

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция ОРУ-220 кВ ПС 220/110/10 ГПП-4

Обучающийся

А.А. Буйко
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, А.Н. Черненко
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

В бакалаврской работе разработаны технические мероприятия по обеспечению надежного функционирования ПС 220 кВ ГПП-4 в связи со строительством новой ЛЭП 220 кВ и заменой морально и физически устаревшего электрооборудования ОРУ 220 кВ.

Определены основные характеристики принимаемых к установке и установленных ранее на ПС элегазовых выключателей 220 кВ, встроенных и отдельностоящих трансформаторов тока 220 кВ, разъединителей 220 кВ, измерительных трансформаторов напряжения 220 кВ.

Для измерения напряжения на ОСШ 220 в работе предусматривается установка нового ТН 220 кВ.

Сечение принятых проводников ошиновки прошло проверку на термическую стойкость.

Предусмотрен монтаж нового контура заземления ОРУ 220 кВ с применением оцинкованной стальной полосы в качестве горизонтальных заземлителей и оцинкованного стального круга в качестве вертикальных электродов.

В системе собственных нужд новое оборудование устанавливается взамен существующему, увеличение мощности существующих трансформаторов собственных нужд не требуется.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объёмом 53 страницы, содержит 12 таблиц и 4 рисунка. Список используемых источников содержит 26 наименований, в том числе 5 на английском языке. Графическая часть работы состоит из шести листов, выполненных на формате А1.

Содержание

Введение.....	5
1 Выбор оборудования.....	9
1.1 Основные положения выбора оборудования	9
1.2 Выбор оборудования 220 кВ.....	10
1.2.1 Выключатель 220 кВ	11
1.2.2 Трансформатор тока 220 кВ	12
1.2.3 Разъединитель 220 кВ	14
1.2.4 Измерительный трансформатор напряжения 220 кВ.....	16
1.2.5 Ошиновка 220 кВ.....	17
2 Заземляющее устройство и молниезащита.....	20
2.1 Анализ компоновки ПС	20
2.2 Заземляющее устройство.....	21
2.2.1 Характеристика заземляющего устройства	21
2.2.2 Характеристика грунта.....	22
2.2.3 Проверка сечения заземляющих проводников и заземлителей.....	22
2.2.4 Расчет заземляющего устройства	24
2.3 Молниезащита	26
3 Система собственных нужд	29
3.1 Назначение системы	29
3.2 Структура системы	29
3.2.1 Схема электроснабжения двигателей выключателей и разъединителей	31
3.2.2 Схема электроснабжения обогревателей оборудования ОРУ	31
3.2.3 Схема электроснабжения светильников наружного освещения ...	32
3.3 Проверка основного оборудования ССН.....	33
3.3.1 Выбор автоматических выключателей.....	35
3.3.2 Проверка кабелей на возгорание при КЗ.....	45
3.4 Размещение оборудования и автоматизация.....	46

Заключение	49
Список используемой литературы	52

Введение

Подстанция ГПП-4 располагается в Хабаровском крае. Местоположение подстанции в энергосистеме приведено на рисунке 1.

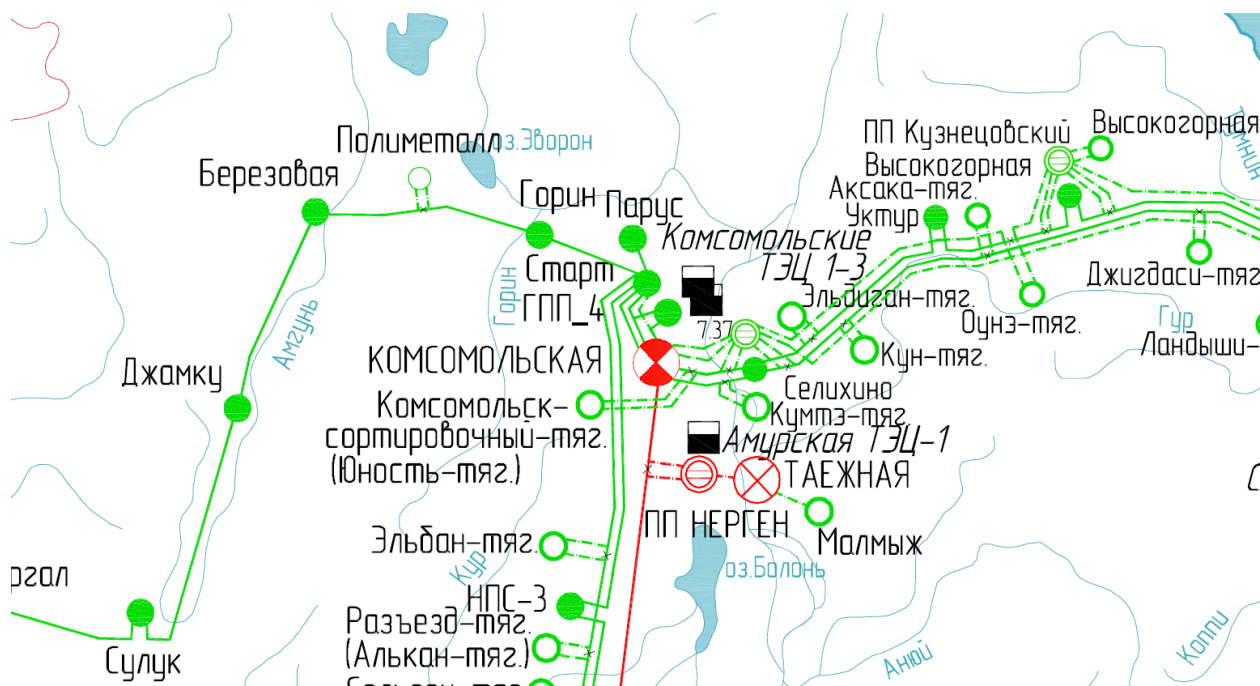


Рисунок 1 - Местоположение подстанции ГПП-4 в энергосистеме

Подстанция введена в эксплуатацию в 1981 году.

ПС эксплуатируется с постоянным дежурством оперативного персонала на объекте.

На ПС 220 кВ ГПП-4 в настоящее время установлено два автотрансформатора АДЦТН-125000/220/110/10-У1 и два масляных трансформатора собственных нужд ТМГ-630/10/0,4 кВ по 630 кВА каждый. Электроснабжение ОРУ 110 кВ и ЗРУ 10 кВ осуществляется от АТ-1 и АТ-2.

К РУ 220 кВ в настоящее время присоединяются шесть ВЛ 220 кВ, два автотрансформатора. Распределительное устройство 220 кВ выполнено в конструктиве ОРУ по не типовой схеме «одна рабочая и обходная системы

шин с обходным выключателем и ремонтной перемычкой между обходной системой шин и второй секцией шин».

РУ 110 кВ выполнено в конструктиве ОРУ по схеме №110-13Н «две рабочие и обходная система шин».

РУ 10 кВ выполнено в конструктиве ЗРУ по схеме №10-1 «одна секционированная выключателем система шин».

Согласно предоставленным данным, величина тока однофазного КЗ на шинах 220 кВ ПС 220 кВ ГПП-4 составляет:

$I_k^{(1)} = 9,5 \text{ кА}$ – существующее значение;

$I_k^{(1)} = 10,19 \text{ кА}$ – перспектива на 2025 г.

Время срабатывания защиты при замыканиях на землю на ОРУ 220 кВ составляет: основная защита – 0,1 сек, резервная защита – 0,4 сек [25].

В работе предусматривается реконструкция подстанции ГПП-4 с образованием ОРУ 220 кВ по типовой схеме 220-13Н.

Схема ОРУ 220 кВ принята на основании планируемых работ по строительству ВЛ 220 кВ Комсомольская – ГПП-4 с отпайкой на подстанцию Старт (достройка участка ВЛ 220 кВ от ВЛ 220 кВ Комсомольская – Старт до ПС 220 кВ ГПП-4 ориентировочной протяженностью 21 км с образованием ВЛ 220 кВ Комсомольская – ГПП-4 №1 с отпайкой на ПС 220 кВ Старт) и планам по техническому перевооружению ПС 220 кВ ГПП-4 в части реконструкции ОРУ-220 кВ (11 ячеек). Преимущества схемы 220-13Н заключаются в достаточно высокой надежности, малом количестве выключателей (один на одно присоединение) и относительно малом времени перерыва электроснабжения при авариях на одной из систем шин.

«Данная схема применяется там, где есть повышенные требования к надежности питания каждой ВЛ и отсутствие возможности отключения всех присоединений секции (системы шин) на время ревизии и ремонта этой секции сборных шин» [19].

В работе предусматривается реконструкция 11 ячеек 220 кВ на ОРУ 220 кВ на ПС 220 кВ ГПП-4.

В объем реконструкции первичного оборудования ОРУ 220 кВ входит:

- замена масляных выключателей У-220 на элегазовые (4 шт.);
- установка нового элегазового выключателя 220 кВ в ячейке секционного выключателя (1 шт.);
- замена существующих разъединителей 220 кВ типа РНДЗ на новые горизонтально-поворотные разъединители (31 шт.);
- установка дополнительных горизонтально-поворотных разъединителей 220 кВ для реализации схемы 220-13Н (6 шт.);
- замена трансформаторов тока отдельностоящих элегазовых ТТ 220 АТ-1 (3 шт.) на новые;
- замена трансформаторов тока, встроенных в существующие элегазовые выключатели 220 кВ (24 шт.);
- существующие масляные ТН 220 кВ 1 и 2 СШ 220 кВ принимаются к установке на новых фундаментах и новых металлоконструкциях;
- существующие ОПН 220 ТН-1 и ОПН 220 ТН-2 принимаются к установке на новых фундаментах и новых металлоконструкциях;
- существующий отдельностоящий масляный ТН-ОСШ-220 ф.А подлежит замене на новый элегазовый ТН 220 кВ;
- замена порталных металлоконструкций на ОРУ 220 кВ на новые;
- металлоконструкции для установки оборудования ОРУ 220 кВ подлежат замене.

В работе предусмотрена реконструкция ОРУ 220 кВ со смещением ячеек 220 кВ (ориентировочно на 4 м).

Реконструкция существующих ВЛ предусмотрена в части замены провода в пролетах захода ВЛ на порталы ПС без изменения сечения и пропускной способности.

Размещение нового оборудования 220 кВ на ПС 220 кВ ГПП-4 предлагается выполнить в границах занимаемого существующего оборудования 220 кВ ячеек №1-11 ОРУ 220 кВ.

«Устанавливаемое оборудование ОРУ 220 кВ монтируется на металлоконструкциях сборных на болтовых соединениях. Металлоконструкции поставляются с заводской антикоррозийной защитой, обработанные методом горячего цинкования» [2].

На ОРУ 220 кВ применена гибкая ошиновка. Спуски к оборудованию и внутри ячейковые связи выполнены проводом марки АС 400/51.

Климатическое исполнение оборудования, устанавливаемого на открытой территории подстанции, принято У1.

Прокладка силовых и контрольных кабелей по территории ПС 220 кВ ГПП-4 организована в новых наземных ж/б лотках, по металлоконструкциям оборудования (в подвесных металлических коробах) и металлорукаве с ПВХ изоляцией, не поддерживающей горение.

В связи с реконструкцией ОРУ 220 кВ в работе предусматривается монтаж нового контура заземления ОРУ 220 кВ с применением оцинкованной стальной полосы в качестве горизонтальных заземлителей и оцинкованного стального круга в качестве вертикальных электродов. Сечение заземлителей будет рассчитано далее в работе.

Существующий контур заземления ОРУ 220 кВ подлежит демонтажу.

В данной работе предусматривается перенос существующего оборудования, а также установка нового оборудования в новое ОПУ, совмещенное с ЗРУ 110 кВ.

Описание объёма реконструкции систем релейной защиты и автоматики, автоматизированной информационной системы коммерческого учета электрической энергии, автоматизированной системы управления технологическим процессом на подстанции, системы оперативного постоянного тока и системы собственных нужд приведено далее в работе.

Цель бакалаврской работы заключается в разработке технических мероприятий по обеспечению надежного функционирования ПС 220 кВ ГПП-4 в связи со строительством новой ЛЭП 220 кВ и заменой морально и физически устаревшего электрооборудования ОРУ 220 кВ.

1 Выбор оборудования

1.1 Основные положения выбора оборудования

«Выбор и проверка электрических аппаратов выполняются в соответствии с РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору оборудования» в соответствии с ГОСТ Р 52565-2006» [9], [14].

Технические параметры проектируемого оборудования и ошиновки РУ 220 кВ подстанции приняты не менее параметров отходящих ВЛ 220 кВ.

Принятая степень загрязнения атмосферы по ГОСТ 9920-89 с учетом п.1.9.18 ПУЭ – II (2,25 см/кВ) [4].

В таблице 1 приведены климатические параметры площадки реконструкции ПС 220 кВ ГПП-4.

Таблица 1 – Климатические условия местности

Параметр	Значение
«Средняя годовая температура воздуха	минус 0,7 °С
Абсолютный минимум температуры	минус 45 °С
Абсолютный максимум температуры	+35 °С
Район по давлению ветра	IV
Район по гололеду	III
Район по пляске проводов	с умеренной пляской
Нормативная толщина стенки гололеда	20 (III район по гололеду)
Нормативное ветровое давление ветра (скорость ветра)	800 Па (36 м/с) (IV район по ветру)
Среднегодовая продолжительность гроз	от 40 до 60 часов в год, (IV район по грозам)
Диапазон рабочих температур оборудования наружной установки	от –45 до +40 °С
Сейсмическая активность по шкале MSK-64	до 6 баллов» [13]

«Согласно ГОСТ 15150-69 указанный район относится к макроклиматическим районам с умеренным климатом. Оборудование,

устанавливаемое на открытой территории ПС, принято с категорией размещения для эксплуатации на открытом воздухе «У1» по ГОСТ 15150-69» [5]. «Сейсмичность района строительства – 6 баллов по шкале MSK-64 согласно СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81» (актуализированный СНиП II-7-81)» [16].

1.2 Выбор оборудования 220 кВ

Исходные данные для выбора оборудования 220 кВ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные и выбор параметров оборудования 220 кВ на ПС ГПП-4

«Параметры выбора	Ед., изм.	Обозначение и метод определения	Числовое значение
Номинальное напряжение сети	кВ	$U_{\text{сети.ном}}$	220
Наибольшее рабочее напряжение	кВ	$U_{\text{раб.макс}}$	252
Ток при трехфазном КЗ на шинах ОРУ 220 кВ в максимальном режиме	кА	$I_{\text{к}}^{(3)}$	9,353
Принятое условное время срабатывания релейной защиты	с	$t_{\text{р.з}}$	0,01
Полное время отключения выключателя	с	$t_{\text{в.откл}}$	0,06
Время отключения тока КЗ, Расчетная продолжительность КЗ	с	$t_{\text{откл}} = t_{\text{р.з}} + t_{\text{в.откл}}$	$0,01 + 0,06 = 0,07$
Время отключения резервной защиты	с	$t_{\text{макс}}$	1,0
Периодическая составляющая тока КЗ	кА	$I_{\text{п}} = I_{\text{к}}^{(1)}$	9,353
Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока трехфазного КЗ	с	$T_{\text{а}} = \frac{X_{\text{эк}}}{\omega_{\text{синх}} \cdot R_{\text{эк}}}$	0,03
Апериодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени $\tau = 0$ (с)	кА	$i_{\text{а0}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}$	$i_{\text{а0}} = \sqrt{2} \cdot 9,353 = 13,23$
Апериодическая составляющая тока КЗ в момент времени $\tau = t_{\text{откл}}$ (с)» [12]	кА	$i_{\text{ат}} = i_{\text{а0}} \cdot e^{\left(\frac{-\tau}{T_{\text{а}}}\right)}$	$i_{\text{ат}} = 13,23 \cdot e^{\left(\frac{-0,07}{0,03}\right)} = 13,23 \cdot 0,097 = 1,283$

Продолжение таблицы 2

«Параметры выбора	Ед., изм.	Обозначение и метод определения	Числовое значение
Ток КЗ в момент времени $\tau = t_{\text{откл}}$ (с)	кА	$i_{\text{кт}} = i_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} =$ $= \sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + I_{\text{ат}}$	$i_{\text{кт}} = \sqrt{2} \cdot 9,353 +$ $+1,283 = 14,513$
Ударный коэффициент	-	$k_{\text{уд}}$	1,71
Ударный ток КЗ	кА	$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{п0}}$	$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1,71 \cdot$ $\cdot 9,353 = 22,61$
Интеграл Джоуля» [12]	кА ² · с	$B_{\text{к}} = \int_0^{t_{\text{откл}}} i_{\text{к}}^2 dt =$ $= I_{\text{п}}^2 \cdot (t_{\text{макс}} + T_{\text{а}})$	$B_{\text{к}} = 9,353^2 \cdot (1,0 +$ $+0,03) = 90,103$

1.2.1 Выключатель 220 кВ

«Для коммутации цепей напряжением 220 кВ, переменного тока частотой 50 Гц в номинальном режиме работы установки, а также для автоматического отключения этих цепей при коротких замыканиях и перегрузках, возникающих при аварийных режимах, к установке принят элегазовый баковый выключатель с электродвигательным приводом. Расчетные параметры, условия выбора и технические характеристики выключателя 220 кВ приведены в таблице 3» [11].

Таблица 3 –Расчётные данные и условия выбора выключателя 220 кВ

№ ячейки	1	2 ¹	3 ¹	4 ¹	5 ¹	7	8 ¹	9 ²	96 ¹	10	11
Ном. напряжение, кВ	220	245	220								
Наиб. раб. напряжение, кВ	252										
Ном. ток, А	1600	3150	3150	2000	3150	3150	2000	1250	3150	1250	1600
Ном. ток отключения, кА	25	40	31,5	25	31,5	25	31,5	31,5	31,5	25	25
Сквозной ток КЗ – периодическая составляющая, кА	25	40	31,5	25	31,5	25	31,5	31,5	31,5	25	25
Сквозной ток КЗ	64	125	80	64	80	64	80	80	125	64	64

наиб. пик. кА											
---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 3

№ ячейки	1	2 ¹	3 ¹	4 ¹	5 ¹	7	8 ¹	9 ²	96 ¹	10	11
Ток термической стойкости, кА	25	40	31,5	25	31,5	25	31,5	31,5	31,5	25	25
Тип выключателя	Баков ый	Коло нков ый	Баковый								
Вид привода	электродвигательный										
«Полное время отключения, мс, не более» [11]	50										
Исполнение изоляции	фарфор										
«Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69» [11]	У1										
Примечания											
1 Установка проектируемого оборудования с учетом существующих элегазовых выключателей 220 кВ.											
2 Ячейка, проектируемая по будущему строительству новой ВЛ 220 кВ Комсомольская – ГПП-4 №1 с отпайкой на Старт (для технологического присоединения энергопринимающих устройств ОАО «РЖД»).											

Таким образом были определены основные характеристики принимаемых к установке и установленных ранее на ПС выключателей.

1.2.2 Трансформатор тока 220 кВ

«Встроенные трансформаторы тока 220 кВ предназначены для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам и устройствам защиты и управления в электрических цепях переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 кВ. Расчётные параметры, условия выбора и технические характеристики трансформаторов тока приведены в таблице 4» [11].

Таблица 4 – Расчетные параметры и условия выбора встроенных и отдельностоящих трансформаторов тока 220 кВ

№ ячейки	1	2 ¹	3 ¹	4 ¹	5 ¹	7	8 ¹	9 ²	96 ¹	10	11
----------	---	----------------	----------------	----------------	----------------	---	----------------	----------------	-----------------	----	----

Встроенные трансформаторы тока 220 кВ											
Ном. напряжение, кВ	220										

Продолжение таблицы 4

№ ячейки	1	2 ¹	3 ¹	4 ¹	5 ¹	7	8 ¹	9 ²	96 ¹	10	11	
Наиб. раб. напряжение, кВ	230											
Ном. первичн. ток, А	1200	-	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	
Ном. вторичн. ток,	5											
Класс точности	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2	-	0,2s/ 10PR / 10PR / 10PR / 10PR / 10PR / 0,2	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2	0,2s/ 5PR/ 5PR/ 5PR/ 0,2	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2	0,2s/ 10P R/ 10P R/ 10P R/ 10P R 0,2
Сквозной ток КЗ – периодическая составляющая, кА	25	-	31,5	25	31,5	25	31,5	31,5	31,5	25	25	
Сквозной ток КЗ - наиб. пик. кА	64	-	80	64	80	64	80	80	125	64	64	
Ток термической стойкости, кА	25	-	31,5	25	31,5	25	31,5	31,5	31,5	25	25	
Отдельно стоящие трансформаторы тока 220 кВ												
Ном. напряжение, кВ	-	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Наиб. раб. напряжение, кВ	-	252	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ном. первичн. ток, А	-	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ном. вторичн. ток, А	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Класс точности	-	0,2s/ 0,2/ 10P R/ 10P R/ 10P R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Исполнение изоляции	фарфор											
Климатическое исполнение и	У1											

категория размещения по ГОСТ 15150-69	
---	--

Продолжение таблицы 4

№ ячейки	1	2 ¹	3 ¹	4 ¹	5 ¹	7	8 ¹	9 ²	96 ¹	10	11
Примечания 1 Установка проектируемого оборудования с учетом существующих элегазовых выключателей 220 кВ. 2 Ячейка, проектируемая по будущему строительству новой ВЛ 220 кВ Комсомольская – ГПП-4 №1 с отпайкой на Старт (для технологического присоединения энергопринимающих устройств ОАО «РЖД»).											

Таким образом были определены основные характеристики принимаемых к установке и установленных ранее на ПС трансформаторов тока.

1.2.3 Разъединитель 220 кВ

Расчётные параметры, условия выбора и технические характеристики разъединителя 220 кВ тока приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики разъединителя, расчётные данные и условия выбора

№ ячейки	1	2 ¹	3 ¹	4 ¹	5 ¹	7	8 ¹	9 ²	96 ¹	10	11
Ном. напряжение, кВ	220										
Ном. ток, А	1600	1250	1600	1250	1600	1250	1250	1250	2000 /600 3	1250	1600
«Сквозной ток КЗ – периодическая составляющая, кА	31,5										
Сквозной ток КЗ - наибольший пик, кА	80										
Ток термической стойкости, кА	31,5» [1]										
Испытательное одноминутное	-										
относительно земли и между	95										
между разомкнутыми	120										
Испытательное напряжение	-										

относительно земли и между	190
-------------------------------	-----

Продолжение таблицы 5

№ ячейки	1	2 ¹	3 ¹	4 ¹	5 ¹	7	8 ¹	9 ²	9б ¹	10	11
между разомкнутыми	220										
Включение, отключение токов	2										
Допустимая механическая	800										
Номинальное напряжение цепей	=220										
«Номинальное напряжение	-380										
Исполнение изоляции	фарфор										
Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69	У1» [17]										
Примечания											
1 Установка проектируемого оборудования с учетом существующих элегазовых выключателей 220 кВ.											
2 Ячейка, проектируемая по будущему строительству новой ВЛ 220 кВ Комсомольская – ГПП-4 №1 с отпайкой на Старт (для технологического присоединения энергопринимающих устройств ОАО «РЖД»).											
3 Номинальный ток указан для разъединителя в присоединении ТН-ОСШ-220.											

«Для установки принят трехполюсный разъединитель напряжением 220 кВ горизонтально-поворотного типа с главными ножами, вращающимися в горизонтальной плоскости, параллельно основанию» [1]. Разъединители 220 кВ предусматриваются с электродвигательным приводом главных ножей и ножей заземления.

«Выбранный разъединитель должен эксплуатироваться в условиях, нормированных ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89. Для категории размещения 1, исполнения УХЛ, при этом:

- высота над уровнем моря – не более 1000 м;
- верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха +40°C;

- нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха - 45°C;
- окружающая среда – взрыво-пожаробезопасная, не содержащая токоведущей пыли, химически активных газов и испарений;
- сейсмическая активность – 6 баллов по шкале MSK-64.

Полнос разъединителя выполнен в виде двухколонкового аппарата с разворотом главных ножей на 90° в горизонтальной плоскости.

Токоведущая система разъединителей выполнена в виде двух контактных ножей, которые устанавливаются на верхних фланцах изоляторов» [6].

1.2.4 Измерительный трансформатор напряжения 220 кВ

«Для питания приборов учета электроэнергии, контрольно-измерительной аппаратуры, релейных (микропроцессорных) защит, автоматики, для измерения фазных напряжений и контроля изоляции сети в электрических цепях переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 кВ в работе предусмотрена установка трансформаторов напряжения (ТН)» [3]. Для измерения напряжения на шинах 1 СШ 220 и 2 СШ 220 используются существующие ТН 220 кВ. Предусматривается их демонтаж и установка на новом месте, на новых фундаментах. Для измерения напряжения на ОСШ 220 в работе предусматривается установка нового ТН 220 кВ.

«Трансформатор напряжения соответствуют требованиям ГОСТ 1983-2001 «Трансформаторы напряжения. Общие технические условия»» [3]. Основные технические характеристики выбранных ТН приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики ТН 220 кВ

Наименование параметра	Значение параметра	
Диспетчерское наименование	ТН-1-220, ТН-2-220	ТН-ОСШ-220 ф.А

Марка ТН	UTF 245 (существующие)	- (проектируемый)
Тип трансформатора напряжения	однофазный, антирезонансный, масляный	однофазный, элегазовый
«Класс напряжения. кВ	220	220
Наибольшее рабочее напряжение. кВ	252	252
Номинальное напряжение первичной обмотки. кВ	$220/\sqrt{3}$	$220/\sqrt{3}$ » [3]

Продолжение таблицы 5

Наименование параметра	Значение параметра	
«Номинальное напряжение основной вторичной обмотки. кВ	$0,1/\sqrt{3}$	$0,1/\sqrt{3}$
Номинальное напряжение дополнительной вторичной обмотки, кВ	$0,1/\sqrt{3}$; 0,1	0,1
Класс точности/номинальная мощность основной вторичной обмотки	-	-
дополнительной вторичной обмотки	0,2	0,2
Группа соединения обмоток	0,5/3Р	3Р
Высота установки над уровнем моря, м, до	Ун/Ун/Ун/П-0	Ун/Ун-0
Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69	1000	1000
Верхнее рабочее и эффективное значение температуры окружающего воздуха, °С	У1	У1
Нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха, °С	+40	+40
	-45	-45» [3]

Таким образом были определены основные характеристики принимаемых к установке и установленных ранее на ПС трансформаторов напряжения.

1.2.5 Ошиновка 220 кВ

«Перемишки и спуски к оборудованию предусматриваются проводом АС 400/51 – номинальный ток 960 А., объемы монтажа составит 5,205 км. Всего будет установлено 27 пролетов и 79 спусков и перемишек. Исходные данные и условия проверки гибкой ошиновки 220 кВ приведены в таблице 6.

Для провода АС 400/51 будет использоваться комплект натяжной одноцепной подвески в количестве 153 шт» [1].

Таблица 6 – Расчетные данные и условия выбора гибкой ошиновки 220 кВ

Наименование	Расчетные данные	Услови е	Характеристики ошиновки
Условия выбора			
Номинальный ток, А	$I_{ном} = 747$	$\leq$	$I_{ном} = 960$
Проверка на термическую стойкость			
Допустимый тепловой импульс, $кА^2 \cdot с$	$B_k = 90,103$	-	-

Продолжение таблицы 6

Наименование	Расчетные данные	Услови е	Характеристики ошиновки
«Коэффициент для провода АС, при $\vartheta_{доп} = 200^\circ C$	$C_{тер} = 90$	-	-
Сечение проводника по условию термической стойкости, $мм^2$	$S_{тер.мин} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_{тер}} =$ $= \frac{\sqrt{90,103 \cdot 10^6}}{90} =$ $= 105,47$	$\leq$	$S_{пр} = 400$ » [21]

Выводы по разделу.

Технические параметры проектируемого оборудования и ошиновки РУ 220 кВ подстанции приняты не менее параметров отходящих ВЛ 220 кВ.

Определены основные характеристики принимаемых к установке и установленных ранее на ПС элегазовых выключателей 220 кВ, встроенных и отдельностоящих трансформаторов тока 220 кВ, разъединителей 220 кВ, измерительных трансформаторов напряжения 220 кВ.

Для измерения напряжения на шинах 1 СШ 220 и 2 СШ 220 используются существующие ТН 220 кВ. Предусматривается их демонтаж и установка на новом месте, на новых фундаментах. Для измерения напряжения на ОСШ 220 в работе предусматривается установка нового ТН 220 кВ.

«Перемычки и спуски к оборудованию предусматриваются проводом АС 400/51 на номинальный ток 960 А. Сечение принятых проводников прошло проверку на термическую стойкость» [1].

2 Заземляющее устройство и молниезащита

2.1 Анализ компоновки ПС

Заземляющее устройство на ОРУ 220 кВ выполнено в виде сетки, состоящей из горизонтальных заземлителей – полоса стальная 5×50 мм, проложенных на глубине 0,5 – 0,7 м, и вертикальных заземлителей – уголок стальной 50×50×5 мм, длиной 5 м. Вершина уголка расположена на глубине 0,5 – 0,7 м и имеет сварное соединение с горизонтальным заземлителем.

Заземляющее устройство находится в удовлетворительном состоянии.

В связи с реконструкцией ОРУ 220 кВ в работе предусматривается монтаж нового контура заземления ОРУ 220 кВ с применением оцинкованной стальной полосы в качестве горизонтальных заземлителей и оцинкованного стального круга в качестве вертикальных электродов.

Существующий контур заземления ОРУ 220 кВ подлежит демонтажу.

Силовые кабели и кабели РЗА по территории Подстанции проложены в ж/б лотках. Подъемы кабеля из ж/б лотков к клеммным шкафам и шкафам управления оборудования выполнены в металлических трубах.

«Металлические части зданий, металлоконструкции под установку оборудования и металлические шкафы на территории ОРУ 220 кВ соединяются с контуром заземления заземляющими проводниками. Кабельные конструкции и металлические короба также присоединяются к контуру ЗУ.

Прокладка проектируемых кабелей вторичных цепей от проектируемого высоковольтного оборудования на ОРУ до шкафов (панелей, щитов) в ОПУ предусматривается в кабельных конструкциях: проектируемых ж/б лотках, металлических лотках, в металлических трубах, в металлорукавах. Цепи различного назначения (токовые, напряжения, сигнализации и оперативного тока) будут разделены по разным кабельным трассам» [18].

Для снижения уровня импульсных помех к прокладке приняты контрольные кабели с экранированием и с заземлением экранов с обеих сторон. Присоединение экранов в шкафах предусматривается с помощью специальных зажимов.

В качестве заземлителей для устанавливаемого оборудования на ОРУ 220 кВ предусматривается полосовая сталь $5 \times 50 \text{ мм}^2$, оцинкованная. Количество заземляющих проводников для устанавливаемого высоковольтного оборудования предусматривается не менее двух. Места заземления релейных щитов смещены от оборудования высокого напряжения и порталов.

Молниезащита объекта осуществляется молниеприемниками установленными на прожекторных мачтах и на порталах.

Сопротивление заземляющего устройства в ОРУ 220 кВ должно составлять не более 0,5 Ом.

2.2 Заземляющее устройство

В работе предусматривается монтаж нового контура заземления ОРУ 220 кВ с применением оцинкованной стальной полосы сечением $5 \times 50 \text{ мм}^2$ в качестве горизонтальных заземлителей и оцинкованного стального круга ($d18 \text{ мм}$, длиной $L=5 \text{ м}$) в качестве вертикальных электродов. Количество заземляющих проводников для устанавливаемого высоковольтного оборудования предусматривается не менее двух. Места заземления релейных щитов смещены от оборудования высокого напряжения и порталов.

2.2.1 Характеристика заземляющего устройства

Существующее заземляющее устройство на ОРУ 220 кВ выполнено в виде сетки, состоящей из горизонтальных заземлителей – полоса стальная $5 \times 50 \text{ мм}$, проложенных на глубине 0,5 – 0,7 м, и вертикальных заземлителей – уголок стальной $50 \times 50 \times 5 \text{ мм}$, длиной 5 м. Вершина уголка расположена на

глубине 0,5 – 0,7 м и имеет сварное соединение с горизонтальным заземлителем.

Заземляющее устройство находится в удовлетворительном состоянии.

Согласно расчету, представленному в подпункте 2.2.4, сопротивление проектируемого ЗУ подстанции в наиболее неблагоприятный период составляет 0,17 Ом, что не превышает предусмотренное ПУЭ изд.7, п.1.7.90 значение 0,5 Ом.

2.2.2 Характеристика грунта

«В качестве исходных данных по характеристикам грунта использовался технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий ПС 220 кВ ГПП-4.

По почвенно-географическому районированию исследуемый район расположен в области умеренного-муссонного климата, в области степи» [17]. Выделено четыре основные почвенные разновидности - насыпной дресвяно- щебенистый грунт с суглинистым полутвердым заполнителем, суглинок полутвердый, глина полутвердая, суглинок дресвяный полутвердый. Удельное сопротивление грунта:

$$\rho_1 = 726 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \rho_2 = 7313 \text{ Ом} \cdot \text{м}, h_{\text{верх.слоя}} = 0,3 \text{ м}.$$

2.2.3 Проверка сечения заземляющих проводников и заземлителей

«Допустимые сечения для элементов ЗУ определяют по следующему выражению, исходя из допустимой по ПУЭ температуры нагрева, согласно Приложению Ж, СТО 56947007-29.240.044-2010» [18].

«Допустимое сечение для элементов ЗУ определяется по следующему выражению:

$$S \geq I_{\text{кз}} \cdot S_{\text{IкА}} \cdot q \quad (1)$$

$$q = \begin{cases} \frac{\sqrt{t + 0,09}}{0,8\sqrt{t}} & t < 1 \text{ с} \\ & t > 1 \text{ с} \end{cases} \quad (2)$$

где «S – поперечное сечение проводника мм²;

$S_{1кА}$ – допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 с;

q – коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока» [18].

«В соответствии с таблицей Ж.1 для горизонтального стального заземлителя $S_{1кА} = 14 \text{ мм}^2 / \text{кА}$, а для заземляющего проводника из стали, подсоединённого к аппарату $S_{1кА} = 16,5 \text{ мм}^2 / \text{кА}$.

При $t = 0,1 \text{ с}$ » [18]:

$$q = \sqrt{0,1 + 0,09} = 0,44,$$

«сечение горизонтального стального заземлителя» [18]:

$$S \geq 24,0 \cdot 14 \cdot 0,44,$$

$$S \geq 147,84 \text{ мм}^2,$$

«сечение заземляющего проводника из стали, подсоединённого к аппарату» [18]:

$$S \geq 24,0 \cdot 16,5 \cdot 0,44,$$

$$S \geq 169,49 \text{ мм}^2 - \text{ для аппаратов 220 кВ.}$$

«Согласно ГОСТ Р 50571.5.54-2013, таблица 54.1, с точки зрения коррозионной и механической стойкости, минимальные размеры проложенных в земле заземляющих электродов из полосы стальной должны быть не менее $S=90 \text{ мм}^2$ и толщиной 3 мм.

Существующие горизонтальные заземлители и заземляющие проводники, выполнены из стальной полосы 50×5 ($S=250 \text{ мм}^2$),

существующие вертикальные заземлители – из стального уголка 50×50×5 мм. Данные значения соответствуют минимально допустимым сечениям» [7].

2.2.4 Расчет заземляющего устройства

Расчет ЗУ проектируемых ячеек 220 кВ ГПП-4 был выполнен в программном комплексе ElectriCS Storm.

Исходные данные и результат расчёта ЗУ ПС приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результат расчёта ЗУ ПС

«Наименование параметра	Ед.изм.	Значение
Климатическая зона	-	1
Толщина верхнего слоя	м	0,3
Удельное сопротивление верхнего слоя грунта	Ом·м	726
Удельное сопротивление нижнего слоя грунта	Ом·м	7313
Химическая активность грунта	-	Нормальная
Тип грунта верхнего слоя	-	Суглинок
Тип грунта поверхностного слоя грунта	-	Суглинок
Глубина заложения горизонтальных элементов	м	0,7
Ток однофазного КЗ на землю (в сети 220 кВ)	А	10190
Вид горизонтального электрода	-	Полоса
Наименование параметра	Ед.изм.	Значение
Ширина (диаметр) горизонтального электрода	мм	50
Толщина горизонтального электрода	мм	5
Длина продольного ряда	м	222,9
Число продольных рядов	шт	15
Длина поперечного ряда	м	92,15
Число поперечных рядов	-	16
Число вертикальных электродов	-	68
Вид вертикального электрода	-	Стержень
Ширина (диаметр) вертикального электрода	мм	18
Толщина вертикального электрода	мм	18
Длина вертикального электрода» [12]	м	5
Сезонный коэффициент	-	1,5
Общее сопротивление проектируемого контура заземления ПС	Ом	0,16

План заземления проектируемой ПС 220 кВ ГПП-4 представлен на рисунке 2, а на рисунке 3 приведена расшифровка условных обозначений.

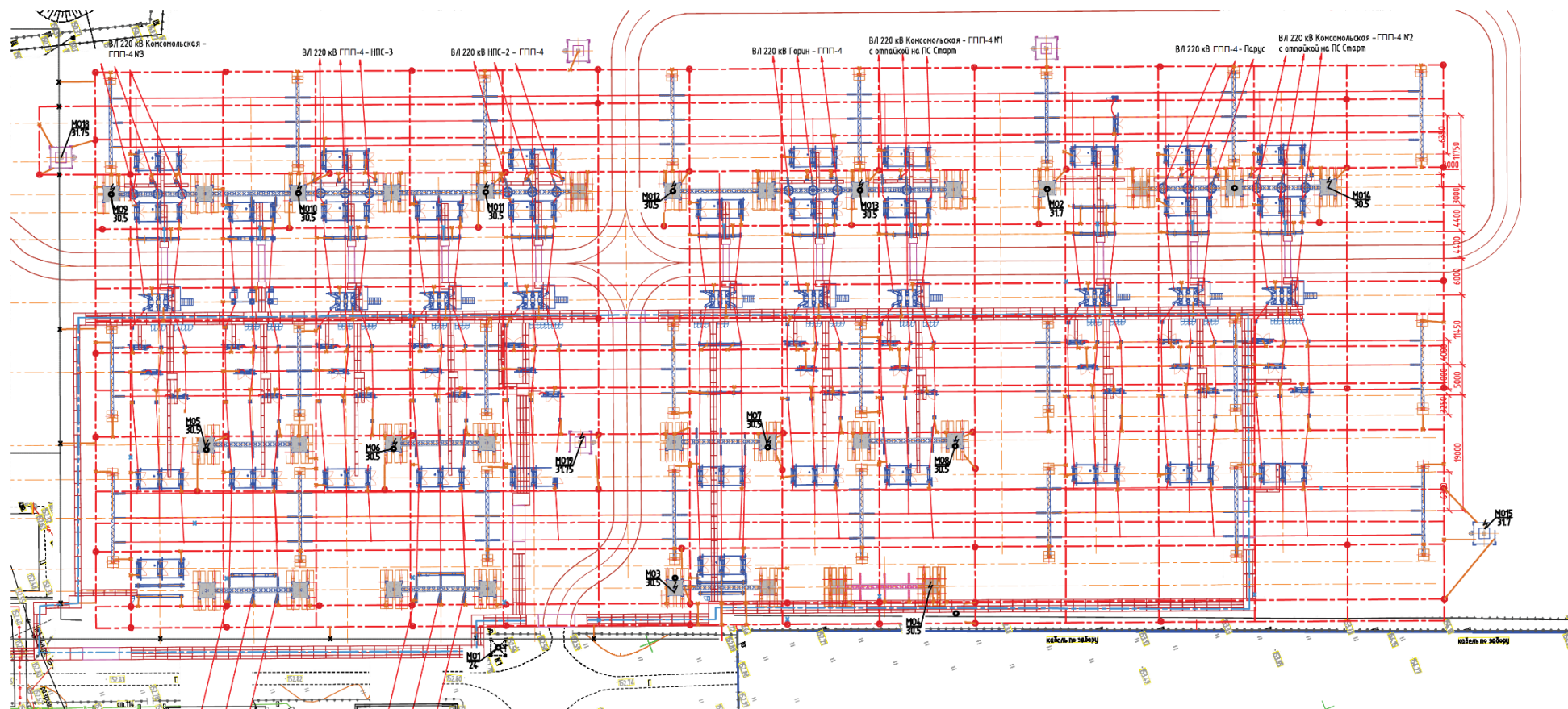


Рисунок 2 - План заземления проектируемой ПС 220 кВ ГПП-4

Существующий контур заземления	— — — — —
Проектируемая полоса заземления в траншее	— — — — —
Проектируемая шина уравнивания потенциалов (ШУП)	— — — — —
Проектируемые вертикальные заземлители	⊗
Место присоединения полосы заземления к оборудованию и конструкциям	×
Место присоединения полосы заземления к существующему контуру заземления	×
Место присоединения ШУП к контуру заземления	×

Рисунок 3 - Расшифровка условных обозначений на плане заземления

Выполненный расчет позволяет сделать вывод, что заземляющее устройство удовлетворяет по сопротивлению растекания.

2.3 Молниезащита

«Защита от ударов молнии на проектируемой площадке выполнена существующими молниеприемниками и проверена согласно «Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153-34.21.122-2003» [15].

«Согласно СО 153-34.21.122-2003 уровень надежности защиты ПС от ПУМ = 0,9.

Молниезащита проектируемого оборудования выполняется ближайшими существующими и проектируемыми молниеотводами:

- молниеотводами, установленными на мачтах освещения высотой 24 м и 31,75 м;
- отдельно стоящими молниеотводами высотой 31,7 м» [15];
- молниеотводами, устанавливаемые на ячейковых порталах 220 кВ высотой 30,5 м.

План молниезащиты ПС 220 кВ ГПП-4 представлен на рисунке 4.

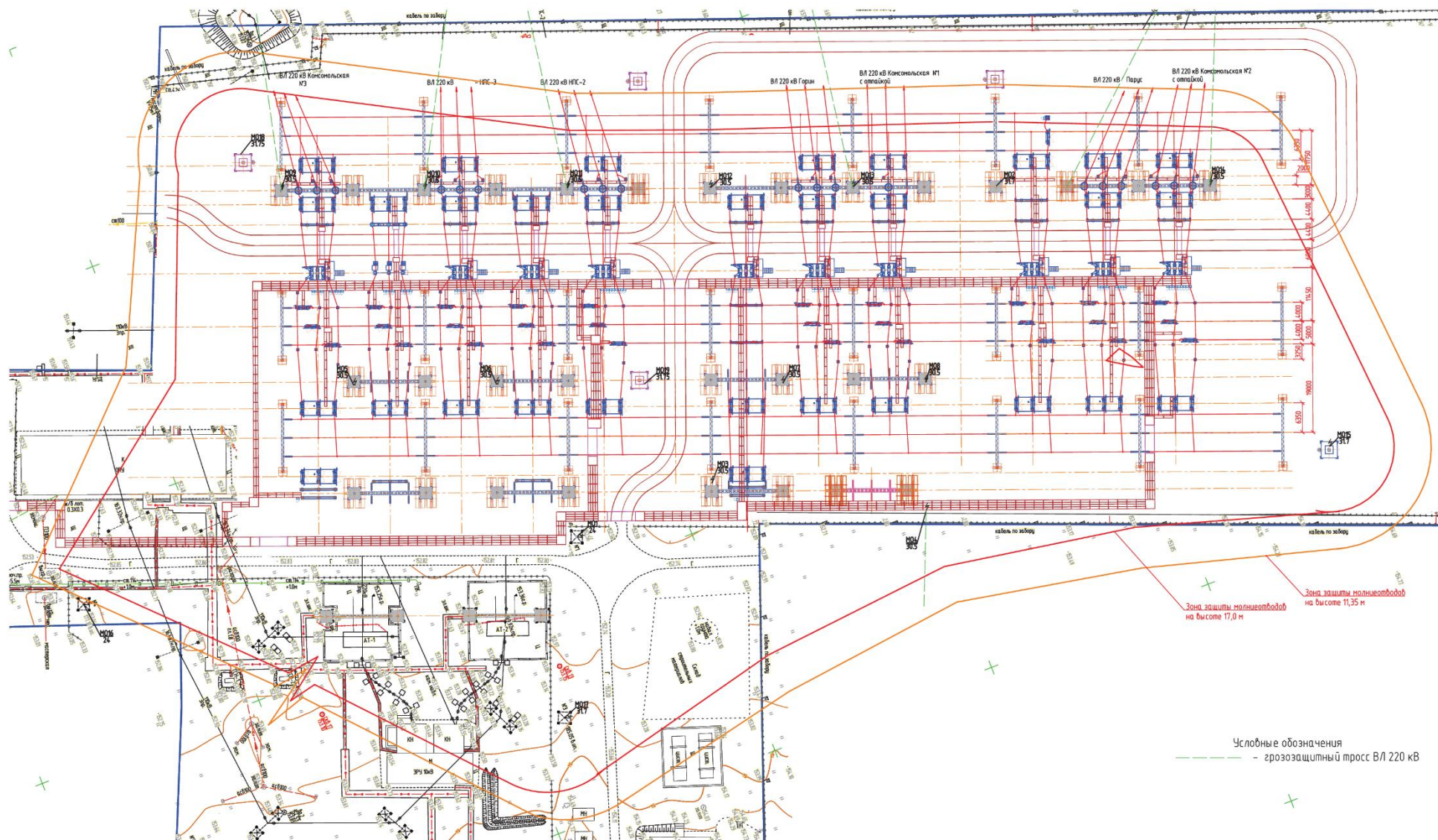


Рисунок 4 - План молниезащиты ПС 220 кВ ГПП-4

Высоковольтное оборудование располагается на территории действующей ПС в зоне защиты системы стержневых молниеприемников, расположенных на прожекторных мачтах, проектируемых ячейковых порталах и на прочих высотных объектах.

Дополнительных мероприятий по обеспечению защиты от прямых ударов молнии в данной работе не предусматривается.

Выводы по разделу.

В связи с реконструкцией ОРУ 220 кВ в работе предусматривается монтаж нового контура заземления ОРУ 220 кВ с применением оцинкованной стальной полосы в качестве горизонтальных заземлителей $5 \times 50 \text{ мм}^2$ и оцинкованного стального круга в качестве вертикальных электродов ($d18 \text{ мм}$, длиной $L=5 \text{ м}$). По результатам расчета общее сопротивление проектируемого контура заземления ПС составило $0,16 \text{ Ом}$, что позволяет сделать вывод о том, что заземляющее устройство удовлетворяет по сопротивлению растекания.

«Защита от ударов молнии на проектируемой площадке выполнена существующими молниеприемниками и проверена согласно «Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153-34.21.122-2003.

Молниезащита проектируемого оборудования выполняется:

- молниеотводами, установленными на мачтах освещения высотой 24 м и $31,75 \text{ м}$;
- отдельно стоящими молниеотводами высотой $31,7 \text{ м}$ » [15];
- молниеотводами, устанавливаемые на ячейковых порталах 220 кВ высотой $30,5 \text{ м}$.

3 Система собственных нужд

3.1 Назначение системы

Система собственных нужд предназначена для обеспечения питания переменным током всех потребителей, расположенных на ПС, при наличии напряжения на выводах стороны НН хотя бы одного из автотрансформаторов 220/110/10 кВ.

Основными потребителями собственных нужд ~380/220 В являются:

- питание и обогрев оборудования ОРУ 220 кВ, ЗРУ 110 кВ, ЗРУ 10 кВ;
- приводы РПН и устройства обдува силовых трансформаторов;
- зарядно-выпрямительные устройства щита постоянного тока;
- электроосвещение территории и помещений в зданиях ПС;
- сварочная сеть;
- обогрев, вентиляция и кондиционирование соответствующих помещений в зданиях ПС;
- панели КИПиА, РЗА, сигнализации;
- охранная сигнализация и видеонаблюдение;
- оборудование связи;
- оборудование АИИСКУЭ;
- оборудование СДТУ;
- оборудование ССПИ и АСУТП.

3.2 Структура системы

«Для электроснабжения потребителей сети собственных нужд (ССН) принято трехфазное напряжение 0,4 кВ с заземленной нейтралью, частотой 50 Гц.

В качестве источников электроснабжения потребителей собственных нужд ПС 220 кВ ГПП-4 приняты два существующих трансформатора собственных нужд (ТСН- 1 и ТСН-2) напряжением 10/0,4 кВ, мощностью 630 кВА каждый» [8]. ТСН получают электропитание от автотрансформаторов 1АТ и 2АТ через шины ЗРУ-10 кВ и располагаются на открытой части ПС ГПП-4, рядом с автотрансформаторами 1АТ и 2АТ.

От ТСН записан щит собственных нужд (ЩСН), расположенный в здании ЗРУ 110 кВ совмещенного с ОПУ, секции которого подключены через автоматический выключатель.

Для прохода кабеля в здание используются кабельные проходки. Согласно ПУЭ п.2.1.58 в местах прохода проводов и кабелей через стены или выхода наружу необходимо заделывать зазоры легко удаляемой массой от негорючего материала. Противопожарная пена, увеличивающийся в объеме, надежно изолирует пространства между кабелями, обеспечивает термостойкость переходного участка.

«Секции шин ЩСН подключены по схеме неявного резерва с раздельной работой ТСН, с АВР двустороннего действия по низкой стороне.

В нормальном режиме работы каждый ТСН питает приемники своей секции, при потере напряжения на одной из них подается питание от другой секции автоматическим включением секционного выключателя и отключением соответствующего ввода» [26].

«Для защиты людей от поражения электротоком применено зануление и защитное заземление по системе TN-C-S. Зануление проводящих частей электрооборудования, могущих оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции, выполняется путем присоединения их защитными проводниками к главной заземляющей шине. В качестве защитных проводников используются жилы питающих кабелей 0,4 кВ» [7].

В качестве защитных аппаратов используются автоматические выключатели с электронными расцепителями. Вводные и секционный выключатели предусмотрены выкатного типа.

«Распределительная сеть к трехфазным потребителям ~380 В выполнена 5-и проводной, к однофазным потребителям ~220 В 3-х проводной. Передача электроэнергии в сети собственных нужд к проектируемым шкафам выполнена с помощью силового кабеля с медными жилами марки ВВГнг(А)-LS, диапазон температуры окружающей среды - 50/+50 °С

Сечения кабелей выбраны по допустимому току нагрузки и проверены по падению напряжения, а также на отключение защитного аппарата при однофазном коротком замыкании. Отклонение напряжения на самом удалённом электроприемнике не превышает 5 %» [12].

3.2.1 Схема электроснабжения двигателей выключателей и разъединителей

«Для уменьшения длин и сечения кабелей предусматривается использование распределительных шкафов на территории ОРУ (ШПР1-ШПР11). Питание шкафа организуется по схеме «разомкнутого кольца» с подключением двух вводов от разных секций шкафа собственных нужд.

Приводы каждого аппарата подключаются индивидуальными кабелями к шкафам ШПР1-ШПР11» [2].

3.2.2 Схема электроснабжения обогревателей оборудования ОРУ

«Для уменьшения длин и сечения кабелей предусматривается использование распределительных шкафов на территории ОРУ (ШОР1-ШОР11). Питание шкафов организуется по схеме «разомкнутого кольца» с подключением двух вводов от разных секций шкафа собственных нужд.

Для обогрева приводов выключателей 220 кВ предусматриваются использование распределительных шкафов на ОРУ 220 кВ (ШОР1.1-ШОР11.1). Питание шкафов осуществляется по схеме «разомкнутого кольца» с подключением двух вводов от разных секций шкафа собственных нужд.

Обогрев приводов каждого выключателя, а также цепи обогрева иного оборудования, устанавливаемого на территории ОРУ, подключаются индивидуальными кабелями к распределительным шкафам.

Нагревательные элементы оборудованы термовыключателями, которые обеспечивают автоматическое включение и отключение обогрева по заданной уставке температуры» [2].

3.2.3 Схема электроснабжения светильников наружного освещения

Освещение территории подстанции выполняется светодиодными прожекторами мощностью 440 Вт, которые устанавливаются на существующей и проектируемых прожекторных мачтах на высоте 24 м. Угол наклона светильников в горизонтальной плоскости уточняется при монтаже. Кабель к светильникам прокладывается внутри мачты. Перечень выбранных осветительных приборов приведен в таблице 8.

Таблица 8 - Перечень выбранных осветительных приборов

Обознач.	Угол нацеливания прожектора в вертикальной плоскости	Угол нацеливания прожектора в горизонтальн ой плоскости	Высота установ ки	Тип прожектора
ПМ1-1	80	20	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ1-2	80	30	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ1-3	80	40	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ1-4	80	20	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ1-5	70	20	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ2-1	90	0	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ2-2	90	10	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ2-3	80	40	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ3-1	70	50	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ3-2	70	90	24	Прожектор HB LED 440 D30 500GK
ПМ3-3	80	45	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ3-4	80	30	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ4-1	70	50	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ4-2	70	90	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ4-3	80	40	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ5-1	80	30	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ5-2	80	60	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ5-3	80	60	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K
ПМ5-4	80	60	24	Прожектор HB LED 440 D30 5000K

Продолжение таблицы 8

Обознач.	Угол нацеливания прожектора в вертикальной плоскости	Угол нацеливания прожектора в горизонтальной плоскости	Высота установки	Тип прожектора
ПМ6-1	80	60	24	Прожектор НВ LED 440 D30 5000K
ПМ6-2	80	30	24	Прожектор НВ LED 440 D30 5000K

Питание и управление освещением выполняется от щита наружного освещения, установленного в ЗРУ 110 кВ совмещенное с ОПУ.

Сеть наружного освещения выполнена медными кабелями марки ВВГЭнг(А)-LS. По территории подстанции кабели освещения прокладываются в проектируемых железобетонных лотках, в местах пересечения с дорожным покрытием в БДЛ-плитах.

3.3 Проверка основного оборудования ССН

«На ПС 220 кВ ГПП-4 принята схема питания собственных нужд по схеме неявного резерва. Мощность каждого из взаиморезервирующих ТСН равна 630 кВА. В нормальном режиме каждый из работающих трансформаторов ССН питает половину расчетной мощности» [11].

Расчетная мощность ССН для проектируемого оборудования, для летнего и зимнего периода определена в таблице 9.

Таблица 9 – «Расчетная мощность ССН для проектируемого оборудования, для летнего и зимнего периода

Наименование	Установленная мощность			cosφ	Расчетная нагрузка на трансформатор						
	Акт. мощно сть потреб ителя, кВт	Кол., шт.	Общая мощно сть, кВт		Зимой			Летом			
					Кс	Актив ная мощно сть, кВт	Реакти вная мощно сть, кВАр	Кс	Актив ная мощно сть, кВт	Реакти вная мощно сть, кВАр	
Проектируемые нагрузки собственных нужд» [11]											
ОРУ 220 кВ. Питание приводов разъединителей 220 кВ	0,55	96	52,800	0,90	0,30	15,840	7,672	0,30	15,840	7,672	
ОРУ 220 кВ. Питание приводов выключателей 220 кВ	2,00	11	22,000	0,90	0,25	5,500	2,664	0,25	5,500	2,664	
ОРУ 220 кВ. Обогрев приводов разъединители 220 кВ	0,25	96	24,000	1,00	1	24,000	0,000	0,20	4,800	0,000	
ОРУ 220 кВ. Обогрев приводов выключателей 220 кВ	0,65	11	7,150	1,00	1	7,150	0,000	0,07	0,501	0,000	
Обогрев шкафов на ОРУ	0,55	81	44,550	1	1	44,550	0,000	0,07	3,119	0,000	
Питание шкафа сварки	7	2	14,000	0,90	0,20	2,800	1,356	0,20	2,800	1,356	
ВРУ 110 кВ совмещенное с ОПУ. Наружное освещение	9,24	1	9,240	0,96	0,70	6,468	1,887	0,70	6,468	1,887	
Итого						106,308	13,578	-	39,027	13,578	

Полная мощность собственных нужд проектируемого оборудования 220 кВ в зимний период: $S_3 = 107,17$ кВА. Полная мощность в летний период: $S_{л} = 41,32$ кВА.

В работе предусматривается установка оборудования взамен существующему. «Увеличение мощности существующих трансформаторов собственных нужд ТСН-1(2) не требуется» [2].

3.3.1 Выбор автоматических выключателей

«Выбор автоматических выключателей (ВА) проведен по условиям нормальной работы и с учетом расчетных условий короткого замыкания:

- по номинальному напряжению;
- по длительному расчетному току нагрузки;
- по термической стойкости к токам КЗ;
- по электродинамической устойчивости при КЗ;
- по предельной коммутационной способности аппаратов;
- по условиям селективности;
- по условиям чувствительности к токам КЗ.

Токи вводных и секционных ВА на щитах 0,4 кВ определены по мощности нагрузки и составляют:

- 1250 А для вводных ВА;
- 1250 А для секционного ВА.

Выключатели автоматические обеспечивают селективное отключение КЗ на защищаемом участке» [22].

Результаты выбора выключателей для ЩСН приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Результаты выбора выключателей для ЩСН

Выключатель	Номер выключателя	5QF-1	5QF-1.1	50F-1.2	5QF-1.3	5QF-1.4	5QF-1.5	5QF-1.6	5QF-1.7	5QF-1.8	5QF-1.9	5QF-1.10	5QF-1.11
	Тип автоматического выключателя	NSX250B	NSX100 B	C120H	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	1C60L	iC60L	iC60L
	Тип расцепителя	ML6.2A	TM80D	80C	25C	25C	25C	63C	25C	25C	25C	25C	25C
	Номинальный ток, $I_{ном.}$, А	250	80	80	25	25	25	63	25	25	25	25	25
	Ток уставки по перегрузке, А	200	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Время уставки по перегрузке, с	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ток уставки по КЗ (ЗКЗ/1КЗ), А	1500/200	640	680	200	200	200	504	200	200	200	200	200
	Время уставки по КЗ (ЗКЗ/1КЗ), с	0,01/0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Ток срабатывания отсечки, А	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Время срабатывания отсечки, с	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Потребитель	Расчетная мощность, кВт	42,30	35,00	6,00	2,5190	0,08	0,45	8,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,35
	Расчетный ток, А	71,5	59,2	30,3	12,7	0,4	2,3	40,4	5,1	7,6	7,6	7,6	6,8
	Пусковой ток, А	71,5	59,2	30,3	12,7	0,4	2,3	40,4	5,1	7,6	7,6	7,6	6,8
	Наименование присоединения	1 секция. Панель N5. Группа 1	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Шкаф ЗУЗ. Питание зарядного устройство ЗУЗ	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная АСУ ТП (№205). Шкаф ШТП. Резервное питание.	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102) Шкаф ШП12. Питание блока аварийного освещения БА01	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Шкаф ШВ1. Питание цепей МСА. ШПТ1	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная охраны (№203). Шкаф ШОС1. Источник G1. Питание противопожарных систем	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение связи №1 (№110) Шкаф ШОЗП. Вводная панель. Секция N1. Питание оборудования связи	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110кВ. Серверная охраны (№203). Шкаф ШОС1. Питание охранных систем	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная охраны (№203). Шкаф ШОС р.1. Питание охранных систем	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная охраны (№203). Шкаф ШОС р.2. Питание охранных систем	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная охраны (№203). Шкаф ШОС р.3. Питание охранных систем	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Здание ОПУ. 1 этаж. Питание шкафов охранных систем ШОС7-ШОС12

Продолжение таблицы 10

Выключатель	Номер выключателя	5QF-1.12	5QF-1.13	5QF-1.14	5QF-1.15	5QF-1.16	5QF-2	5QF-2.1	5QF-2.2	5QF-2.3	5QF-2.4	5QF-4	5QF-4.1
	Тип автоматического выключателя	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	NSX250 B	NSX100B	NSX100B	NSX100 B	NSX100 B	NSX250 B	NSX100 B
	Тип расцепителя	25C	25C	25C	25C	25C	ML6.2A	TM40D	TM63 D	TM40D	TM63D	ML6.2A	TM40D
	Номинальный ток, $I_{ном.}$, А	25	25	25	25	25	250	40	63	40	63	250	40
	Ток уставки по перегрузке, А	-	-	-	-	-	200	40	63	40	63	200	40
	Время уставки по перегрузке, с	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	8	-
	Ток уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), А	200	200	200	200	200	1500/200	500	500	500	500	1500/200	500
	Время уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), с	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01/0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01/0,1	0,01
	Ток срабатывания отсечки, А	-	-	-	-	-	1500	-	-	-	-	1500	-
	Время срабатывания отсечки, с	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	0,01	-
Потребитель	Расчетная мощность, кВт	0,68	6,2	7,92	-	-	2,64	0,04	22,00	0,25	-	-	-
	Расчетный ток, А	3,4	9,42	12,03	-	-	38,0	0,2	38,0	0,53	-	-	-
	Пусковой ток, А	3,4	9,42	12,03	-	-	152,0	0,2	1520	2,65	-	-	-
	Наименование присоединения	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110кВ. Здание ЗРУ 1 этаж. Питание шкафов охраняемых систем ШОС13-ШОС15	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная охраны (N703). Шкаф ШУТК. Источник G1. Управление телекоммуникациями	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (N102). Источник G1. Щит наружного освещения	Резерв	Резерв	1 секция. Панель №5. Группа 2	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Приточная вентиляция АВ (помещение №107). Шкаф питания противопожарных клапанов NX2.1	Здание насосной. Насосная станция пожаротушения. Шкаф питания SV1. Резервное питание.	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Коридор (помещение №115). ПУ задвигкой системы пожаротушения Н-А2 №1	Резерв	1 секция. Панель №5. Группа 2	Резерв

Продолжение таблицы 10

Выключатель	Номер выключателя	5QF-4.2	50F-4.3	50F-4.4	30F-1	3QF-1.1	30 F-1.2	30F-1.3	3QF-1.4	3QF-1.5	30F-2	3QF-2.1	3QF-2.2
	Тип автоматического выключателя	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	MS X 25 OB	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX250 В	NSX100 В	NSX100 В
	Тип расцепителя	TM63D	ML 2.2A	ML 2.2A	ML6.2A	ML 2.2A	ML 2.2A	ML 2.2A	ML 2.2A	ML2.2A	ML6.2A	TM80D	TM63D
	Номинальный ток, $I_{ном.}$, А	63	63	63	250	25	25	80	80	100	250	80	40
	Ток уставки по перегрузке, А	63	63	63	200	25	25	80	80	100	250	80	40
	Время уставки по перегрузке, с	-	-	-	8	-	-	-	-	-	16	-	-
	Ток уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), А	500			1500/200	-	-	-	-	-	2500/250	640	500
	Время уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), с	0,01			0,01/0,1	-	-	-	-	-	0,01/0,1	0,01	0,01
	Ток срабатывания отсечки, А	-	-	-	1500	-	-	-	-	-	3000	-	-
	Время срабатывания отсечки, с	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	-
Потребитель	Расчетная мощность, кВт	-	35,55	31,55	-	9,60	9,56	44,10	44,10	55,74	394-1	35,00	18,00
	Расчетный ток, А	-	54,01	47,94	-	14,59	14,53	62,45	62,45	84,68	66,6	59,2	27,4
	Пусковой ток, А	-	54,01	47,94	-	14,59	14,53	62,45	62,45	84,68	66,6	592	27,4
	Наименование присоединения	Резерв	Источник G1. Обогрев приводов разъединителей 220 кВ яч. №7-11 и шкафов на ОРУ 220 кВ	Источник G1. Обогрев приводов разъединителей 220 кВ яч. №1-5 и шкафов на ОРУ 220 кВ	1 секция. Панель №3. Группа 1	ОРУ 220 кВ. Источник G1. Питание приводов разъединителей 220 кВ и выключателей 220 кВ яч. №7-11	ОРУ 220 кВ. Источник G1. Питание приводов разъединителей 220 кВ и выключателей 220 кВ яч. №1-5	ОРУ 220 кВ. Источник G1. Обогрев приводов выключателей 220 кВ яч. №96-11	ОРУ 220 кВ. Источник G1. Обогрев приводов выключателей 220 кВ яч. №7-9	ОРУ 220 кВ. Источник G1. Обогрев приводов выключателей 220 кВ яч. №4-5	1 секция. Панель №3. Группа 2	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ(Ш). Шкаф 354. Питание зарядного устройства ЗУ4	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Щиток РВ2.1. Штепсельная сеть 220В. ОПУ 1 этаж. ЗРУ 110 кВ

Продолжение таблицы 10

Выключатель	Номер выключателя	3QF-2.3	3QF-2.4	3QF-3	3QF-3.1	3QF-3.2	3QF-3.3	3QF-3.4	3QF-4	3QF-4.1	3QF-4.2	3QF-4.3	3QF-4.4
	Тип автоматического выключателя	NSX100 В	NSX100 В	N3X230 5	N5X100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	N3X220 3	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В
	Тип расцепителя	TM40D	TM80D	ML6.2A	TM40D	TM40D	TM63D	ML 2.2A	ML 6.2A	TM40D	TM40D	TM63D	ML2.2A
	Номинальный ток, $I_{ном.}$, А	40	80	250	40	40	63	-	250	40	40	63	-
	Ток уставки по перегрузке, А	40	80	200	40	40	63	-	200	40	40	63	-
	Время уставки по перегрузке, с	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-
	Ток уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), А	500	640	1500/200	500	500	500	-	1500/200	500	500	500	-
	Время уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), с	0,01	0,01	0,01/0,1	0,01	0,01	0,01	-	0,01/0,1	0,01	0,01	0,01	-
	Ток срабатывания отсечки, А	-	-	1500	-	-	-	-	1500	-	-	-	-
	Время срабатывания отсечки, с	-	-	0,01	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
Потребитель	Расчетная мощность, кВт	23,25	31,87	18,90	1,41	17,49	-	-	5,29	3,78	3,78	-	-
	Расчетный ток, А	35,4	48,5	31,9	2,4	280	-	-	8,0	5,7	5,7	-	-
	Пусковой ток, А	35,4	48,5	31,9	9,5	280	-	-	12,2	5,7	5,7	-	-
	Наименование присоединения	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№302). Щиток РW2.3. Отопление ОПУ 1 этаж.	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№302). Щиток РW2.5. Кондиционирование ОПУ 1 этаж.	1 секция. Панель №3. Группа 3	Питание приводов выключателей и разъединителей 110 кВ (основное питание)	Обогрев приводов выключателей 110 кВ, разъединителей 110 кВ, шкафов вторичной коммутации (резервное питание)	Резерв	Резерв	1 секция. Панель №3. Группа 4	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЗРУ 110 кВ (№101) 1 этаж. Сборка DS1.1. Рабочее освещение ЗРУ 110 кВ 1 этаж	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЗРУ 110 кВ (№101) 2 этаж. Сборка DS 1.2. Рабочее освещение ЗРУ 110 кВ 2 этаж	Резерв	Резерв

Продолжение таблицы 10

Выключатель	Номер выключателя	1QF-0	QF-CB	2QF-0	4QF-1	4QF-1.1	4QF-1.2	4QF-1.3	4QF-1.4	4QF-1.5	4QF-2	4QF-2.1	4QF-2.2
	Тип автоматического выключателя	MTZ116 H1	MTZ116 H1	MTZ116 H1	NSX250 B	NSX100 B	NSX100 B	NSX100 B	NSX100 B	NSX100 B	NSX2B QB	NSX100 B	NSX100 B
	Тип расцепителя	Microlog ic 6 0	Microlog ic 60	Microlog ic 6.0	ML 6.2A	ML2.2A	ML2.2A	ML2.2A	ML 2.2A	ML 2.2A	ML6.2A	TM80D	TM40D
	Номинальный ток, $I_{ном.}$, А	1600	1600	1600	250	100	80	80	25	25	250	80	40
	Ток уставки по перегрузке, А	1200	1200	1200	200	100	80	80	25	25	200	80	40
	Время уставки по перегрузке, с	-	-	-	8	-	-	-	-	-	8	-	-
	Ток уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), А	4920/100 0	4920/100 0	4920/100 0	1500/200	-	-	-	-	-	1500/200	640	500
	Время уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), с	0,20	0,20	0,20	0,01/0,1	-	-	-	-	-	0,01/0,1	0,01	0,01
	Ток срабатывания отсечки, А	-	-	-	1500	-	-	-	-	-	1500	-	-
	Время срабатывания отсечки, с	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	-
Потребитель	Расчетная мощность, кВт	107,68	-	121,68	-	55,74	41,10	41,10	9,56	9,05	32,50	35,00	12,00
	Расчетный ток, А	163,8	-	185,1	-	84,68	62,45	62,45	14,53	13,75	54,9	59,2	18,3
	Пусковой ток, А	249,2	-	2816	-	84,68	62,45	62,45	14,53	13,75	54,9	59,2	18,3
	Наименование присоединения	Ввод от ТСН-1	Секционный выключатель с АВР + компоненты управления и АВР	Ввод от ТСН-2	2 секция. Панель №4. Группа 1.	ОРУ 220 кВ. Источник G2. Обогрев приводов выключателей 220 кВ яч. №1-5	ОРУ 220 кВ. Источник G2. Обогрев приводов выключателей 220 кВ яч. №7-9.	ОРУ 220 кВ. Источник G2. Обогрев приводов выключателей 220 кВ яч. №9-11.	ОРУ 220 кВ. Источник G2. Питание приводов разъединителей 220 кВ и выключателей 220 кВ яч. №7-9.	ОРУ 220 кВ. Источник G2. Питание приводов разъединителей 220 кВ и выключателей 220 кВ яч. №9б-11	2 секция. Панель №4. Группа 2.	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Шкаф ЗУ2. Питание зарядного устройства ЗУ2.	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение панелей РЗА (№201). Щиток РВ2.2. Штоссельная сеть 220 В. 2 этаж.

Продолжение таблицы 10

Выключатель	Номер выключателя	4QF-2.3	4QF-2.4	4QF-3	4QF-3.1	4QF-3.2	4QF-3.3	4QF-3.4	4QF-4	4QF-4.1	4QF-4.2	4QF-4.3	4QF-4.4
	Тип автоматического выключателя	NSX100 В	NSX100 В	NSX250 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX250 В	NSX160B	NSX100 В	NSX100B	NSX100 В
	Тип расцепителя	TM63D	TM40D	ML 6.2A	TM40D	TM40D	TM63D	ML2.2A	ML6.2A	TM1600	TM40D	TM40D	TM40D
	Номинальный ток, I _{ном.} , А	63	40	250	40	40	63	-	250	160	40	40	40
	Ток уставки по перегрузке, А	63	40	200	40	40	63	-	250	160	40	40	40
	Время уставки по перегрузке, с	-	-	1	-	-	-	-	16	-	-	-	-
	Ток уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), А	500	500	1500/200	500	500	500	-	2000/250	1250	500	500	500
	Время уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), с	0,01	0,01	0,01/0,1	0,01	0,01	0,01	-	0,01/0,1	0,01	0,01	0,01	0,01
	Ток срабатывания отсечки, А	-	-	1500	-	-	-	-	2000	-	-	-	-
	Время срабатывания отсечки, с	-	-	0,01	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
Потребитель	Расчетная мощность, кВт	23,25	12,55	18,90	1,41	17,49	-	-	-	89,7/25,2 зима/лето	2,64	2,46	3,55
	Расчетный ток, А	35,4	25,1	31,9	24	28,0	-	-	-	137,4/39,4	4,5	4,2	6,0
	Пусковой ток, А	35,4	25,1	31,9	9,5	28,0	-	-	-	154,2/56,2	4,5	4,2	6,0
	Наименование присоединения	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение панелей РЗА (№01). Щиток РВ2.4. Отопление ОПУ. 2 этаж.	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение панелей РЗА (№201). Щиток РВ2.6. Кондиционирование ОПУ. 2 этаж.	2 секция. Панель №4. Группа 3.	Питание приводов выключателей и разъединителей 110 кВ (резервное питание)	Обогрев приводов выключателей 110 кВ, разъединителей 110 кВ, шкафов вторичной коммутации (основное питание).	Резерв	Резерв	2 секция. Панель №4. Группа 4	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Венткамера приточная (№107) Сборка ШСАУ1.1. Питание системы вентиляции АБ.	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Сборка DS2.1. Рабочее освещение ОПУ 110 кВ. 1 этаж	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение панелей РЗА (№201). Сборка 082.2. Рабочее освещение ОПУ 110 кВ. 2 этаж	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Сборка DY2.1. Рабочее освещение территории подстанции

Продолжение таблицы 10

Потребитель	Выключатель	Номер выключателя	6QF-1	6QF-1.1	6QF-1.2	6QF-1.3	6QF-1.4	6QF-1.5	6QF-1.6	6QF-1.7	6QF-1.8	6QF-1.9	6QF-1.10	6QF-1.11
		Тип автоматического выключателя	NSX250 В	NSX100 В	C120H	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L
		Тип расцепителя	ML62A	TM80D	80C	25C	25C	63C	25C	25C	25C	25C	25C	25C
		Номинальный ток, I _{ном.} , А	250	80	80	25	25	63	25	25	25	25	25	25
		Ток уставки по перегрузке, А	200	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Время уставки по перегрузке, с	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ток уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), А	1500/200	6/0	680	200	200	504	200	200	200	200	200	200
		Время уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), с	0,01/0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		Ток срабатывания отсечки, А	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Время срабатывания отсечки, с	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Наименование присоединения	Расчетная мощность, кВт	-	35,00	6,00	1,9110	0,08	8,00	0/5	1,35	0,03	0,03	0,007	1,00
		Расчетный ток, А	-	592	30,3	9,7	0,4	40,4	2,3	6,8	0,2	0,2	0,0	5,1
		Пусковой ток, А	-	592	30,3	9,7	0,4	40,4	2,3	6,8	0,2	0,2	0,0	5,1
		Наименование присоединения	2 секция. Панель №6. Группа 1	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Шкаф ЗУ1. Питание зарядного устройства ЗУ1.	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная АСУ ТП (№205). Шкаф ШПТ. Рабочее питание.	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Шкаф ШП2.2. Питание блока аварийного освещения БА02.	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЩСН и ЩПТ (№102). Шкаф ШВ2. Питание цепей МСА. ШПТ2	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение связи №1 (№110). Шкаф ШОЭП. Вводная панель. Секция №2. Питание обихудования связи	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная охраны (№203). Шкаф ШПС1. Источник G2. Питание противопожарных систем.	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Здание ОПУ 2 этаж. Питание шкафов охранных систем ШОС2-ШОС6.	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная АСУ ТП (№05). Блок С2000-А СПТ. Питание	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная АСУ ТП (№205). Блок РИП-12. Питание G3.	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. АРМ дежурного (№202). Монитор видеодомофона. Питание BGR.	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная охраны (№203). Шкаф ШОС1. Питание охранных систем

Продолжение таблицы 10

Потребитель	Выключатель	Номер выключателя	6QF-1.12	6QF-1.13	6QF-1.14	6QF-1.15	6QF-1.16	6QF-2	6QF-2.1	6QF-2.2	6QF-2.3	6QF-2.4	6QF-4	6QF-4.1
		Тип автоматического выключателя	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	iC60L	NSX250	NSX100 B	NSX100 B	NSX100 B	NSX100 B	NSX250 B	NSX100 B
		Тип расцепителя	25C	63C	63C	63C	25C	ML 6.2A	TM40D	TM40D	ML 2.2A	ML2.2A	ML 6.2A	TM63D
		Номинальный ток, $I_{ном.}$, А	25	63	63	63	25	250	40	40	100	-	250	63
		Ток уставки по перегрузке, А	-	-	-	-	-	200	40	40	-	-	200	63
		Время уставки по перегрузке, с	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-
		Ток уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), А	200	504	504	504	200	1500/200	500	500	-	-	1500/200	500
		Время уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), с	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01/0,1	0,01	0,01	-	-	0,01/0,1	0,01
		Ток срабатывания отсечки, А	-	-	-	-	-	1500	-	-	-	-	1500	-
		Время срабатывания отсечки, с	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	0,01	-
		Расчетная мощность, кВт	6,2	-	-	-	-	6,54	6,54	0,25	31,55	35,55	2,6 А	22,00
		Расчетный ток, А	9,42	-	-	-	-	11,3	11,3	0,53	47,94	54,01	38,0	38,0
		Пусковой ток, А	9,42	-	-	-	-	22,8	22,8	2,65	47,94	54,01	152,0	152,0
		Наименование присоединения	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Серверная охраны (№703). Шкаф ШУТК. Источник G2. Управление телекоммуникациями	Резерв	Резерв	Резерв	Резерв	2 секция. Панель №6. Группа 2	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЦТП и ЩСН (помещение №102). Шкаф питания вентиляционных систем NX2.2	Здание, объединенное ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Коридор (помещение №115. ШУ задвигкой системы пожаротушения Н-А2 №2	ОРУ 220 кВ. Источник G2. Обогрев приводов разъединителей 220 кВ яч. №1-5 и шкафов на ОРУ 220 кВ	ОРУ 220 кВ. Источник G2. Обогрев приводов разъединителей 220 кВ яч. №7-11 и шкафов на ОРУ 220 кВ	2 секция. Панель №6. Группа 4	Здание насосной. Насосная станция пожаротушения. Шкаф питания SV1. Рабочее питание.

Продолжение таблицы 10

Выключатель	Номер выключателя	6QF-4.2	6QF-4.3	6QF-4.4	8QF-1	8QF-1.1	8QF-1.2	8QF-1.3	8QF-1.4	8QF-1.5	8QF-1.6	8QF-1.7	8QF-1.8
	Тип автоматического выключателя	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX250 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В	NSX100 В
	Тип расцепителя	TM40D	TM63D	ML2.2A	ML6.2A	TM80D	TM80D	TM80D	TM80D	TM80D	TM63D	TM40D	TM40D
	Номинальный ток, $I_{ном.}$, А	40	63	-	250	80	80	80	80	63	63	40	40
	Ток уставки по перегрузке, А	40	63	-	200	80	80	80	80	63	63	40	40
	Время уставки по перегрузке, с	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ток уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), А	500	500	-	1500/200	640	640	640	640	500	500	500	500
	Время уставки по КЗ (3КЗ/1КЗ), с	0,01	0,01	-	0,01/0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Ток срабатывания отсечки, А	-	-	-	1500	-	-	-	-	-	-	-	-
	Время срабатывания отсечки, с	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Потребитель	Расчетная мощность, кВт	-	8,75	-	3,60	30,00	30,00	30,00	30,00	-	14,00	-	-
	Расчетный ток, А	-	15,8	-	491	49,1	49,1	49,1	49,1	-	21,27	-	-
	Пусковой ток, А	-	15,8	-	196,3	196,3	196,3	196,3	196,3	-	21,27	-	-
	Наименование присоединения												
		Резерв	Здание насосной. Шкаф ШУ1 управления обогревом трубопроводов и пожарного резервуара	Резерв	2 секция. Панель №8. Группа 1	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. ОПУ Сварка. Посты DC2.1 - DC2.2	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЗРУ 110 кВ. 1 этаж. Сварка. Посты DC1.1-DC1.3	Здание, объединённое ОПУ с ЗРУ 110 кВ. Помещение ЗРУ 110 кВ. 2 этаж. Сварка. Посты DC1.4-DC1.6	Территория подстанции. Щитки сборки DC2.1-DC2.4	Резерв	ОРУ 220 кВ. Питание шкафа сборки	Резерв	Резерв

3.3.2 Проверка кабелей на возгорание при КЗ

«Проверка кабелей сети собственных нужд на возгорание выполнена по методике, приведенной в Циркуляре № Ц-02-98 (Э) РАО «ЕЭС России» от 16.03.98 г. «О проверке кабелей на возгорание при действии тока короткого замыкания», результаты приведены в таблице 11.

В соответствии с указанной методикой, расчетная температура токопроводящих жил кабелей с пластмассовой и поливинилхлоридной изоляцией не должна превышать 350°C при протекании тока КЗ до устранения режима КЗ» [20].

Таблица 11 - Проверка кабеля на возгорание при воздействии тока КЗ по циркуляру №Ц-02-98 (Э)

Наименование параметра	Значение параметра	
«Длительно допустимая температура жилы для кабеля с пластмассовой изоляцией, $\Theta_{дд}$, °C	70	
Расчетная температуры окружающей среды, $\Theta_{окр}$, °C	25	
Фактическая температура окружающей среды во время к.з. Θ_0 , °C	35	
Значение тока перед КЗ, $I_{аб}$, А	9,42	55,74
Значение расчетного длительно допустимого тока, $I_{дл}$, А	58	78
Расчетная температура жилы до КЗ, Θ_H , °C (при наихудших условиях)	26,2	47,98
Постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, b , $\text{мм}^4/(\text{KA}^2 \cdot \text{c})$ » [20]	19,58	19,58
Проверяемое сечение жилы кабеля, S , мм^2	10,0	16,0
Ток максимального КЗ в начале проверяемого кабеля, $I_K^{(1)}$, кА	9,87	9,87
Длительность КЗ (время срабатывания защиты), $t_{откл}$, с	0,01	0,01
Интеграл Джоуля (тепловой импульс) от тока КЗ, $V_{тер}$, $\text{KA}^2 \cdot \text{c}$	2,92	2,92
Коэффициент, $K = (b \cdot V_{тер})/S^2$	0,57	0,52
«Величина, обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0°C, a , °C	228	228» [10]
Температура жилы в конце КЗ, $\Theta_K = \Theta_H \cdot e^K + a \cdot (e^K - 1)$, °C	222,5	236,74
«Значение расчетных температур токопроводящих жил кабелей с пластмассовой изоляцией при проверке на возгорание, °C» [23]	222,5<350	236,74<350

На основании расчета сделан вывод о применении кабелей, подключаемых к щиту собственных нужд, для питания трехфазных потребителей – не менее 10 мм².

3.4 Размещение оборудования и автоматизация

Перечень шкафов ССН, устанавливаемых на ОРУ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень шкафов ССН, устанавливаемых на ОРУ

Номер шкафа	Назначение шкафа
ШОР1.1, ШОР2.1, ШОР3.1, ШОР4.1, ШОР5.1, ШОР7.1, ШОР8.1, ШО9.1, ШОР96.1, ШОР10.1, ШОР11.1	Шкаф обогрева приводов разъединителей 220 кВ и шкафов на ОРУ 220 кВ
ШОР 1.2, ШОР2.2, ШОР3.2, ШОР4.2, ШОР5.2, ШОР7.2, ШОР8.2, ШОР9.2, ШОР96.2, ШОР10.2, ШОР 11.2	Шкаф обогрева приводов выключателей 220 кВ
ШПР1, ШПР2, ШПР3, ШПР4, ШПР5, ШПР7, ШПР8, ШПР9, ШПР96, ШПР10, ШПР11	Шкаф питания приводов распределительный
ШУР 1.1-ШУР 1.5, ШУР2.1-ШУР2.4, ШУР3.1-ШУР3.4, ШУР4.1-ШУР4.4, ШУР5.1-ШУР5.3, ШУР7.1-ШУР7.3, ШУР8.1-ШУР8.4, ШУР9.1-ШУР9.4, ШУР96.1-ШУР96.4, ШУР10.1-ШУР10.4, ШУР11.1-ШУР 11.4	Шкаф управления разъединителями 220 кВ
ШСв1, ШСв2	Шкаф сварки
ШЗВ1, ШЗВ2, ШЗВ3, ШЗВ4, ШЗВ5, ШЗВ7, ШЗВ8, ШЗВ96, ШЗВ10, ШЗВ11	Шкаф зажимов выключателя
ШЗТ2	Шкаф трансформаторов тока

В работе предусматривается организация оперативной блокировки разъединителей 220 кВ с использованием контроллеров присоединений АСУ ТП.

Питание цепей блокировки разъединителем организовано от шкафа питания цепей ОБР 220 кВ.

Управление главными и заземляющими ножами разъединителей 220 кВ предусматривается:

- местное (кнопками управления непосредственно в приводе КА);
- безопасное местное (кнопками управления, установленными в выносных шкафах управления на ОРУ 220 кВ);
- дистанционное (с АРМ ОМ через АСУ ТП).

В нормальном режиме управление коммутационными аппаратами осуществляется с АРМ ОП. При выходе из строя АРМ ОМ либо АСУ ТП управление будет осуществляться из шкафов местного управления разъединителей.

«Для резервирования трансформаторов собственных нужд щит собственных нужд оснащается системой автоматического ввода резерва (АВР) с функцией возврата схемы АВР СН в исходное состояние.

Система АВР обеспечивает блокировку параллельной работы двух ТСН. При аварийном срабатывании защит вводных или секционных выключателей система АВР блокируется. Пусковым органом АВР является реле напряжения, контролирующее следующие параметры:

- понижение напряжения, регулируется в диапазоне (0,7...1) номинала;
- превышение напряжения, регулируется в диапазоне (1...1,3) номинала;
- обрыв одной или более фаз;
- обрыв нейтрального проводника.

Схема АВР реализована с использованием релейных схем» [24].

Выводы по разделу.

В качестве источников электроснабжения потребителей собственных нужд ПС 220 кВ ГПП-4 приняты два существующих трансформатора собственных нужд (ТСН- 1 и ТСН-2) мощностью 630 кВА каждый. По результатам расчетов нагрузок полная мощность собственных нужд проектируемого оборудования 220 кВ в зимний период - 107,17 кВА, а в

летний период 41,32 кВА. Новое оборудование устанавливается взамен существующему, увеличение мощности существующих трансформаторов собственных нужд не требуется.

От ТСН записан щит собственных нужд (ЩСН), расположенный в здании ЗРУ 110 кВ совмещенного с ОПУ. Секции шин ЩСН подключены по схеме неявного резерва с раздельной работой ТСН, с АВР двустороннего действия по низкой стороне.

В нормальном режиме работы каждый ТСН питает приемники своей секции, при потере напряжения на одной из них подается питание от другой секции автоматическим включением секционного выключателя и отключением соответствующего ввода.

Выполнен выбор автоматических выключателей по условиям нормальной работы и с учетом расчетных условий короткого замыкания. Вводные выключатели и секционный выбраны на 1250 А.

«Передача электроэнергии в сети собственных нужд к проектируемым шкафам выполнена с помощью силового кабеля с медными жилами марки ВВГнг(А)-LS. Сечения кабелей выбраны по допустимому току нагрузки и проверены по падению напряжения, а также на отключение защитного аппарата при однофазном коротком замыкании. Выполнена проверка кабелей сети собственных нужд на возгорание по методике, приведенной в Циркуляре № Ц-02-98

Для уменьшения длин и сечения кабелей предусматривается использование распределительных шкафов на территории ОРУ: ШРП – для электроснабжения двигателей выключателей и разъединителей; ШОР – для электроснабжения обогревателей оборудования ОРУ» [12].

Освещение территории подстанции выполняется светодиодными прожекторами НВ LED мощностью 440 Вт, которые устанавливаются на существующей и проектируемых прожекторных мачтах на высоте 24 м.

Заключение

Цель бакалаврской работы заключалась в разработке технических мероприятий по обеспечению надежного функционирования ПС 220 кВ ГПП-4 в связи со строительством новой ЛЭП 220 кВ и заменой морально и физически устаревшего электрооборудования ОРУ 220 кВ.

Технические параметры проектируемого оборудования и ошиновки РУ 220 кВ подстанции приняты не менее параметров отходящих ВЛ 220 кВ.

Определены основные характеристики принимаемых к установке и установленных ранее на ПС элегазовых выключателей 220 кВ, встроенных и отдельностоящих трансформаторов тока 220 кВ, разъединителей 220 кВ, измерительных трансформаторов напряжения 220 кВ.

Для измерения напряжения на шинах 1 СШ 220 и 2 СШ 220 используются существующие ТН 220 кВ. Предусматривается их демонтаж и установка на новом месте, на новых фундаментах. Для измерения напряжения на ОСШ 220 в работе предусматривается установка нового ТН 220 кВ.

Перемычки и спуски к оборудованию предусматриваются проводом АС 400/51 на номинальный ток 960 А. Сечение принятых проводников прошло проверку на термическую стойкость.

В связи с реконструкцией ОРУ 220 кВ в работе предусматривается монтаж нового контура заземления ОРУ 220 кВ с применением оцинкованной стальной полосы в качестве горизонтальных заземлителей $5 \times 50 \text{ мм}^2$ и оцинкованного стального круга в качестве вертикальных электродов ($d18 \text{ мм}$, длиной $L=5 \text{ м}$). По результатам расчета общее сопротивление проектируемого контура заземления ПС составило $0,16 \text{ Ом}$, что позволяет сделать вывод о том, что заземляющее устройство удовлетворяет по сопротивлению растекания.

«Защита от ударов молнии на проектируемой площадке выполнена существующими молниеприемниками и проверена согласно «Инструкции по

устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153-34.21.122-2003.

Молниезащита проектируемого оборудования выполняется:

- молниеотводами, установленными на мачтах освещения высотой 24 м и 31,75 м;
- отдельно стоящими молниеотводами высотой 31,7 м» [15];
- молниеотводами, устанавливаемые на ячейковых порталах 220 кВ высотой 30,5 м.

В качестве источников электроснабжения потребителей собственных нужд ПС 220 кВ ГПП-4 приняты два существующих трансформатора собственных нужд (ТСН- 1 и ТСН-2) мощностью 630 кВА каждый. По результатам расчетов нагрузок полная мощность собственных нужд проектируемого оборудования 220 кВ в зимний период - 107,17 кВА, а в летний период 41,32 кВА. Новое оборудование устанавливается взамен существующему, увеличение мощности существующих трансформаторов собственных нужд не требуется.

От ТСН записан щит собственных нужд (ЩСН), расположенный в здании ЗРУ 110 кВ совмещенного с ОПУ. Секции шин ЩСН подключены по схеме неявного резерва с раздельной работой ТСН, с АВР двустороннего действия по низкой стороне.

В нормальном режиме работы каждый ТСН питает приемники своей секции, при потере напряжения на одной из них подается питание от другой секции автоматическим включением секционного выключателя и отключением соответствующего ввода.

Выполнен выбор автоматических выключателей по условиям нормальной работы и с учетом расчетных условий короткого замыкания. Вводные выключатели и секционный выбраны на 1250 А.

«Передача электроэнергии в сети собственных нужд к проектируемым шкафом выполнена с помощью силового кабеля с медными жилами марки ВВГнг(А)-LS.

Сечения кабелей выбраны по допустимому току нагрузки и проверены по падению напряжения, а также на отключение защитного аппарата при однофазном коротком замыкании. Выполнена проверка кабелей сети собственных нужд на возгорание по методике, приведенной в Циркуляре № Ц-02-98.

Для уменьшения длин и сечения кабелей предусматривается использование распределительных шкафов на территории ОРУ: ШРП – для электроснабжения двигателей выключателей и разъединителей; ШОР – для электроснабжения обогревателей оборудования ОРУ» [12].

Освещение территории подстанции выполняется светодиодными прожекторами HB LED мощностью 440 Вт, которые устанавливаются на существующей и проектируемых прожекторных мачтах на высоте 24 м.

Список используемой литературы

1. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование: учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
2. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем: учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.
3. ГОСТ 1983-2001 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029490> (дата обращения 16.07.2024).
4. ГОСТ 9920-89 Электроустановки переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Длина пути утечки внешней изоляции [Электронный ресурс]: URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/19448/> (дата обращения 16.07.2024).
5. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320> (дата обращения 16.07.2024).
6. ГОСТ 15543.1-89 Изделия электротехнические и другие технические изделия. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004477> (дата обращения 16.07.2024).
7. ГОСТ Р 50571.5.54-2013/МЭК 60364-5-54:2011 Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники уравнивания потенциалов [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108284> (дата обращения 16.07.2024).
8. ГОСТ Р 51321.1-2000 (МЭК 60439-1-92) Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1.

Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические требования и методы испытаний [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200018003> (дата обращения 13.08.2024).

9. ГОСТ Р 52565-2006 Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200046288> (дата обращения 16.07.2024).

10. ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200052838> (дата обращения: 15.07.2024).

11. Матаев У.М. Практикум по электроэнергетике (в примерах с решениями): учебное пособие. Алматы: Нур-Принт, Казахский национальный аграрный университет, 2014. 195 с.

12. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб. пособие. М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2019. 416 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003805> (дата обращения 15.07.2024).

13. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Электронный ресурс]: URL: <http://pue7.ru/pue7/sod.php> (дата обращения 09.08.2024).

14. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294817/4294817179.pdf> (дата обращения: 04.09.2024).

15. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034368> (дата обращения: 05.07.2024).

16. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81 (актуализированный СНиП II-7-81) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111003> (дата обращения: 08.07.2024).

17. СП 131.13330.2018 Строительная климатология. [Электронный

ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554402860> (дата обращения: 05.09.2024).

18. СТО 56947007-29.240.10.028-2009 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/898914295> (дата обращения 08.08.2024).

19. Схемы и программы перспективного развития ЕЭС России. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ups.ru/future-planning/sipr-ees/dev-sch/> (дата обращения: 04.07.2024).

20. Циркуляр Ц-02-98(Э) О проверке кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200041454> (дата обращения 23.07.2024).

21. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: учеб. пособие. 3-е изд. М.: ИНФРА-М, 2019. 136 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1000152> (дата обращения: 16.08.2024).

22. Antoun C. High Voltage Circuit Breaker and Power Transformer Failure Modes and Their Detection // 2018 Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), Perth, WA, Australia, 2018, pp. 1-6.

23. Gotte N., Krampert T., Nikolic P.G. Series Connection of Gas and Vacuum Circuit Breakers as a Hybrid Circuit Breaker in High-Voltage Applications // in IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 48, no. 7, pp. 2577-2584.

24. Hickey R.B., Robert B. Electrical Engineer's Portable Handbook. USA: McGraw-Hill Companies, 2012. 575 p.

25. Sousa H.F.S., de Oliveira A.C., de Santana H.N., da Costa E.G., Ferreira T.V. Analysis of Alternative Parameters of Dynamic Resistance Measurement in High Voltage Circuit Breakers // 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), Athens, Greece, 2018, pp. 1-4.

26. Surya S., Wayne Beaty H. Standard Handbook for Electrical

Engineers, Seventeenth Edition. - McGraw Hill Professional, 2017. 368 p.