляем.

10.9 Выбор трансформаторов собственных нужд

Расчётная нагрузка потребителей ПС Транспортная приведены в таблице 20:

Таблица 20 – Расчетная нагрузка потребителей С.Н. ПС Транспортная

Вид потребителя	Расчетная мощность приемника (кВА)
Приводы выключателей	8,36
Обогрев приводов выключателей	2,4
Обогрев ЗРУ 10 кВ	12
Освещение коридора ЗРУ 10 кВ	4
Освещение ячеек 10 кВ	1,4
Освещение ОРУ	8
Расчетная полная мощность	36,16

По расчетной мощности электроприемников С.Н. определяем мощность трансформатора собственных нужд ПС Транспортная:

$$S_p = \frac{S_{наг}}{n_T \cdot K_3^{ном}}$$

$$S_p = \frac{36,16}{2 \cdot 0,7} = 25,82 \text{ (кВА)}.$$

Принимаем сухой защищенный трансформатор типа ТСЗ номинальной мощностью 40 кВА

10.10 Выбор гибких шин 110 кВ

Максимальный рабочий ток на стороне высокого напряжения подстанции составляет 153,63 А, следовательно принимаем сечение провода для данного

напряжения с учетом сечения ВЛ АС 185/29 с максимально допустимым током 510 А расположение фаз горизонтальное , междуфазное расстояние 300 см.

Проверка сечения на термическую стойкость к токам КЗ не требуется т.к. шины выполнены голыми проводами расположенными на открытом воздухе.

При токе трехфазного короткого замыкания менее 20 кА (как в данном случае) проверка шин на схлестывание не требуется.

Проводим проверку по условиям коронирования, определяем начальную критическую напряженность на проводе по формуле (кВ):

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right) \quad (52)$$

где m - коэффициент учитывающий шероховатость поверхности провода;

r_0 - радиус провода (см)

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{0,744}} \right) = 34,46 \text{ (кВ)}$$

Определяем напряженность на проводе по формуле:

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_0}} \quad (53)$$

где U – линейное напряжение на проводе (принимаем 115 кВ);

D_{cp} - среднегеометрическое расстояние между проводами фаз, при горизонтальном расположении фаз и расстоянии между фазами оно равно 378 см

$$E = \frac{0,354 \cdot 115}{0,744 \cdot \lg \frac{378}{0,744}} = 20,217 \text{ (кВ)}$$

Отсутствие коронирования определяем по условию

$$1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0 \quad (54)$$

$$21,63 \leq 31,01$$

Сечение проходит по требованиям следовательно его оставляем.

10.11 Выбор жестких шин 10 кВ

Проводим выбор жестких шин для распределительного устройства низкого напряжения ПС Транспортная. Максимальный рабочий ток нагрузки в данном случае составляет 549,85 А. Принимаем минимальное сечение алюминиевой шины с размерами 80×6 мм (4,8 см²). Шины устанавливаем на изоляторах плашмя, расстояние между фазами принимаем 0,4м.

Проверяем шины на тепловую стойкость, определяем минимальное сечение по условиям нагрева токами короткого замыкания (см²).

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{957,01}}{91} = 0,25$$

где B_k – интеграл джоуля, рассчитан ранее при выборе выключателей.

C - коэффициент для алюминия 91

Проверка электродинамической стойкости:

$$l \leq \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}} = \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{25,6}{4,8}}} = 0,95 \quad (55)$$

где J – момент инерции шины (см³×см).

q - сечение проводника, в данном случае 4,8 (см²)

Расчет момента инерции:

$$J = b \cdot h^3 \frac{1}{12} \quad (56)$$

$$J = 0,6 \cdot 8^3 \frac{1}{12} = 25,6 \text{ (см}^3\text{см)}$$

Принимаем пролет между изоляторами 10 кВ 0,9 м.

Расчет наибольшего усилия:

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_{y0}^2}{a} \quad (57)$$

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

a - расстояние между фазами 0,4 (м).

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{22120^2}{0,4} = 536,01 \text{ (Н/м)}$$

Расчет момента сопротивления:

$$W = b \cdot h^2 \frac{1}{6} \quad (58)$$

$$W = 0,6 \cdot 8^2 \frac{1}{6} = 6,4 \text{ (см}^3\text{)}$$

Расчет механического напряжения в проводе при КЗ:

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{y0}^2 \cdot l^2}{W \cdot a} \quad (59)$$

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{52070^2 \cdot 0,9^2}{6,4 \cdot 0,4} = 14,85 \text{ (МПа)}$$

Полученное значение не превышает предельного для данного материала 63 МПа, расчет окончен.

10.12 Выбор опорных изоляторов 10 кВ

Выбор проводится по следующим условиям:

1) по номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{ном\ сети} \quad (60)$$

2) по механической нагрузке:

$$F_{разр} \cdot 0,6 \geq F_{расч} \quad (61)$$

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

$F_{расч}$ - расчетное усилие в рассматриваемом РУ 10 кВ (Н).

Расчетная сила, определяется как:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7} \quad (62)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{52070^2 \cdot 1,1}{0,4} \cdot 10^{-7} = 1291,25 \text{ (Н)}$$

Выбираем по номинальному напряжению проходной изолятор типа ОСК 8-10 УХЛ2 с номинальным усилием разрушения 8000 Н, проверяем следующее неравенство:

$$8000 \cdot 0,6 = 4800 \geq 1291,25$$

Неравенство выполняется следовательно данный тип изолятора принимаем для установки в РУ 10 кВ ПС Транспортная

11 РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

В данном разделе рассматривается подробный расчет молниезащиты ПС 110/10 кВ Транспортная.

В данном случае применяются отдельно стоящие молниеотводы в количестве 4 шт. Высота молниеотвода над уровнем земли согласно принимается 19 м.

Рассмотрим подробно расчет молниезащиты от двух молниеотводов 1 – 2.

Находим эффективную высоту молниеотвода:

$$h_{эф} = 0,85 \cdot h \quad (63)$$

где h – высота молниеотвода (19 м)

$$h_{эф} = 0,85 \cdot 19 = 16,15$$

Находим радиус зоны защиты от одного молниеотвода на уровне земли

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h \quad (64)$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot 19) \cdot 19 = 20,18 \text{ (м)}$$

Находим радиус зоны защиты от одного молниеотвода на уровне линейного портала:

$$r_x = 1,6 \cdot h \cdot \frac{(h - h_x)}{(h + h_x)} \quad (65)$$

где h_x – высота защищаемого объекта (линейного портала) составляет 11 м.

$$r_x = 1,6 \cdot 19 \cdot \frac{(19 - 11)}{(19 + 11)} = 9,19 \text{ (м)}$$

Наименьшая высота внутренней зоны двух молниеотводов расположенных на заданном расстоянии друг от друга (на примере молниеотводов 1-2):

$$h_c = h - \frac{L}{7} \quad (66)$$

где L – расстояние между молниеотводами 2-4 в данном случае составляет 44 м.

$$h_c = 19 - \frac{47}{7} = 12,28 \text{ (м)}$$

Находим половину ширины внешней зоны на уровне линейного портала по следующей формуле:

$$r_{cx} = 1,6 \cdot \frac{h_c - h_x}{1 + \frac{h_x}{h_c}} \quad (67)$$

где h_x – высота защищаемого объекта (м).

$$r_{cx} = 1,6 \cdot \frac{12,28 - 11}{1 + \frac{11}{13,28}} = 2,2 \text{ (м)}$$

Рассмотрим расчет молниезащиты от двух молниеотводов 1 – 3.

Эффективная высота молниеотвода:

$$h_{\phi} = 0,85 \cdot 19 = 17,0 \text{ (м)}$$

Радиус зоны защиты от одного молниеотвода на уровне земли

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot 19) \cdot 19 = 20,18 \text{ (м)}$$

Находим радиус зоны защиты от одного молниеотвода на уровне линейного портала

$$r_x = 1,6 \cdot 19 \cdot \frac{(19-11)}{(19+11)} = 9,19 \text{ (м)}$$

Наименьшая высота внутренней зоны двух молниеотводов расположенных на расстоянии L друг от друга:

$$h_c = 19 - \frac{21}{7} = 16,0 \text{ (м)}$$

Половина ширины внешней зоны на уровне линейного портала:

$$r_{cx} = 1,6 \cdot \frac{16,0-11}{1+\frac{11}{16,0}} = 5,73 \text{ (м)}$$

Аналогично проводится расчет молниезащиты относительно остальных систем молниеотводов, результаты расчета приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет молниезащиты ПС Транспортная

Пара молниеотводов	L (м)	h (м)	h_{ϕ} (м)	h_c (м)	r_0 (м)	r_x (м)	r_{cx} (м)
1 - 2	47,0	19	16,15	12,28	20,18	9,19	2,2
1 - 3	21,0	19	16,15	16,0	20,18	9,19	5,73
3 - 4	47,0	19	16,15	12,28	20,18	9,19	2,2
2 - 4	29,0	19	16,15	14,65	20,18	9,19	4,51

12 РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Сопротивление искусственного заземлителя для ПС Транспортная согласно не должно превышать 0,5 Ом.

Размеры ПС Транспортная

$$A = 65 \text{ (м)}$$

$$B = 36 \text{ (м)}$$

Удельное сопротивление первого грунта ПС Транспортная $\rho_1 = 50$ (Ом/м)

Определяем площадь контура заземления ПС Транспортная:

$$S = (A + 3) \cdot (B + 3) = (65 + 3) \cdot (36 + 3) = 2652 \quad (68)$$

$$S = (65 + 3) \cdot (36 + 3) = 2652 \text{ (м}^2\text{)}$$

Определяем удельное сопротивление второго грунта заземления ПС Транспортная:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \psi \quad (69)$$

где - ψ - коэффициент сезонности

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \psi = 50 \cdot 2,7 = 135 \text{ (Ом/м)}$$

Принимаем диаметр вертикальных электродов $d = 0,01$ м:

Сечение вертикальных электродов:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (70)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)}$$

Проверка сечения на термическую стойкость:

$$F_{mc} = \sqrt{\frac{I_M^2 \cdot T}{400 \cdot \beta}} \quad (71)$$

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

T - максимальное время работы защиты (сек)

β - коэффициент термической стойкости.

$$F_{mc} = \sqrt{\frac{8,73^2 \cdot 5}{400 \cdot 21}} = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)}$$

Сечение проходит проверку на термическую стойкость

Проверка сечения на коррозионную стойкость выполняется по следующему выражению:

$$S_{cp} = a_k \cdot \ln(240)^3 + b_k \cdot \ln(240)^3 + c_k \cdot \ln(240)^3 + d_k \quad (72)$$

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

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

$$F_{кор} = 3,14 \cdot S_{cp} \cdot (S_{cp} + d) \quad (73)$$

$$F_{кор} = 3,14 \cdot 1 \cdot (1 + 0,01) \cdot 10^{-4} = 3,17 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Сечение не проходит проверку на коррозионную стойкость следовательно принимаем:

$$d = 0,022 \text{ (м)}$$

Сечение вертикальных электродов с сети заземления ПС:

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,022^2}{4} = 3,79 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Данное сечение соответствует проверке по коррозионной стойкости его оставляем для дальнейших расчетов.

Принимаем первоначально расстояние между полосами горизонтальных электродов в сети заземления:

$$l_{nn} = 5 \text{ (м)}$$

Общая длина полос в сетке

$$L_n = \frac{(A+3)}{l_{nn}}(B+3) + \frac{(B+3)}{l_{nn}}(A+3) \quad (74)$$

$$L_n = \frac{(65+3)}{5}(36+3) + \frac{(36+3)}{5}(65+3) = 1060,8 \text{ (м)}$$

Число ячеек

$$m = \frac{L_n}{2 \cdot \sqrt{S}} \quad (75)$$

$$m = \frac{1060,8}{2 \cdot \sqrt{2652}} = 10,9$$

Принимаем число ячеек: $m = 11$

Длина стороны ячейки

$$L_{я} = \frac{\sqrt{S}}{m} \quad (76)$$

$$L_{я} = \frac{\sqrt{2652}}{11} = 4,68 \text{ (м)}$$

Длина горизонтальных полос в сетке заземления:

$$L = 2 \cdot \sqrt{S} (m+1) \text{ (м)} \quad (77)$$

$$L = 2 \cdot \sqrt{2652} (11+1) = 1235,9 \text{ (м)}$$

Количество вертикальных электродов в сетке заземления:

$$n_e = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{10 \cdot \sqrt{2}} \quad (78)$$

$$n_g = \frac{4 \cdot \sqrt{2652}}{10 \cdot \sqrt{2}} = 14,56$$

Принимаем: $n_g = 15$

Принимаем длину вертикальных электродов в сетке заземления:

$$l_g = 2,5 \text{ (м)}$$

Определяем стационарное сопротивление заземлителя:

$$R_c = \rho l \cdot \left(A \frac{1}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + l_g \cdot n_g} \right) \quad (79)$$

где - A - вспомогательный коэффициент.

$$R_c = 50 \cdot \left(0,42 \frac{1}{\sqrt{2652}} + \frac{1}{1235,9 + 2,5 \cdot 15} \right) = 0,447 \text{ (Ом)}$$

Определяем вспомогательный коэффициент:

$$\alpha_u = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\beta + 320) \cdot (I_M + 45)}} \quad (80)$$

$$\alpha_u = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{2652}}{(21 + 320) \cdot (8,73 + 45)}} = 1,11$$

$$R_u = R_c \cdot \alpha_u \quad (81)$$

$$R_u = 0,447 \cdot 1,11 = 0,496 \text{ (Ом)}$$

Сопротивление заземлителя не превышает нормативного значения 0,5 Ом, расчет окончен.

13 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Проводим расчет приведенных затрат при реконструкции.

Определяем стоимость РУВН, НН ПС Транспортная:

$$K_{py} = (N_{яч110} \cdot K_{яч110} + N_{яч10} \cdot K_{яч10}) \cdot K_{инф} \cdot K_p \quad (82)$$

где $K_{инф}$ - коэффициент пересчёта цен 2000 года на 2022 год (равен 4,28)

K_p - районный коэффициент: для ПС –1,3:

$N_{яч35}$ - количество ячеек выключателей 35 кВ:

$K_{яч35}$ - стоимость одной ячейки выключателя 35 кВ в ценах 2000 года:

$N_{яч10}$ - количество ячеек выключателей 10 кВ

$K_{яч10}$ - стоимость одной ячейки выключателя 10 кВ в ценах 2000 года:

$$K_{py} = (3 \cdot 7,7 + 0,16 \cdot 15) \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 141,88 \text{ (млн.руб)}$$

Определяем стоимость трансформаторов на ПС Транспортная:

$$K_{тр} = N_{тр} \cdot K_{тр} \cdot K_{инф} \cdot K_p \quad (83)$$

где $N_{тр}$ - количество трансформаторов 35 кВ:

$K_{тр}$ - стоимость одного трансформатора 35 кВ в ценах 2000 года:

$$K_{тр} = 2 \cdot 4,64 \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 51,63 \text{ (млн.руб)}$$

Определяем постоянная часть затрат по подстанции:

$$K_{пост} = K_{пост} \cdot K_{инф} \cdot K_p \quad (84)$$

где $K_{пост}$ - постоянная часть затрат в ценах 2000 года:

$$K_{пост} = 10,34 \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 57,53 \text{ (млн.руб)}$$

Определяем суммарные капиталовложения в ПС Транспортная

$$K_{ПС} = 141,88 + 51,63 + 57,53 = 251,04 \text{ (млн.руб)}$$

Определяем капиталовложения на сооружения ВЛ для подходов к ПС
Транспортная:

$$K_{ВЛ} = K \cdot L \cdot K_{инф} \cdot K_p \quad (85)$$

где L - протяженность рассматриваемой ВЛ (км):

K - стоимость сооружения одного километра ВЛ в ценах 2000 года:

$$K_{ВЛ} = 0,4 \cdot 1,28 \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 2,85 \text{ (млн.руб)}$$

Общие капиталовложения:

$$K = K_{ВЛ} + K_{ПС} \quad (86)$$

$$K = 251,04 + 2,84 = 253,88 \text{ (млн.руб)}$$

Издержки на эксплуатацию и ремонт электрооборудования, а также амортизацию вычисляются по формуле:

Издержки на амортизацию определяются по формуле:

$$I_{АМ} = K_{ВЛ} \cdot \alpha_{ам1} + K_{ПС} \cdot \alpha_{ам2} \quad (87)$$

– нормы отчислений на амортизацию в год, о.е;

капитальные вложения.

Нормы отчислений на амортизацию определяются:

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

где $T_{сл}$ - срок службы оборудования (для ВЛ 15 лет, для ПС 20 лет.)

$$I_{АМ} = 2,84 \cdot \frac{1}{15} + 251,04 \cdot \frac{1}{20} = 12,74 \text{ (млн.руб)}$$

Определяем эксплуатационные издержки:

$$I_{\text{ЭКС}} = I_{\text{ЭКС.ВЛ}} + I_{\text{ЭКС.ПС}} = \alpha_{\text{ЭКС.ВЛ}} \cdot K_{\text{ВЛ}} + \alpha_{\text{ЭКС.ПС}} \cdot K_{\text{ПС}} \quad (89)$$

где $\alpha_{\text{ЭКС.ВЛ}} = 0,8\%$ – норма отчислений на ежегодную эксплуатацию и ремонт ВЛ 35 кВ и выше на стальных и железобетонных опорах.

$\alpha_{\text{ЭКС.ПС}} = 5,9\%$ – норма отчислений на ежегодную эксплуатацию и ремонт подстанций для оборудования ПС номинальным напряжением до 150 кВ (кроме ГЭС).

$$I_{\text{ЭКС}} = 0,008 \cdot 2,84 + 0,059 \cdot 251,04 = 14,83 \text{ (млн.руб)}$$

Далее проводим расчет полных ежегодных затрат:

$$I_{\Sigma} = I_{\text{ЭКС}} + I_{\text{АМ}} \quad (90)$$

$$I_{\Sigma} = 14,83 + 12,74 = 27,57 \text{ (млн.руб)}$$

Таким образом проведен расчет суммарных капиталовложений при подключении ПС Транспортная к системе внешнего электроснабжения которые составили 253,88 миллионов рублей при этом ежегодные издержки составили 27,57 миллионов рублей

14 ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПС ТРАНСПОРТНАЯ

В качестве защит, устанавливаемых на трансформаторах ПС Транспортная принимаем следующие:

Дифференциальная поперечная защита – основная защита от однофазных и многофазных коротких замыканий как внутри трансформатора, так и на его выводах

Газовая защита – основная защита от однофазных и многофазных коротких замыканий внутри трансформатора

Максимальная токовая защита – резервная защита многофазных коротких замыканий как внутри трансформатора, так и на его выводах

Защита от перегрузки – защита, предупреждающая перегрузку трансформатора свыше номинального тока.

Рассмотрим расчет и выбор уставок указанных защит.

14.1 Дифференциальная защита

Выбираем коэффициенты трансформации ТТ с учетом условия:

$$I_{1ТТ} \geq I_{ТТН} \quad (91)$$

где $I_{ТТН}$ – номинальный ток I стороны трансформатора, А. Принимаем ближайшее наибольшее стандартное значение и определяем номинальный коэффициент трансформации ТТ $K_{ТА}$.

Находим вторичные токи ТТ в номинальном режиме:

$$I_{2ПТТ} = \frac{I_{ТНОМ}}{K_{ТА}} \quad (92)$$

При внешних КЗ дифференциальный ток срабатывания должен удовлетворять условию:

$$I_{dsp} \geq K_{ОТС} \cdot I_{НБР} \quad (93)$$

$$I_{НБР} = K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РЕГ} + \Delta f_{ВЫР} \quad (94)$$

где $K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки, $K_{ОТС} = 1,1$;

$K_{ПЕР}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс;

ε – полная относительная погрешность ТТ, $\varepsilon = 0,1$ о.е.;

$\Delta U_{РЕГ}$ – относительная погрешность, вызванная регулированием напряжения трансформатора, $\Delta U_{РЕГ} = 0,02$ о.е.;

$\Delta f_{ВЫР}$ – относительная погрешность выравнивания токов плеч, $\Delta f_{ВЫР} = 0,02$ о.е.

Требования к ТТ дифференциальной защиты трансформаторов можно сформулировать следующим образом:

$$K_{10} \wedge = \frac{I_{НОМТТ} \cdot K_{10}}{I_{ТНОМi}} \geq \frac{I_{КЗВНМ}}{I_{ТНОМi}} \quad (95)$$

где $I_{НОМТТ}$ – номинальный ток первичной обмотки ТТ;

K_{10} – наибольшая кратность первичного тока ТТ;

Далее вычисляют коэффициент торможения:

$$K_{Т1} = \frac{K_{ОТС} \cdot I_{НБР} \cdot I_{СКВ} - 0,7}{I_{СКВ} - I_{ТР}} \quad (96)$$

Для силовых трансформаторов и автотрансформаторов, со стороны НН которых подключены токоограничивающие реакторы, принимают $I_{СКВ} = 3$,

$K_{ПЕР} \wedge = 1,5$, $K_{ПЕР} \ddot{=} = 2,5$

$$I_{ТАСЧ} = 1,25 + \frac{0,7 - I_{d\min}}{K_{Т1}} \quad (97)$$

Значения $I_{d\min}^*$ и $K_{Т1}$ при начальном приближении (принимается тормозная характеристика №3) выбираются из технического паспорта защиты.

Выбираем трансформаторы тока:

$$I_{BH} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50,2 \text{ (A)}$$

$$I_{HH} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 549,86 \text{ (A)}$$

$$I_{2BH} = \frac{50,2}{75} \cdot 5 = 3,34 \text{ (A)}$$

$$I_{2HH} = \frac{549,86}{600} \cdot 5 = 4,58 \text{ (A)}$$

Расчетный ток небаланса.

$$I_{НБР} = 2,5 \cdot 0,1 + 0,02 + 0,02 = 0,29$$

$$I_{dsp} \geq 1,1 \cdot 0,29 = 0,319$$

$$I_{d\min} = 1,25 \cdot K_{OTC} \cdot (K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РЕГ} + \Delta f_{ВЫР}) = 0,261$$

Принимаем:

$$I_{d\min} = 0,3 \text{ о.е.}$$

$$K_{T1} = \frac{1,1 \cdot 0,29 \cdot 3 - 0,7}{3 - 2,25} = 0,61 \quad (98)$$

Принимаем тормозную характеристику №4.

14.2 Газовая защита

В данном разделе выбираем газовое реле для силового трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА на подстанции Транспортная, данная защита используется только на трансформаторах, имеющих масляное охлаждение т.е. основной и расширительный бак.

Данная защита является очень чувствительной при повреждениях внутри трансформатора в частности на обмотках при различного рода коротких

замыканиях в том числе и витковых коротких замыканиях с возникновением электрической дуги либо значительным нагревом элементов.

При этом в районе где происходит дуговое замыкание производится разложение масла на составляющие, при значительном газообразовании и повреждении элементов. Расширяющиеся газы создают высокое давление, под действием которого они начинают движение в сторону расширителя.

Образование газов внутри корпуса трансформатора является очень опасным так как может привести к разгерметизации и повреждению трансформатора с разливом масла и его последующим возгоранием, данный факт может привести к значительным экономическим и техническим потерям.

Для исключения данной ситуации между основным баком трансформатора и расширителем устанавливается газовое реле, через которое проходят эти газы, движение потока масла и газа задействует его чувствительные элементы, в частности лопатки и происходит замыкание контактов с отключением трансформатора от сети. Работа газовой защиты является очень быстрой и оборудование не успевает получить значительные повреждения. Следует отметить то что после отключения трансформатора следует взводить отсечной клапан, который разделяет основной бак трансформатора от расширителя.

В качестве газового реле применяем реле РГЧЗ для трансформаторов ПС
Транспортная

14.3 Защита от перегрузки

Ток срабатывания защиты от перегрузки на ПС Транспортная с действием на отключение определяется следующим образом:

$$I_{C3} = \frac{k_{omc}}{k_e} \cdot I_{номВН} \quad (99)$$

$$I_{C3T1} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 50,2 = 65,89 \text{ (A)}$$

где k_{omc} – коэффициент отстройки принятого типа реле.

k_e – коэффициент возврата принятого типа реле

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = \frac{65,89}{(75/5)} = 4,39 \text{ (А)}$$

14.4 Максимальная токовая защита

Максимальная токовая защита устанавливается на всех трансформаторах 35 кВ ПС Транспортная.

Ток срабатывания защиты на стороне 35 кВ трансформаторов ПС Транспортная:

$$I_{CЗ} = \frac{k_n \cdot k_{сам}}{k_e} \cdot I_{номВН} \quad (100)$$

$$I_{CЗГ} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,8} \cdot 50,2 = 112,95 \text{ (А)}$$

где k_i – коэффициент надежности;

$k_{сам}$ – коэффициент само запуска;

$$k_u = \frac{I^{(3)}_к}{I_{CЗ}} \quad (101)$$

$$k_u = \frac{21,45 \cdot 10^3 \cdot (10,5/115)}{112,95} = 17,5$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = \frac{112,95}{(75/5)} = 7,53 \text{ (А)}$$

Защита проходит проверку по чувствительности.

15 АВТОМАТИКА ВВОДА РЕЗЕРВА

В данной работе устройство АВР применяется как на стороне низкого напряжения 10 кВ ПС Транспортная для увеличения параметров надежности электроснабжения потребителей. Рассмотрим подробно данное устройство.

Система АВР — это оборудование для автоматического ввода резерва. Такое устройство при нарушении параметров тока в основной сети самостоятельно производит переключение нагрузки на резервный ввод. При этом в качестве резервного источника выступает другая секция шин. В некоторых случаях наличие резервного питания и системы его ввода является обязательным.

Назначение АВР и требования к нему.

Главное назначение устройства АВР заключается в обеспечении бесперебойного питания электроэнергией потребителей. Для этого система АВР должна отслеживать состояние основного питания. И при выявлении нарушений переходить на подачу электроэнергии потребителю от резервного ввода. При этом процесс восстановления электропитания должен происходить максимально быстро. Обязательным условием является однократность выполняемого действия. То есть не должно быть повторных срабатываний в случае одной и той же неисправности (не устранённые токи короткого замыкания и т.п.). Еще один важный момент - разрыв основной сети должен происходить до подключения резервной линии. обо всех изменениях устройство АВР должно информировать с помощью индикации параметров.

Принцип работы АВР.

При любых отклонениях от заданных параметров автоматика дает команду на смену ввода. Таким отклонением от нормы может стать перенапряжение, падение напряжения, обрыв сети, перекос фаз или короткое замыкание. При этом устройство АВР проверяет выполнение целого ряда дополнительных условий. Во-первых, на защищаемом участке не должно быть не устранённых неисправностей, иначе подключение резерва не имеет смысла и

даже может представлять опасность. Во-вторых, основной ввод должен быть включен. Чтобы исключить ситуацию, когда не напряжение на основной линии пропало, а сам ввод был отключен намеренно. В третьих, проверяется наличие напряжения на резервной линии, ведь вторая секция может быть обесточена или требуется время для подачи напряжения.

Если все условия удовлетворяются, устройство АВР размыкает основной ввод. Только после этого подключается резервный (секционный). Далее принцип работы АВР может развиваться по двум сценариям. Если предполагается наличие двух равноценных вводов, то будет осуществляться питание от резерва. В противном случае произойдет возврат на основной ввод, когда параметры электрического тока на нем восстановятся.

Компоненты АВР.

С технической точки зрения устройство АВР состоит из логической и коммутационной части. Первая из них отвечает за принятие решений, а вторая выполняет механическую функцию, то есть осуществляет переключение на практике. Но задач у автоматики несколько, поэтому стоит рассмотреть компоненты АВР более детально. На каждом из вводов находятся измерительные органы. При этом измерительная часть имеет регулируемую уставку, чтобы можно было задавать верхнюю и нижнюю границу рабочего напряжения. В задачи измерительной части входит постоянный контроль того или иного ввода.

Что касается логического реле, то оно тоже имеет регулировку выдержки срабатывания. К логической части также относится цепь однократности, которая представляет собой двухпозиционное реле. Еще один немаловажный элемент АВР - индикаторная (сигнальная) часть. Она реализуется на основе указательных реле. По сути, это важная составляющая защитной функции АВР, поскольку информирует обо всех изменениях и неисправностях в работе.

В отношении силовой части стоит сказать, что она может быть собрана на контакторах или автоматических выключателях. В любом случае силовая часть должна полностью исключать возможность одновременного включения обоих

вводов. Это возможно только при использовании сразу двух типов блокировки - электронной и механической.

Типовые схемы АВР.

Схема АВР на два ввода. Это самый простой вариант организации системы АВР. Реализуется на основе двух выключателей. В трехфазной сети схема строится с использованием реле контроля фаз. Принцип действия АВР на два ввода максимально простой. В нормальном режиме электрический ток подается через первый ввод. В случае нарушений контакт на первом вводе разомкнется, а на втором замкнется. Затем происходит обратный процесс, когда напряжение на основном вводе снова появляется. Особенность данной схемы заключается в том, что всегда существует приоритет первого ввода.

На ПС Транспортная принимаем устройство АВР с приоритетом питания от рабочего ввода на стороне 10 кВ, а так же принимаем автоматику восстановления нормального режима ВНР, т.е. при появлении стабильного напряжения на рабочем вводе она переводит питание секции на основное питание.

16 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета (АИИСКУЭ) предназначена для организации учета энергоресурсов у различных субъектов: генерирующих и сетевых компаний, гарантирующих поставщиков и крупных потребителей электроэнергии.

Рассмотрим структуру информационно-измерительной системы контроля и учета эклектической энергии, которая имеет в себе измерительные комплексы всех точек учета электроэнергии, также она обладает вычислительными комплексами среднего уровня, вычислительными комплексами высшего уровня.

Следует отметить что имеются и системы более сложного уровня которые могут обладать общим центром сбора и обработки данных для их объединения и иерархии в различных локальных системах учета электроэнергии.

В составе информационной измерительного комплекса используются счетчики электрической энергии различных производителей, используются специальные измерительные трансформаторы тока и напряжения, которые отвечают техническим требованиям оптового рынка электроэнергии и мощности и обладающие метрологической аттестацией.

Для объединения всех данных на уровне информационно вычислительного комплекса электроэнергии и мощности в частности отдельных подстанций и распределительных устройств либо линии электропередач собственных нужд промышленного предприятия используются специальные устройства которые будут обеспечивать периодический опрос устройств учета электроэнергии а также сохранение данных на необходимую величину, также в характеристики данных устройств относится синхронизация измерений с помощью специального приемника использующего единое время.

Информационно-вычислительный комплекс представляет из себя с определенную базу данных куда собирается значительное количество информации и обладающий пользовательским интерфейсом, необходимая функциональность на уровне информационно-вычислительной системы обеспечивается благодаря программному комплексу, который включает в себя различного рода инструменты. Для конфигурации системы используется программа для сбора и передачи данных к разным устройствам, так же используются и визуальный интерфейс для отдельных групп либо точек учета электроэнергии. В роли программной платформы для данного сервера используются различные операционные системы Microsoft.

Также рассмотрим различные каналы связи между информационным и вычислительным комплексом, в качестве которого может использоваться локальная вычислительная сеть либо определённые выделенные коммутируемые каналы связи, телефонные сети, либо сети общего назначения, также сюда можно отнести различные каналы GPS, спутниковые каналы связи и другие.

Объекты учета электроэнергии, которые не оборудуются каналами связи могут быть опрошенные вручную с использованием специального программного обеспечения которое также входит в состав комплекса.

Принимаем к установке на ПС Транспортная устройства АИИСКУЭ для определения количества потребляемой электрической энергии и передачи информации на основной сервер

17 ТЕЛЕМЕХАНИКА

На ПС Транспортная для управления процессом переключения коммутационными аппаратами используются средства телемеханики.

Подробно рассмотрим термин телемеханики, она включает в себя объединение как технического оборудования, так и программного обеспечения с целью обеспечения возможности передачи информации, либо сигналов от различных объектов, система позволяет осуществить схему управления оборудованием различных объектов.

В данном разделе будут рассматриваться такие вопросы как характеристика системы телемеханики электроэнергетических объектов в данном случае трансформаторной подстанции Транспортная

Телемеханику можно назвать автоматической системой управления технологическими процессами, включая процессы управления электротехническим оборудованием включая системы автоматического управления, средства технического управления, комплексы которые предназначены для сбора, анализа, обработки, хранения различного рода информации касающейся работы электротехнического оборудования, также в данную систему входят различные щиты управления, пульта управления либо панели на которых расположены переключающие устройства и измерительные приборы.

Передача информации между различными системами телемеханики различных объектов выполняется с помощью различных беспроводных сетей либо проводной системы связи также могут использоваться каналы высокочастотной связи, либо линии оптоволоконной связи.

Требования к системам телемеханики заключается в том, что они должны обеспечивать высокую точность, также повышенную скорость и обладать высокой надежностью при передаче информации, а также сигналов для управления коммутационными аппаратами на трансформаторной подстанции которая рассматривается в данном разделе.

К задачам которые решаются системой телемеханики являются очень быстрая фиксация всех процессов которые происходят в электрооборудовании, изменение их состояния и изменения их нагрузки также температурный режим это обеспечивается интерфейсом программного комплекса.

Особенностью данного устройства является возможность управления в тех местах где нахождение человека невозможно, например, при различного рода аварийных ситуациях либо погодных явлениях.

Основные достоинства устройства телемеханики это её главный плюс отсутствие зависимости от протяжённости между объектом управления и центром управления, благодаря такой системе в объектах электроэнергетики в частности на рассматриваемой трансформаторной подстанции, контроль над электротехническим оборудованием может выполняться с любой точки региона, между различными объектами, к примеру такая система управления может быть организована даже если объекты находятся на значительном расстоянии например в различных областях Российской Федерации.

Дополнительной особенностью устройства телемеханики является возможность контролировать работу оперативно технического персонала например при выполнении каких-либо переключений в электроустановках, на трансформаторной подстанции, либо в частности при ликвидации последствий аварийных ситуаций, либо технологических нарушений, воздействию погодных факторов, человеческих фактора, оперативный персонал может допускать ошибки при этом персонал контролирующей выполнение всех операций может отдавать команды оперативному персоналу непосредственно с пульта управления и контролировать весь процесс выполнения оперативных переключений.

При наличии каких-либо ошибок в действиях оперативного персонала диспетчера, который производит контроль этих переключений, своевременно может известить оперативный персонал и предупредить его о возможном возникновении аварийной ситуации.

Вывод в ремонт трансформатора собственных нужд, оперативный персонал, выполняющий переключения, заканчивает все необходимые операции операция но операции по заземлению он выполняет только после того как вышестоящий дежурный персонал проверит по устройствам телемеханики выполнение всех проверочных операций включая проверку отсутствия напряжения, проверку отключенного положения выключателя либо разъединителя.

При этом в зависимости от того насколько сложные переключения проверочные операции могут выполняться многократно.

Дополнительной особенностью средств телемеханики являются экономия денежных средств, материальных средств, так как как значительно снижаются затраты на содержание обслуживающего персонала, на его периодические выезды для осмотра электрооборудования, на считывание информации, все эти процессы могут происходить дистанционно благодаря средствам телемеханики, все управляющие воздействия могут выполняться дистанционно с помощью данного комплекса.

Следует отметить что выезд бригады либо одного человека на объект занимает значительное количество времени, также для оперативного персонала требуется время для того чтобы обнаружить неисправность, зафиксировать в журнале и довести до сведения о ней вышестоящему оперативному персоналу, при этом устройство телемеханики позволяют ускорить этот процесс в несколько раз без выезда оперативного персонала.

При использовании дистанционной системы управления технологическим процессом либо электротехническим оборудованием все операции производятся довольно быстро по сравнению с выездом оперативной бригады, в случае возникновения аварийной ситуации данный факт является очень актуальным.

Рассмотрим также недостатки данной системы сюда включается уязвимость то есть система может быть уязвима либо полностью либо быть уязвимым какой-либо из её элементов и он может выйти из строя что приведет

к различного рода сбоям в работе, некорректной работе, наличию каких-либо ложных сигналов, либо полной неработоспособности. Современные устройства телемеханики позволяют избегать данных фактов В связи с тем что они очень надежны и сбой встречаются крайне редко.

Устройства телемеханики на трансформаторной подстанции значительно сокращает время обслуживания электрооборудования, время осмотра электрооборудования нескольких трансформаторных подстанций благодаря системе телемеханики значительно сокращается, необходимость в периодическом осмотре этих распределительных устройств оперативным персоналом, при этом этот персонал может заниматься какой-либо другой более важной работой и не отвлекаться на считывание информации и заполнение оперативного журнала.

Наличие оперативного персонала на трансформаторной подстанции необходимо лишь в случае выхода из строя устройств телемеханики, либо в случае возникновения какой-либо аварийной ситуации связанной с аварией в энергосистеме либо каких погодных условиях, при этом персонал является необходимым для выполнения операции, в том случае если устройство телемеханики не может заменить его в полном объеме, таким образом устройства телемеханики очень хорошо дополняют работу оперативного персонала и в значительной степени повышает надежность систем электроснабжения трансформаторной подстанции рассматриваемого объекта.

18 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Для автоматизации управления электротехническим оборудованием в данной работе рассматриваются специальный комплекс который предназначен для этой задачи – АСУ ЭТО.

Данный комплекс включает в себя программно-технический комплекс ПТК который будет решать различные задачи по сбору, обработке и анализу, визуализации, хранению и передаче различной важной информации об автоматизированном управлении оборудованием трансформаторной подстанции. Также данный комплекс будет выполнять анализ соответствия действий оперативного персонала по контролю и управлению технологическим процессом подстанции и взаимодействие с ПТК.

В работе данного комплекса учитывается сложность и ответственность, различные функции управления автоматизированной системы управления подстанции, работа сложных и ответственных составляющих, включающих оперативное управление, автоматическое регулирование и релейную защиту.

Полная автоматизированная система управления подстанцией называется интегрированной системой управления.

В состав автоматизированной системы управления трансформаторной понижающей подстанцией включаются следующие функции:

Оперативное управление, включает в себя такие функции как сбор и обработка различной дискретной и аналоговой информации, формирование обновления и корректировка базы данных, также сюда можно отнести аварийные ситуации их регистрация, запись различных переходных процессов и фиксации фактов и времени подачи управляющих команд, так же в функции входят - учет электрической энергии которая будет отпущена потребителям подстанции станции, либо передана соседним подстанциям, либо полученная от них. В данный тип управления входит контроль текущих значений различных параметров режима, определение перегрузки трансформаторного и иного

силового оборудования, контроль продолжительности работы в после аварийном режиме, к примеру в режиме перегрузки. Дополнительные функции включают контроль качества напряжения, контроль работы силового и другого измерительного оборудования, регистрация и расчет ресурсов оборудование их изоляции и динамических характеристик.

Дополнительные функции относящиеся к оперативному управлению являются: расчет ресурсов трансформаторов как силовых так и входящих в состав высоковольтных преобразователей частоты для питания асинхронных электродвигателей насосов, также анализ аварийных ситуаций которые происходили во время эксплуатации электрооборудования, контроль за электро потреблением - сюда можно отнести составление в автоматическом режиме бланков переключений, контроль состояния оперативного тока и контроль за охлаждением силовых трансформаторов собственных нужд.

Оперативное управление также выполняется с целью контроля системы автоматического пожаротушения, определения места повреждения кабельной линии электропередачи, питающей данную трансформаторную подстанцию, составление различного рода ведомостей включая суточную. Также сюда относятся и передача сигналов телеизмерения, и передача данных на диспетчерские пункты различных уровней управления, реализация команд управления посредством телемеханики коммутационными аппаратами и различными другими средствами управления, организация каналов необходимых для связи с диспетчерским пунктами и оперативно выездными бригадами.

Автоматическое управление — это управление потреблением активной энергии, реактивной энергии, а также составом электрооборудования включая трансформаторы, оптимизация количества работающих трансформаторов с целью минимизации потерь активной энергии, также в состав автоматического управления входит управление нагрузкой в режимах работы таких как нормальный режим и после аварийный режим, сюда также относится и автоматическое повторное включение, и автоматический ввод резерва.

Релейная защита - в этот комплекс включается защита всех объектов трансформаторной подстанции также их диагностика и проверка, автоматика и адаптация, анализ её работы и анализ работы сигнализации, резервирование отказа выключателя.

Широко используется цифровая техника которая обладает следующими преимуществами: благодаря использованию данной техники повышается надежность всех функций управления, благодаря тому что происходит периодическая диагностика системы и расширения возможностей с использованием всего объема информации также улучшается контроль за оборудованием подстанции, сокращается избыточность цепей и информации, которая необходима для повышения уровня надежности, появляется возможность корректировки исходной информации благодаря объему собираемой информации, из-за увеличения объемов поступающей в систему информации появляется возможность выбирать и определять наиболее обоснованные решения при выполнении каких-либо команд, онлайн применение различного рода адаптивных систем релейной защиты и управления, использование специальных датчиков высокой точности и волоконно-оптических систем приводит к возможности реализации новых прогрессивных технических средств.

Автоматизированная система управления трансформаторной подстанцией использует многомашинные распределенные комплексы, которые базируются на локальных вычислительных сетях, при этом микропроцессоры, которые включаются в эти комплексы могут выполнять различные основные и вспомогательные функции которые включают в себя связь между диспетчерским пунктом и объектом управления.

Рассмотрим различные функции которые будут выполняться при управлении трансформаторной подстанцией с помощью многомашинной микропроцессорной техники, сюда можно включить обработку информации и ее сбор, также отображение и документирование, различный контроль величин электрических так и неэлектрических, которые могут выходить за допустимые

пределы, передача на верхний уровень управления различного рода информации, проведение различных вычислений, автоматическое управление оборудованием подстанции как в нормальном так и после аварийном режиме работы.

Так как устройства релейной защиты и автоматики являются очень ответственным, поэтому к ним прилагаются повышенные требования по надежности и быстродействию, при отказе данных систем возможны аварийные ситуации поэтому их надежность очень высока.

В автоматизированной системе управления трансформаторной подстанцией имеется диалоговая система, которая должна обеспечивать общение различного рода пользователей, включая оперативный персонал, который будет пользоваться данной системой. Применяемый язык общения наиболее близко приближен к естественному языку при этом для специалистов, которые будут заниматься настройкой изменением уставок, проверкой, применяется более сложный специализированный язык, самый сложный язык общения применяется для специалистов вычислительной техники.

Автоматизированная система управления трансформаторной подстанцией контролирует состояние оборудования то есть его включенное и отключенное положение, также под контролем находятся текущее значение различного рода величин которые находятся в допустимых пределах либо вышли из этих пределов, контролируется состояние средств управления их исправность, таких как релейная защита, противоаварийная автоматика, контроль величины перегрузки трансформаторов и питающих кабельных линий, разница в загрузке трансформаторов при включении их на параллельную работу.

Дополнительной функцией автоматизированной системы управления является регулировка напряжения на трансформаторной подстанции путем включения устройства компенсации реактивной мощности либо на полную мощность либо на ее часть, сюда также относятся оперативные переключения по заданной программе, блокировка управления коммутационными аппаратами трансформаторов, для уменьшения величины потерь электроэнергии при малых

нагрузках, автоматизированное управление сюда относится снятие показаний счетчиков электрической энергии.

В дополнительные функции автоматизированной системы управления трансформаторной подстанции включается релейная защита: такая как устройство резервирования при отказе выключателя, автоматический ввод резерва и восстановления нормального режима. При помощи микропроцессорных устройств реализуется автоматизированное повторное включение под напряжение секции шин, которые были обесточены, контролируется выдержка времени для бестоковой паузы, которая рассчитывается из условий тяжести короткого замыкания, предшествовавшего отключению питания, система контролирует выбор элементов откуда может подаваться напряжение на трансформаторную подстанцию, которая осталась без напряжения из-за действия защиты минимального напряжения. Система рассчитывает уровни токов короткого замыкания определяют их минимальный уровень из чего исходит для подачи напряжения на обесточенную подстанцию.

19 ДУГОВАЯ ЗАЩИТА ШИН НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Опасность возникновения электрической дуги в энергоустановках заключается в том, что это явление способно в течение нескольких секунд нанести непоправимый вред оборудованию. Чтобы не допустить аварийных ситуаций, на РУ ПС Транспортная применяется защита от дуговых замыканий (ЗДЗ) – специальное реле, которое в нужное время срабатывает и отключает оборудование.

Идеальными условиями для срабатывания дуговой защиты являются неотапливаемые помещения.

Если вовремя не принимаются меры, то необратимо выходят из строя целые секции распредустройства с глубокими повреждениями механического и термического характера. В электроустановках возникают очаги возгорания.

При этом предприятие несет большие убытки в виде повреждений дорогостоящего оборудования, возможных травм персонала, незапланированных простоев в работе.

Уровень причиненного ущерба зависит от качества и типа изоляционных материалов, величины тока короткого замыкания и длительности его воздействия

20 УСТРОЙСТВО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ОТКАЗА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

На ПС Транспортная в качестве автоматического устройства применяется УРОВ, предназначенное для отключения короткого замыкания при неисправности и отказе выключателя.

Случаи отказа выключателя либо в случаи отказа релейной защиты в отключение не являются редкими и приводят к тяжелым последствиям

При этом при не отключенном коротком замыкании происходит очень серьезное повреждение оборудования либо происходят травмы или гибель обслуживающего персонала, поэтому в данной работе рассматриваются устройство резервирования при отказе выключателя которая предназначена для борьбы с данной проблемой.

Для отключения короткого замыкания выключателем применяются несколько способов резервирование в частности это отключение смежными выключателями, которые расположены с обеих сторон от резервируемого выключателя. Дополнительное резервирование осуществляется с другими защитными элементами, которые расположены на других выключателях указанной подстанции. В качестве защиты используются основная и резервная которые резервируют друг друга при возникновении коротких замыканий. Устройство резервирования при отказе выключателя запускается в том случае если короткое замыкание не отключается выбранным выключателем.

Обязательным условием для работы устройства резервирования при отказе выключателя являются два фактора в частности это срабатывания защиты и превышение времени работы аварийного процесса свыше определенной уставки, то есть при условии неотключения выключателем тока короткого замыкания. Время работы УРОВ отсчитывается на момент подачи команды на включение выключателем короткого замыкания от основной защиты при этом выдержка времени является очень небольшой сюда учитывается время срабатывания механической части выключателя и его собственное время отключения.

Для повышения надежности схемы, устройство резервирования при отказе выключателя использует специальные дополнительные контакты на ключах управления, используется специальная дополнительная цепь для отключения выключателя от УРОВ которая не зависит от других защит.

В данном случае на ПС Транспортная используются специальные микропроцессорные терминалы, в которые включена функция устройства резервирования при отказе выключателя, она может выводиться и выводиться при необходимости, а также при выполнении каких-либо оперативных переключений либо выводе в ремонт оборудования. Использование УРОВ в одном блоке с остальными защитами увеличивает надежность работы данной защиты, а также других остальных защит, которые смежных с данной защитой. Данная защита нуждается в периодические проверки своих уставок. Следует отметить что вывод из работы устройства резервирования при отказе выключателя должен выполняться по специальным составленным заранее программам.

21 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

В данной ВКР рассмотрен вариант проектирования и подключения подстанции Транспортная напряжением 110/10 кВ к существующим электрическим сетям. Выполнено обоснование конструкции распределительных устройств всех номинальных напряжений данной подстанции. Произведен расчет рабочих токов нагрузки и токов короткого замыкания в характерных точках. Произведен выбор основного электротехнического оборудования для всех распределительных устройств. Выбраны провода линий электропередачи для питания рассматриваемой ПС.

21.1 Безопасность

Рассмотрим основные требования техники безопасности при различного рода работах в электроустановках при строительстве ПС Транспортная:

Общие требования охраны труда при работе в действующих электроустановках:

Работы в действующих электроустановках на ПС Транспортная должны проводиться:

- по заданию на производство работы, определяющему содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и работников, ответственных за безопасное выполнение работы - наряду-допуску;

- по распоряжению;

- на основании перечня работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.

Не допускается самовольное проведение работ в действующих электроустановках, а также расширение рабочих мест и объема задания, определенных нарядом-допуском, распоряжением или утвержденным работодателем перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации

Выполнение работ в месте проведения работ по другому наряду-допуску должно согласовываться с работником, выдавшим первый наряд. Согласование

оформляется до начала подготовки рабочего места по второму наряду записью «Согласовано» на лицевой стороне второго наряда-допуска, располагаемой в левом нижнем поле документа с подписями работников, согласующих документ.

В электроустановках напряжением до 1000В на ПС Транспортная при работе под напряжением необходимо:

- снять напряжение с расположенных вблизи рабочего места других токоведущих частей, находящихся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение, или оградить их;

- работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на резиновом диэлектрическом ковре;

- применять изолированный или изолирующий инструмент, предназначенный для работ под напряжением на токоведущих частях, и пользоваться диэлектрическими перчатками.

- Не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры и другие металлические инструменты и приспособления, не предназначенные для выполнения работ под напряжением.

Не допускается при работе около не ограждённых токоведущих частей располагаться так, чтобы эти части находились сзади работника или по обеим сторонам от него.

Работа в электроустановках должна производиться с применением электрозащитных средств, предназначенных для выполнения конкретного метода работ и класса напряжения электроустановки.

Работники, работающие в помещениях с электрооборудованием на ПС Транспортная (за исключением щитов управления, релейных и им подобных), в ЗРУ и ОРУ, в подземных сооружениях, колодцах, туннелях, траншеях и котлованах, а также участвующие в обслуживании и ремонте ВЛ, должны пользоваться защитными касками.

Безопасность при работе по наряду допуску:

При работе в действующих электроустановках на ПС Транспортная, работы должны осуществляться по наряду, который выписывается в двух экземплярах, если он передается по телефону, то в трех. При этом лицо выдающее наряд должно выписать один экземпляр, а лицо принимающее текст, два экземпляра фамилии и инициалов, выдающего наряд.

Количество нарядов, которые могут быть выданы одному ответственному руководителю работ должен определять человек выдающий наряд. Допускается выдавать наряд на срок не более 15 дней со времени начала работы при этом он может быть продлён единовременно на такой же срок, при этом при перерыве в работе наряд остается действительным.

В случае если работы в электроустановке полностью закончены, то наряд по данным работам должен храниться в течение 30 суток, после чего может быть уничтожен, при условии, если во время работы не имели место аварии и инциденты либо несчастные случаи.

В электроустановках выше 1000 В на ПС Транспортная допускается выдавать один наряд на одновременную работу на всех присоединениях секции шин со всех токоведущих частей которой снято напряжение, в том числе на вводах воздушных и кабельных линий.

В распределительных устройствах напряжением от 3 до 110 кВ с одиночной системой шин на ремонт всей секции допускается выдавать один наряд на присоединение всей этой секции для рассредоточения членов бригады.

Для выполнения однотипной работы на нескольких подстанциях допускается выдавать один наряд для выполнения этой работы, например, это может быть отбор проб масла, доливка масла, переключение обмоток трансформаторов, проверка устройств релейной защиты и так далее, срок такого наряда ограничивается одними сутками.

Безопасность при работе по распоряжению

В электроустановках до 1000 В на ПС Транспортная может выполняться работа по распоряжению, которое имеет разовый характер, продолжительность и его действие ограничивается временем рабочего дня производителей, после

окончания рабочего дня распоряжение должно быть закрыто, либо отдаваться заново, при этом в случае перерыва в работе в течение рабочего дня, производитель работ осуществляет повторный допуск бригады к работе.

Распоряжение отдается непосредственно лицу, выполняющему работу, а также оно отдается и допускающему, в том случае если на электроустановке нет оперативного персонала, допуск на рабочем месте не требуется и распоряжение отдаётся непосредственно работнику, который должен выполнять указанную работу.

В электроустановках до 1000 В оперативный и оперативно-ремонтный персонал может выполнять неотложные работы продолжительностью не более часа, без учёта времени на подготовку рабочего места в электроустановке, в случае если работа требует времени более одного часа то она должна выполняться по наряду.

Безопасность при работе в порядке текущей эксплуатации:

В электроустановках до 1000 В на ПС Транспортная могут выполняться небольшие по объёму виды работ в течение рабочего дня, либо рабочей смены, которые разрешены к выполнению в подписанном заранее техническом документе который подписывает главный инженер предприятия. В нем указываются определенные требования по технике безопасности, в частности данные работы распространяются только на электроустановки до 1000 В и могут выполняться только силами оперативного либо оперативно-ремонтного персонала на закрепленном за этим персоналом оборудовании.

Такого рода работа является разрешённой и не требует каких-либо пояснений, либо указаний для её выполнения также не требуется выполнение целевого инструктажа.

В перечне разрешённой работы, должны содержаться указания, которые определяют виды работ, выполняемых бригадой.

Также в данном документе должен быть указан порядок регистрации работ, которые выполняются по данной методике, должно быть указано в уведомление оперативного персонала, который непосредственно управляет

ремонтным персоналом, а также характер работы, её начало и окончание и оформление записи в оперативном журнале.

21.2 Экологичность

В соответствии с ПУЭ для предотвращения загрязнения окружающей территории при аварийном выбросе трансформаторного масла и предотвращения распространения пожара в данной работе предусматривается сооружение маслоприемников на силовых трансформаторах ПС Транспортная.

На подстанции Транспортная устанавливаются 2 трансформатора марки ТДН 10000/110/10 с размерами (м) 5,8×3,5×5,3 и массой масла 10,2 т.

1) Габариты маслоприемника выступают за габариты трансформатора на 1,5 м (при массе масла от 10 до 50 тонн) [20].

2) Маслоприемники должны предусматриваться закрытого типа, вмещающие полный объем масла, а также 80 % общего (с учетом 30-минутного запаса) расхода воды от средств пожаротушения [20].

Маслоприемники выполняем с установкой металлической решетки на маслоприемнике, поверх которой насыпан гравий или щебень толщиной слоя 0,25 м [20].

3) Маслоприемник оборудуется сигнализацией о наличии воды с выводом сигнала на щит управления. Внутренние поверхности маслоприемника, защищены маслостойким покрытием

Определяем объем масла в трансформаторе по формуле [7]:

$$V_{трм} = \frac{M}{\rho} \quad (102)$$

где M – масса масла в трансформаторе согласно паспортным данным 10,2 тонны.

ρ – плотность масла 0,88 (т/м³)

$$V_{трм} = \frac{10,2}{0,88} = 11,59 \text{ (м}^3\text{)}$$

Определяем площадь маслоприемника по формуле [7]:

$$S_{mn} = (A + 2 \cdot \Delta) \cdot (B + 2 \cdot \Delta) \quad (103)$$

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

Δ – расстояние между боковой стенкой трансформатора и стенкой маслоприемника

$$S_{mn} = (5,8 + 2 \cdot 1,5) \cdot (3,5 + 2 \cdot 1,5) = 57,2 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площадь боковой поверхности трансформатора [7]:

$$S_{\delta n} = (A + B) \cdot 2 \cdot H \quad (104)$$

где H – высота трансформатора (м)

$$S_{\delta n} = (5,8 + 3,5) \cdot 2 \cdot 5,3 = 98,58 \text{ (м}^2\text{)}$$

Нормативный коэффициент пожаротушения K_n и нормативное время тушения t соответственно равны:

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

$$t = 1800 \text{ (сек)}$$

Определяем объем воды необходимый для тушения пожара [7]:

$$V_{H_2O} = K_n \cdot t \cdot (S_{mn} + S_{\delta n}) \cdot 10^{-3} \quad (105)$$

$$V_{H_2O} = 0,2 \cdot 1800 \cdot (57,2 + 98,58) \cdot 10^{-3} = 56,08 \text{ (м}^3\text{)}$$

Определяем объем маслоприемника необходимый для приема 100 % масла и 80 % воды [7]:

$$V_{mmH_2O} = V_{mpm} + 0,8 \cdot V_{H_2O} \quad (106)$$

$$V_{mmH_2O} = 11,59 + 0,8 \cdot 56,08 = 56,46 \text{ (м}^3\text{)}$$

Определяем глубину маслоприемника для приема всей жидкости V_{mmH2O} :

$$H_{mn} = \frac{V_{mmH2O}}{S_{mn}} \quad (107)$$

$$H_{mn} = \frac{56,46}{57,2} = 0,99 \text{ (м)}$$

Высота гравийной подушки согласно [20]:

$$H_z = 0,25 \text{ (м)}$$

Высота воздушной прослойки согласно [20]:

$$H_{en} = 0,05 \text{ (м)}$$

Полная высота маслоприемника [20]:

$$H_{nmm} = H_{mn} + H_{en} + H_z \quad (108)$$

$$H_{nmm} = 0,99 + 0,05 + 0,25 = 1,29 \text{ (м)}$$

21.3 Чрезвычайные ситуации

Пожарная безопасность на ПС Транспортная предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла.

Основными системами пожарной безопасности на ПС Транспортная являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Систему предотвращения пожара на ПС Транспортная составляет комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на исключение возможности возникновения пожара. Предотвращение пожара достигается: устранением образования горячей среды; устранением образования в этой среде источника зажигания; поддержанием температуры горячей среды ниже максимально допустимой; поддержание в горючей среде давления ниже максимально допустимого и другими мерами.

Противопожарная защита на ПС Транспортная обеспечивается [22]:

- максимально возможным применением негорючих, либо трудно горючих веществ и материалов вместо пожароопасных;
- ограничением количества горючих веществ и их размещения, изоляцией горючей среды от оборудования;
- предотвращением распространения пожара за пределы;
- применением средств пожаротушения;
- применением конструкции объектов регламентированными временем огнестойкости и горючестью;
- эвакуацией людей из пожара;
- системами оповещения о пожаре;
- применением пожарной сигнализации;
- организацией пожарной охраны объектов.

Предотвращение распространения пожара обеспечивается:

- устройством противопожарных преград (стен, зон, поясов, защитных полос, навесов и т.п.);
- установлением предельно допустимых площадей противопожарных отсеков и секций, кабельных полуэтажей;
- устройством аварийного отключения и переключения аппаратов и коммуникаций при повреждении;
- применением средств, предотвращающих разлив пожароопасных жидкостей при пожаре (трансформаторного масла);
- применением огнепреграждающих устройств (ОЗП);
- применением разрывных предохранительных мембран на агрегатах и коммуникациях.

Большое значение в обеспечении пожарной безопасности принадлежит противопожарным преградам, огнезащитным перегородкам. Противопожарные преграды предназначены для ограничения распространения пожара внутри рассматриваемого помещения. К ним относятся противопожарные стены, перекрытия, двери, перегородки.

Виды пожарной техники, применяемые на ПС Транспортная.

Пожарная техника, предназначенная для защиты электрооборудования, классифицируется на следующие группы: пожарные машины, средства пожарной и охранной сигнализации, пожарное оборудование, ручной инструмент, инвентарь и пожарные специальные устройства.

На ПС Транспортная применяются углекислотные огнетушители и тушение возгорания водой. Тушение пожара водой на ПС Транспортная является наиболее дешевым и распространенным средством. Попадая в зону горения, она нагревается и испаряется, отнимая большое количество теплоты от горящих веществ.

В качестве первичных средств пожаротушения применяется песок и огнетушители расположенный у каждого взрывоопасного оборудования в частности трансформаторов.

В РУ ПС Транспортная определены места хранения защитных средств для пожарных подразделений при ликвидации пожара и их необходимое количество. Применение этих средств для других целей не допускается.

Проезжую часть по территории ПС Транспортная необходимо содержать в исправном состоянии, а в зимний период регулярно очищать от снега.

В помещении закрытого распределительного устройства 10 кВ на ПС Транспортная переносные огнетушители размещаются на высоте не более 1,5 м от уровня пола, считая от нижнего торца огнетушителя. Допускается установка огнетушителей в тумбах или шкафах, конструкция которых должна обеспечивать доступ к нему [22].

Для размещения первичных средств тушения пожара в помещениях, на секциях РУ, а также на территории, устанавливаются пожарные щиты (посты). Запорная арматура углекислотных, химических, воздушно - пенных, порошковых и других огнетушителей должна быть опломбирована.

С наступлением морозов пенные огнетушители, находящиеся на улице, переносятся в отапливаемое помещение закрытого распределительного устройства 10 кВ. Углекислотные и порошковые огнетушители допускается

устанавливать на улице при температуре воздуха не ниже 20°C.

Запрещается установка огнетушителей любых типов непосредственно у обогревателей, горячих трубопроводов и оборудования для исключения их нагрева.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной ВКР был рассмотрен вариант проектирования и подключения подстанции Транспортная напряжением 110/10 кВ к существующим электрическим сетям. Выполнено обоснование конструкции распределительных устройств всех номинальных напряжений данной подстанции. Произведен расчет рабочих токов нагрузки и токов короткого замыкания в характерных точках. Произведен выбор основного электротехнического оборудования для всех распределительных устройств. Выбрана система микропроцессорной защиты силового трансформатора 110 кВ. Произведен расчет всех основных режимов работы электрической сети после подключения данного объекта. Рассчитано заземляющее устройство ПС Транспортная. Выбрана схема расстановки молниеотводов для защиты РУ 110 кВ от прямых ударов молнии. Произведен технико-экономический расчет основных показателей. Проведены расчеты в области охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности при строительстве и эксплуатации электроустановок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. - Волог-да: Инфра-Инженерия, 2016. - 416 с.
- 2 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2018. - 192 с.
- 3 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование.: Учеб-ник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2015. - 48 с.
- 4 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ Инфра-М, 2012. - 416 с.
- 5 Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов – М.: Энергоатомиздат, 2006.
- 6 Бегентаев М.М. Экономика промышленности учебное пособие. – Издательство: Павлодар: Кереку Год: 2008
- 7 Булгаков А. Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике: Учебное пособие. / А. Б. Булгаков. – Благовещенск: Изд – во АмГУ, 2020. -90 с.
- 8 Герасимов В.Г. Электротехнический справочник Т.3 //В. Г. Герасимов, П. Г. Грудинский, В. А. Лабунцов и др. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 880 с.
- 9 Идельчик В.И. Электрические системы и сети. // В.И. Идельчик – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 592 с.
- 10 Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование органи-заций и учреждений (для бакалавров). Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2017. - 272 с.

- 11 Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров) / Э.А. Киреева. - М.: Кно-Рус, 2015. - 192 с.
- 12 Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование / Г.В. Коробов. - СПб.: Лань, 2014. - 192 с.
- 13 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2016. - 160 с.
- 14 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин, Б.В. Жи-лин, М.Г. Ошурков. - Рн/Д: Феникс, 2017. - 416 с.
- 15 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: учебник / Б.И. Кудрин. - РнД: Феникс, 2018. - 382 с.
- 16 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учрежде-ний высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 352 с.
- 17 Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие. // А.В. Лыкин – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2012. – 248 с.
- 18 Ополева, Г.Н. Электроснабжение промыш.предприятий и горо-дов: Учебное пособие / Г.Н. Ополева. - М.: Форум, 2018. - 350 с.
- 19 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.
- 20 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб и доп. – И.: Энергоатомиздат, 2016.
- 21 Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957)
- 22 Собурь С.В. Пожарная безопасность электроустановок – М.ПожКнига 2010.
- 23 Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики : учебное пособие / В.Я. Ушаков. - Томск : Изд-во ТПУ, 2014. - 447 с.

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

25 Энергоэффективное электрическое освещение : учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова и др. ; под ред. Л.П. Варфо-ломеева. - Москва : Изд-во МЭИ, 2013. - 288 с.

26 Энергоэффективность в России: скрытый резерв. - Москва : ЦЭНЭФ, 2007.- 162 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Потребители подстанции

Потребитель	Количество	Номинальная мощность $P_{ном}$ (кВт)	Коэффициент использования k_u	Коэффициент мощности $tg\phi$
1	2	3	4	5
Портальный кран				
Эл. двигатель основного подъёма	12	160,0	0,6	0,88
Эл. двигатель микро подъёма	12	2,2	0,6	0,88
Эл. двигатель поворота	12	60,0	0,6	0,88
Эл. двигатель изменения вылета стрелы	12	22,0	0,6	0,88
Эл. двигатель передвижения крана	48	11,0	0,2	0,88
Эл. двигатель противоугонных захватов	48	0,6	0,1	0,75
Насосная станция противопожарного водоснабжения				
Основной насос пожаротушения	4	160,0	0,9	0,88
Вспомогательный насос пожаротушения	4	75,0	0,9	0,88
Освещение	50	0,02 кВт /м ²	0,6	1,0
Весовая установка				
Основное оборудование	8	8,0	0,65	0,6
Рентген установка				
Основное оборудование	8	25,0	0,7	0,5
Отопительные котельные				
Котел эл. отопления	20	300	1	0
Сетевой насос	4	25	0,9	0,46
Вентиляционные установки				
Вентиляция	10	5,0	0,8	0,88
Вентиляция	10	7,0	0,8	0,88
Осветительные установки				
Освещение территории	20000 м ²	0,01 кВт /м ²	0,95	1,0
Освещение складов	12000 м ²	0,02 кВт /м ²	0,95	1,0
Административные помещения				
-	800 м ²	0,054 кВт /м ²	-	1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Выбор и проверка выключателей

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном}$ (А)	2500	153,63	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{откл}$ (кА)	20	3,84	$I_{откл} \geq I_{по}$
$I_{вкл}$ (кА)	20	3,48	$I_{вкл} \geq I_{по}$
$I_{тик}, I_{уд}$ (кА)	102	9,14	$I_{тик} \geq I_{уд}$
I_a (кА)	$\sqrt{2} \cdot \beta \cdot I_{откл} =$ $\sqrt{2} \cdot 0,45 \cdot 20 =$ 12,456	0,19	$I_{ном.а} \geq I_a$
$I_{пр.скв}, I_{уд}$ (кА)	102	9,14	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ (кА ² с)	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} =$ $20^2 \cdot 3 =$ 1200	29,49	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	10	10	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном}$ (А)	630	549,85	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{откл}$ (кА)	40	21,45	$I_{откл} \geq I_{по}$
$I_{вкл}$ (кА)	40	21,45	$I_{вкл} \geq I_{по}$
$I_{тик}, I_{уд}$ (кА)	81	52,07	$I_{тик} \geq I_{уд}$
I_a (кА)	$\sqrt{2} \cdot \beta \cdot I_{откл} =$ $\sqrt{2} \cdot 0,3 \cdot 40 =$ 16,96	5,73	$I_{ном.а} \geq I_a$
$I_{пр.скв}, I_{уд}$ (кА)	81	52,07	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ (кА ² с)	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} =$ $40^2 \cdot 3 =$ 4800	957,01	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$