

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 Проектирование электрической части ГПП 110/6 кВ АО «Улан-Удэнский
Авиационный завод»

Обучающийся

М.Г. Мещеряков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Для выполнения ВКР и сбора исходного материала был проведен выезд на объект проектирования главной понизительной подстанции ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» принадлежащий «Бурятэнерго»-филиал ПАО «Россети Сибирь».

В данной ВКР было подробно проанализировано и рассмотрено основное электротехническое оборудование 110 кВ и 6 кВ. Проанализирована и составлена главная электрическая схема ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ», проведены расчеты и выбор всех электрических аппаратов. Начерчена планировка главной понизительной подстанции Улан-Удэнского авиационного завода, а также зданий ОПУ и ЗРУ 6 кВ с расположением оборудования. Было внимательно изучено и рассчитано распределительное устройство РУ-6 кВ состоящее из комплектных ячеек 6 кВ. Был выбран трансформатор собственных нужд, составлена схема щита собственных нужд (ЩСН) 0,4 кВ с отходящими фидерами-цехами завод. Также были выполнены чертежи и расчеты молниезащиты и заземления ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».

Всего в ПЗ ВКР содержится: 62 страницы, 13 рисунков и 20 источников.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ нагрузок электрической части ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».....	5
2 Выбор количества и типа силовых трансформаторов.....	11
3 Выбор схемы электрической принципиальной ГПП 110/6 кВ.....	
АО «У-УАЗ».....	15
4 Расчеты ТКЗ по стороне 110 кВ и 6 кВ	17
5 Выбор электрических аппаратов силового оборудования.....	21
5.1 Выбор выключателей 110 кВ.....	21
5.2 Выбор разъединителей 110 кВ.....	25
5.3 Выбор ТТ 110 кВ	28
5.4 Выбор ТН 110 кВ.....	32
5.5 Выбор ОПН 110 кВ.....	35
5.6 Выбор оборудования КРУ 6 кВ.....	36
5.7 Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд.....	44
6 Выбор основных конструктивных решений ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».....	50
7 Молниезащита ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»	54
8 Мероприятия по заземлению ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».....	56
Заключение.....	60
Список используемых источников.....	61

Введение

ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» устанавливается для преобразования и распределения электрической энергии в цеха по территории Улан-Удэнского авиационного завода. В связи реконструкцией и расширением производственной базы предприятия встал вопрос об увеличении мощности электроэнергии питания новых и реконструируемых цехов предприятия.

Для выполнения проекта ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» необходимо провести расчеты и выбор основного силового электрооборудования и аппаратов, по классам напряжения 110 кВ и 10 кВ, которые преобразуют и распределяют электрическую энергию по все территории Улан-Удэнского авиационного завода. В проекте проведен анализ предполагаемых нагрузок реконструируемых и вновь строящихся цехов завода. Исходя из категоричности цехов потребителей электроэнергии выбрана принципиальная схема по высокой стороне 110 кВ и низкой стороне напряжения 6 кВ.

В основном силовое оборудование применяемое для проекта ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» выбиралось из передовых отечественных производителей, имеющих современное технологическое оборудование и проверенную временем высокую надежность при эксплуатации на энергетических объектах России.

В ходе выполнения проекта ГПП, необходимо провести анализ нагрузок цехов которые необходимо запитать, выбрать силовые трансформаторы и главную схему. Провести расчеты и выбор схемы щита собственных нужд 0,4 кВ питающего переменным током все основное оборудование. Также в проекте необходимо выполнить мероприятия по расчету молниезащиты и заземления, на основании чего, сделать соответствующие чертежи графической части ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».

В проекте необходимо опираться на нормативную документацию и расчеты основного оборудования, после чего разработать технические решения по планировке ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».

1 Анализ нагрузок электрической части ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»

В проекте реконструкции Улан-Удэнского авиационного завода предусмотрено строительство дополнительных цехов предприятия с увеличением потребляемой электрической мощности на основании чего выполняется проект ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».

Основой разработки реконструкции электроснабжения Улан-Удэнского авиационного завода является правильное определение ожидаемых электрических нагрузок, что обеспечивает выбор основного оборудования и схемы ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».

Результатом анализа исходных вводных нагрузок является вычисление суммарных нагрузок необходимых для выбора мощности и количества устанавливаемых трансформаторов [1] с учетом всех характеристик системы.

Нагрузка потребителей является трехфазной длительно допустимой, все мощности строящихся цехов предприятия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Мощности цехов Улан-Удэнского авиационного завода

Заводские цеха (потребители 6 кВ)	Категория	Потребляемая мощность, МВт	Коэффициент cos φ	Напряжение, кВ
Окрасочный центр	2	0,95	0,7	6
Гальванический корпус	2	2,15	0,75	6
Склад металла	2	0,78	0,65	6
Заготовительное отделение	2	1,25	0,7	6
Котельная	1	1,75	0,75	6
Кузнечный цех	2	1,45	0,8	6
Термический цех	2	1,95	0,8	6
Инструментальный цех	2	1,75	0,75	6
Лабораторный корпус	2	0,94	0,7	6
Сборочный цех	2	0,75	0,8	6
Заводоуправление	1	0,65	0,65	6
Склад готовой продукции	3	0,7	0,65	6
Суммарно по цехам завода АО «У-УАЗ»	-	15,07	0,7	-

Согласно ПУЭ все заводские потребители электроэнергии должны выполнять условие бесперебойности электроснабжения [14].

На заводе АО «У-УАЗ» есть все три вида категорий электроприемников, к 1-й категории относятся цеха в которых потеря питания может привести к несчастным случаям, авариям, согласно нашим данным к ним относятся заводоуправление и котельная. Большинство цехов завода АО «У-УАЗ» относятся ко второй категории, согласно которой питание должно быть от двух независимых источников для недопущения риска простоя циклов производства и брака продукции. На территории завода АО «У-УАЗ» есть также склад готовой продукции который является наименее ответственным потребителем и относится к 3-й категории, где допустим перерыв электроснабжения не больше одного дня который необходим для ремонта или замены оборудования [10, 11, 13, 20].

Электроснабжение проектируемой заводской подстанции осуществляется двух цепной линией электропередач 110 кВ от разных подстанций сети Бурятэнерго.

Основным составом потребителей являются заводские цеха 2 категории, для них необходимо провести расчеты полной мощности которая состоит из суммы активной и реактивной нагрузки.

Далее зная коэффициент и значение активной мощности потребителей завода АО «У-УАЗ» мне необходимо получить значение полной мощности по выражению (1):

$$S = \frac{P_{max}}{\cos\varphi}, \quad (1)$$

где P_{max} – потребляемая наибольшая активная мощность цеха;
 $\cos\varphi$ – коэффициент мощности.

Теперь сделаем расчет полных мощностей для каждого заводского цеха:

$$S_1 = \frac{P_{max1}}{\cos\varphi} = \frac{0,95}{0,7} = 1,36 \text{ МВА},$$

$$S_2 = \frac{P_{max2}}{\cos\varphi} = \frac{2,15}{0,75} = 2,87 \text{ МВА},$$

$$S_3 = \frac{P_{max3}}{\cos\varphi} = \frac{0,78}{0,65} = 1,2 \text{ МВА},$$

$$S_4 = \frac{P_{max4}}{\cos\varphi} = \frac{1,25}{0,7} = 1,79 \text{ МВА},$$

$$S_5 = \frac{P_{max5}}{\cos\varphi} = \frac{1,75}{0,75} = 2,33 \text{ МВА},$$

$$S_6 = \frac{P_{max6}}{\cos\varphi} = \frac{1,45}{0,8} = 1,81 \text{ МВА},$$

$$S_7 = \frac{P_{max7}}{\cos\varphi} = \frac{1,95}{0,8} = 2,44 \text{ МВА},$$

$$S_8 = \frac{P_{max8}}{\cos\varphi} = \frac{1,75}{0,75} = 2,33 \text{ МВА},$$

$$S_9 = \frac{P_{max9}}{\cos\varphi} = \frac{0,94}{0,7} = 1,34 \text{ МВА},$$

$$S_{10} = \frac{P_{max10}}{\cos\varphi} = \frac{0,75}{0,8} = 0,94 \text{ МВА},$$

$$S_{11} = \frac{P_{max11}}{\cos\varphi} = \frac{0,65}{0,65} = 1 \text{ МВА},$$

$$S_{12} = \frac{P_{max12}}{\cos\varphi} = \frac{0,7}{0,65} = 1,08 \text{ МВА}.$$

Находим полную суммарную мощность всех цехов авиационного завода.

Определяем полную реактивную мощность нагрузок по нижеприведенной формуле:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (2)$$

Находим $\operatorname{tg}\varphi$ по формуле (3):

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{(1 - \cos\varphi^2)}}{\cos\varphi}. \quad (3)$$

Сделаем расчет $\operatorname{tg}\varphi$ для каждого заводского цеха завода:

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{\sqrt{(1 - 0,7^2)}}{0,7} = 1,02,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{\sqrt{(1 - 0,75^2)}}{0,75} = 0,88,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_3 = \frac{\sqrt{(1 - 0,65^2)}}{0,65} = 1,17,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_4 = \frac{\sqrt{(1 - 0,7^2)}}{0,7} = 1,02,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_5 = \frac{\sqrt{(1 - 0,75^2)}}{0,75} = 0,88,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_6 = \frac{\sqrt{(1 - 0,8^2)}}{0,8} = 0,75,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_7 = \frac{\sqrt{(1 - 0,8^2)}}{0,8} = 0,75,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_8 = \frac{\sqrt{(1 - 0,75^2)}}{0,75} = 0,88,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_9 = \frac{\sqrt{(1 - 0,7^2)}}{0,7} = 1,02,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{10} = \frac{\sqrt{(1 - 0,8^2)}}{0,8} = 0,75,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{11} = \frac{\sqrt{(1 - 0,65^2)}}{0,65} = 1,17,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{12} = \frac{\sqrt{(1 - 0,65^2)}}{0,65} = 1,17.$$

Определяем реактивную мощность каждого цеха завода:

$$\begin{aligned}
Q_1 &= 0,95 \cdot 1,02 = 0,97 \text{ Мвар}, \\
Q_2 &= 2,15 \cdot 0,88 = 1,89 \text{ Мвар}, \\
Q_3 &= 0,78 \cdot 1,17 = 0,91 \text{ Мвар}, \\
Q_4 &= 1,25 \cdot 1,02 = 1,28 \text{ Мвар}, \\
Q_5 &= 1,75 \cdot 0,88 = 1,54 \text{ Мвар}, \\
Q_6 &= 1,45 \cdot 0,75 = 1,09 \text{ Мвар}, \\
Q_7 &= 1,95 \cdot 0,75 = 1,46 \text{ Мвар}, \\
Q_8 &= 1,75 \cdot 0,88 = 1,54 \text{ Мвар}, \\
Q_9 &= 0,94 \cdot 1,02 = 0,96 \text{ Мвар}, \\
Q_{10} &= 0,75 \cdot 0,75 = 0,56 \text{ Мвар}, \\
Q_{11} &= 0,65 \cdot 1,17 = 0,76 \text{ Мвар}, \\
Q_{12} &= 0,7 \cdot 1,17 = 0,82 \text{ Мвар}.
\end{aligned}$$

Вычислим реактивную часть мощности $\sum Q$ равную 13,78 Мвар.

Проведем расчет тока нагрузки для выбора сечения ошиновки 110 кВ по формуле (4):

$$I_L = \frac{S_L}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \frac{20,49 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 110 \cdot 10^3} = 107,67 \text{ А}, \quad (4)$$

Согласно ПУЭ, сечение ВЛ рассчитываемое по условию короны необходимо выполнить на напряжение от 35 кВ.

В ячейке 110 кВ выберем гибкую ошиновку выполненную из сталеалюминиевого провода, для которых экономическая плотность тока равна: $\delta_{\text{ЭК}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ при $T_{\text{max}} = 4760 \text{ ч/г}$.

Определяем расчетное сечение проводов по формуле (5):

$$F = \frac{I}{\delta_{\text{ЭК}}} = \frac{107,67}{1,1} = 97,88 \text{ мм}^2, \quad (5)$$

Так как по ПУЭ, условием не возникновения короны для напряжения 110 кВ является минимально допустимое сечение провода составляющее 70 мм², то из таблицы 1.3.29 ПУЭ-7 [14] выбираем провод АС-70/11 на длительно допустимый ток $I_{д.доп.} = 265 \text{ А}$.

Таблица 2 – Параметры проводов 110 кВ

Марка провода	$I_{д.доп.}, \text{ А}$	$r_0, \text{ Ом/км}$	$x_0, \text{ Ом/км}$	$b_0, \text{ См/км}$
АС-70/11	265	0,42	0,44	2,55

$I < I_{д.доп.}$ соответственно $107,67 \text{ А} < 265 \text{ А}$ – условие выполняется

Провод марки АС-70/11 выдерживает необходимую нагрузки и удовлетворяет требованиям ПУЭ 7 [14].

В связи со стесненными условиями и ограниченной территории для планировки ОРУ 110 кВ ошиновка на перемычке выбрана жесткая ОЖ-110/1000-УХЛ1 производства ЗАО «ЗЭТО» на номинальный ток 1000 А (меньше не производится) из алюминиевого сплава 1915Т круглого сечения трубы 80х5 мм.

Вывод по разделу: таким образом, мною проанализированы все потребители электроэнергии Улан-Удэнского авиационного завода, результатом чего является вычисление суммарных нагрузок необходимых для выбора мощности и количества устанавливаемых трансформаторов.

2 Выбор количества и типа силовых трансформаторов

Теперь мне необходимо провести выбор силовых трансформаторов и их количества с учетом надежности и категорийности, согласно пособию [20], а также перспективой расширения территории цехов завода. Для грамотного выбора силовых трансформаторов также необходимо учитывать технико-экономические особенности нагрузок в цехах.

Для того чтобы правильно выбрать номинальную мощность силового трансформатора, необходимо взять максимальную мощность подстанции и коэффициент перегрузки K_3 равный 0,7, после чего рассчитать ее по формуле (6):

$$S_{TP} = \frac{S_{max}}{n \cdot K_3}. \quad (6)$$

В предыдущем расчете была рассчитана полная мощность $S_{max} = 20,49$ МВА.

Исходя из того что в таблице потребителей присутствуют потребители 1-й и 2-й категории электроснабжения и условия допустимой аварийной перегрузки (40 %), то необходимое число основных силовых трансформаторов должно быть равно $n = 2$, рассчитаем по формуле (7):

$$S_{TP} = \frac{20,49}{2 \cdot 0,7} = 14,64 \text{ МВА}. \quad (7)$$

Далее нужно согласно ГОСТ 12965-85 [1] взять рассчитанную мощность трансформатора и округлить ее до ближайшей величины стандартного ряда мощностей трансформаторов.

Предварительно выбираем трансформатор номинальной мощностью 16 МВА.

Проведем расчет по формуле (8) фактического коэффициента загрузки одного трансформатора двух трансформаторной подстанции:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{2 \cdot S_{ТР}} = \frac{20,49}{2 \cdot 16} = 0,64. \quad (8)$$

Для соблюдения требования ПУЭ, коэффициент загрузки K_3 должен лежать в пределах от 0,4 до 0,7.

С учетом условия питания нагрузок от двух источников, возьмем из перечня производителя трансформаторы типа ТДН 16000/110/6 с показателями мощности 16 МВА, где в буквенные обозначения расшифровываются как Т – трехфазный, Д – система охлаждения дутьем воздуха при помощи вентиляторов с учетом естественной циркуляция масла. Указание буква «Н» означает что трансформатор оснащен устройством регулирования под нагрузкой (РПН). Общий вид нашего основного трансформатора представлен на рисунке 1, также технические характеристики необходимые для дальнейших расчетов собраны в таблице 3.



Рисунок 1 – Общий вид трансформатора ТДН 16000/110/6

Таблица 3 – Технические характеристики трансформатора ТДН 16000/110

Параметр трансформатора	Значение параметра
Тип трансформатора	ТДН 16000/110
Схема обмоток и их группа соединения	Ун/Д-11
Регулирование напряжения ПБВ	$\pm 9 \times 1,78\%$
Значение полной установленной мощности, $S_{ст}$	16 МВА
Значение верхнего напряжения номинальное, $U_{вв}$	115 кВ
Значение нижнего напряжения номинальное, $U_{нн}$	6,6 кВ
Значение активной мощности при холостом ходе, ΔP_{xx}	18 кВт
Значение мощности при коротком замыкании, $\Delta P_{кз}$	85 кВт
Значение реактивной мощности при холостом ходе, ΔQ_{xx}	112 квар
Значение тока холостого хода I_{xx}	0,5 %
Значение активного сопротивления, $r_{тр}$	4,38 Ом/км
Значение реактивного сопротивления, $x_{тр}$	86,7 Ом/км
Значение напряжения короткого замыкания, U_k	10,5 %

Для соблюдения экономической целесообразности и полноценного выбора силового трансформатора желательно провести расчет потерь мощности который возникает вследствие сопротивления обмоток, потерь в магнитопроводе на его перемагничивание (потери на гистерезис), а также потерь на вихревые токи.

Переменные потери в трансформаторах для двух трансформаторной подстанции определяют по формулам (9) и (10):

$$\Delta P_{тр} = \frac{1}{2} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left(\frac{S_{max}}{S_{ст}} \right) = \frac{1}{2} \cdot 0,085 \cdot \left(\frac{20,49}{16} \right) = 0,054 \text{ МВт}, \quad (9)$$

$$\Delta Q_{тр} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_k}{100} \cdot \left(\frac{S_{max}}{S_{ст}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \left(\frac{20,49}{16} \right) = 0,067 \text{ Мвар}. \quad (10)$$

Суммарные переменные потери мощности в наших трансформаторах $\Sigma \Delta P_{кз} = 0,108 \text{ МВт}$, $\Sigma \Delta Q_{кз} = 0,134 \text{ Мвар}$. Тогда постоянные потери мощности для двух трансформаторной подстанции определяются по формулам (11, 12):

$$\Delta P_{пост} = 2 \cdot \Delta P_{xx}, \quad (11)$$

$$\Delta Q_{\text{пост}} = 2 \cdot \Delta Q_{\text{хх}}. \quad (12)$$

Суммарные постоянные потери мощности $\Sigma \Delta P_{\text{пост}}$ и $\Sigma \Delta Q_{\text{пост}}$ в наших трансформаторах равны 0,036 МВт и 0,224 Мвар соответственно, тогда нагрузка $S_{\text{экв}}$ ниже которой экономично отключать один из двух трансформаторов работающих одновременно, формула (13):

$$S_{\text{экв}} = S_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{хх}} \cdot n \cdot (n - 1)}{\Delta P_{\text{кз}}}} = 16 \cdot \sqrt{\frac{0,018 \cdot 2 \cdot (2 - 1)}{0,085}} = 10,41 \text{ МВА}, \quad (13)$$

где n – число параллельно работающих трансформаторов.

Вывод по разделу: мною проведен выбор силовых трансформаторов, их количества, типа и условий эксплуатации, также учтены факторы надежности и категорийности. Выполнен расчет потерь мощности трансформаторов Улан-Удэнского авиационного завода с целью соблюдения экономической целесообразности отключения одного из двух трансформаторов.

3 Выбор схемы электрической принципиальной ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»

Установка ГПП на Улан-Удэнском авиационном заводе должна обеспечивать надежность и экономичность в рамках всей связующей сети Бурятэнерго. Однако при этом ГЭС ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» должна обеспечивать работу при выводе основного оборудования в ремонт и ликвидацию аварийных ситуаций, требования наглядности, удобства эксплуатации, компактности и экономичности. Для того чтобы можно было производить плановый ремонт и ликвидацию аварийных ситуаций оборудование соединяют друг с другом посредством коммутационных аппаратов, разъединителей и заземляющих ножей.

К основному оборудованию 110 кВ схемы ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» относятся силовые трансформаторы, выключатели, защитные аппараты ОПН, разъединители, а также трансформаторы тока и напряжения для работы систем АИИС КУЭ, РЗА, АСУ ТП.

Выбирая главную схему (ГЭС) для ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» необходимо учитывать нормы из списка источников [8, 14, 16, 17, 18].

При выборе ГЭС ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» учтем что основное количество цехов завода относятся к 1-й и 2-й категории, тогда согласно нормам и ГОСТам питание должно быть от двух независимых источников, таким образом ставим два трансформатора и соответственно выбираем двух трансформаторную подстанцию со схемой по высокой стороне: 110-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий». Условием для выбора мощности трансформаторов является то, что при отключении одного трансформатора, другой должен выдерживать всех потребителей с условием допустимой перегрузки. Также при выборе ГЭС и планировке учтём безопасность обслуживания, условия проведения ремонта и то, что она является ответственной.

При выборе схемы по низкой стороне 6 кВ, выбираем наиболее простую и удобную схему 6-1 «Одна, секционированная выключателем, система шин», где в нормальном режиме секционный выключатель разомкнут и каждый из двух трансформаторов питает свою секцию шин с одним вводным выключателем. На основании озвученных сведений составим структурную схему ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» приведенную на рисунке 2.

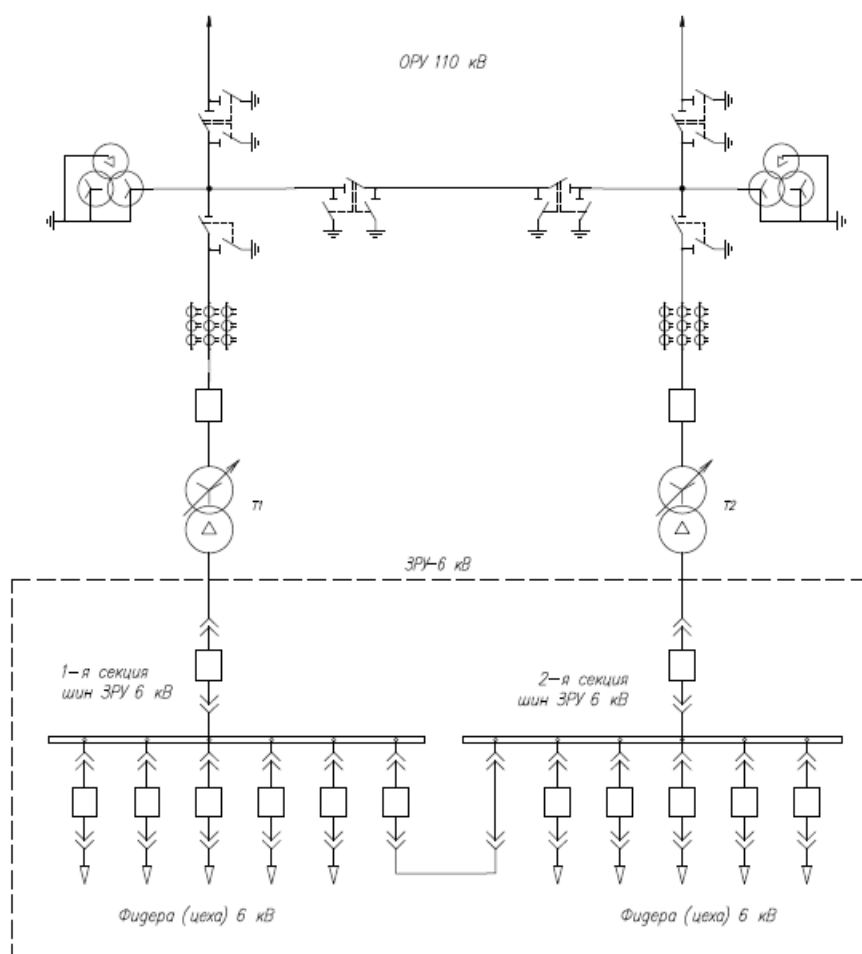


Рисунок 2 – Структурная схема ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»

Вывод по разделу: в данном разделе на основании требований к аварийности, удобства эксплуатации, компактности и экономичности составлена схема ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» 110-4Н по ВН и 6-1 по НН приведенная на рисунке 2, принципиальная схема приведена в Приложении А (графической части).

4 Расчеты ТКЗ по стороне 110 кВ и 6 кВ

На ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» необходимо выполнить расчет ТКЗ, что необходимо для учета характеристик аппаратов 110 кВ и 6 кВ согласно [2, 14, 15, 20]:

- выбор и проверка электрических аппаратов на термическую и электродинамическую стойкость;
- выбор ошиновки и проводников, применяемых на ГПП;
- выбор установок и проверки чувствительности РЗА (в объеме моей работы не проводится).

При поведении расчетов ТКЗ, необходимо сделать некоторые упрощения и допущения [14]:

- для трансформатора не будем учитывать насыщение сердечника,
- для трансформатора не будем учитывать ток намагничивания,
- трехфазную систему примем полностью симметричной.

Все ранее перечисленные упрощения приводят к погрешности в расчетах ТКЗ, доля которых не должна превышать 5-10 %, в соответствии с ГОСТ Р 52735-2007 [2].

Согласно ПУЭ-7 [14], необходимость проверки шин и агрегатов по термо- и электродинамике должна проводиться по току трехфазного КЗ, так как на ПС эти токи считаются самыми большими.

Для упрощенной электрической схемы ГПП изображенной на рисунке 3, сделаем расчет ТКЗ, для этого необходимо составить расчетную схему и замещения, изображены на рисунке 4.

Мощность КЗ системы Бурятэнерго $S_k = 2700$ МВА, ВЛ берем длиной 35 км с сопротивлением 0,4 Ом/км, которая выполнена проводом АС-70 (минимум для 110 кВ).

Расчеты КЗ выполним в точке К1 для стороны ВН 110 кВ и в точке К2 стороны НН 6 кВ.

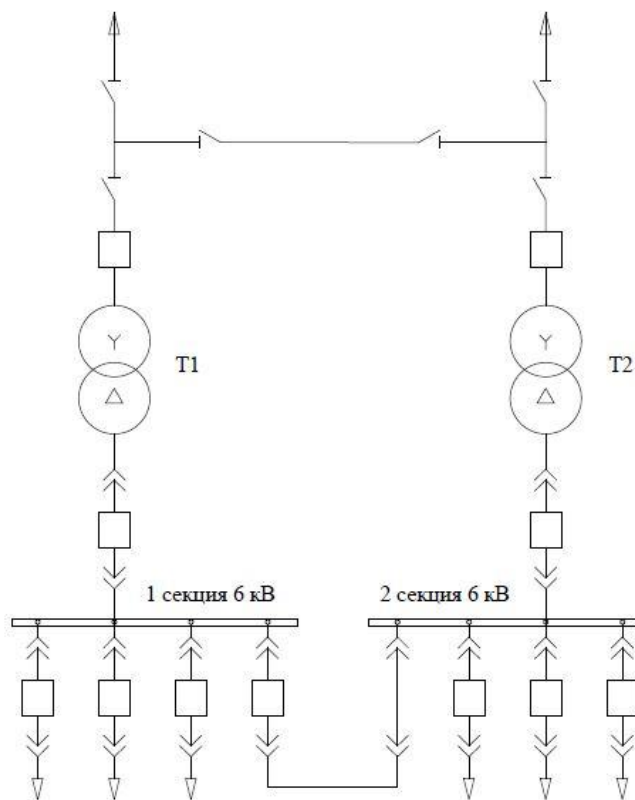


Рисунок 3 – Упрощенная схема ГПП

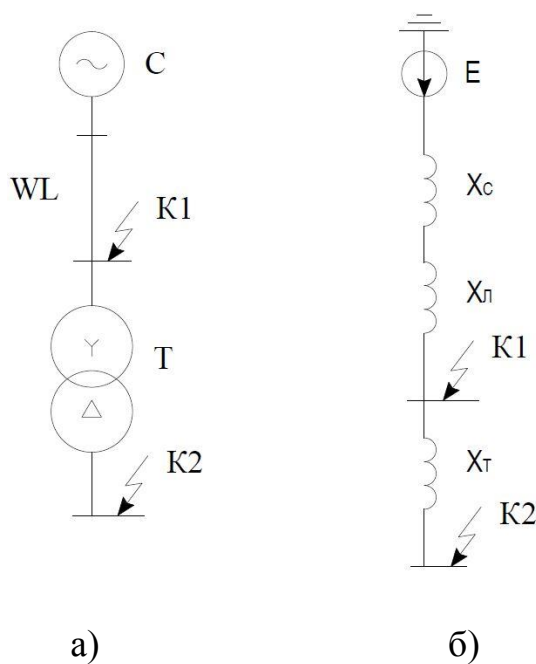


Рисунок 4 – Схемы ТКЗ: а – расчетная, б – замещения

Данные двух обмоточных трансформаторов берем по ГОСТ 12965-85 [1]. Технические параметры силового двух обмоточного трансформатора ТРДН 16000/110/6 представлены в таблице 3.

Длина линии 110 кВ, которая подходит к ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» составляет 18 км, ее характеристики и сопротивление сталеалюминевых проводов АС-70/11 проведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметров провода АС-70/11

Марка провода	$I_{д.доп.}, А$	$r_0, Ом/км$	$x_0, Ом/км$	$b_0, См/км$
АС-70/11	265	0,42	0,44	2,55

Для того чтобы посчитать ТКЗ необходимо перейти к относительным показателям, для этого базисную мощность примем равную $S_б = 1000$ МВА, В схеме где есть точка КЗ K_1 , на высокой стороне примем напряжение базисное равное 115 кВ, а на стороне низкой, где есть точка КЗ K_2 , примем значение 6,3 кВ. Теперь вычислим сопротивления системы по расчетной формуле (14):

$$x_{*б.с} = \frac{S_б}{S_к} = \frac{1000}{2700} = 0,37. \quad (14)$$

Для ВЛ, состоящей из двух цепей, расчет по формуле (15):

$$x_{*б.л} = x_{уд} l \frac{S_б}{U_{ср}^2} = 0,4 \cdot 18 \frac{1000}{115^2} = 0,54. \quad (15)$$

Для трансформаторного участка, расчет по формуле (16):

$$x_{*б.т} = \frac{U_к \% \cdot S_б}{100 \cdot S_{номт}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 16} = 6,56. \quad (16)$$

Сложим все расчетные сопротивления до точки K_1 по формуле (17):

$$x_{*рез(б)} = x_{*б.с} + x_{*б.л} = 0,37 + 0,54 = 0,91. \quad (17)$$

Значение расчетного тока базисного в K_1 по формуле (18):

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА.} \quad (18)$$

Вычислим величину составляющей периодической трехфазного ТКЗ при значении средней сверхпереходной ЭДС равной единицы в K_1 по формуле (19):

$$I_{п.0} = \frac{E''_{*6}}{X_{*рез(6)}} I_6 = \frac{1}{0,91} \cdot 5,02 = 5,52 \text{ кА.} \quad (19)$$

Ток максимальный ударный ТКЗ в K_1 по формуле (20):

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,52 \cdot 1,8 = 14,05 \text{ кА,} \quad (20)$$

где $k_{уд}$ - величина коэффициента ударного равного 1,8 [2].

Теперь необходимо провести расчет ТКЗ в K_2 на напряжении 6 кВ.

Сопротивление в сумме до точки K_2 вычислим по формуле (21):

$$X_{*рез(6)} = X_{*б.с} + X_{*б.л} + X_{*б.т} = 0,37 + 0,54 + 6,56 = 7,47. \quad (21)$$

Посчитаем значение тока базисного в K_2 по формуле (22):

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА.} \quad (22)$$

Вычислим величину составляющей периодической трехфазного ТКЗ в K_2 по формуле (23):

$$I_{п.0} = \frac{E''_{*6}}{X_{*рез(6)}} I_6 = \frac{1}{7,47} \cdot 55 = 7,36 \text{ кА.} \quad (23)$$

Ток КЗ максимальный ударный в K_2 найдем по формуле (24):

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 7,36 \cdot 1,85 = 19,25 \text{ кА,} \quad (24)$$

где $k_{уд}$ - величина коэффициента ударного равного 1,85 [2].

Далее все полученные значения токов КЗ и ударных токов заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчетные значения токов КЗ и ударных токов

Параметр	Значение
Трехфазное ТКЗ $I_{n,o}$ в K_1	5,52 кА
ТКЗ ударный в K_1	14,05 кА
Трехфазное ТКЗ $I_{n,o}$ в K_2	7,36 кА
ТКЗ ударный в K_2	19,25 кА

Вывод по разделу: в данном разделе мною выполнены расчеты ТКЗ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ», которые необходимы для выбора и проверки электрических аппаратов 110 кВ и 6 кВ на термическую и электродинамическую стойкость, а также выбора ошиновки и кабелей, применяемых на ГПП.

5 Выбор электрических аппаратов силового оборудования

5.1 Выбор выключателей 110 кВ

Высоковольтный выключатель 110 кВ в основном предназначены для включения и отключения участка цепи (коммутационных операций), также посредством релейной защиты выключатели работают в цикле автоматики повторного включения в нормальных и аварийных режимах согласно [10, 20]. Особенностью элегазовых выключателей является гашение электрической дуги потоком элегаза за счет перепада давления тепловой энергии дуги. Пружинный привод отключает выключатель посредством взвода пружин электромотором, в современных приводах используют постоянных оперативный ток для обеспечения работы в аварийной ситуации полного погашения подстанции.

Выключатели 110 кВ установленные на ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» выбираются по следующим основным параметрам:

- напряжению номинальному сети,
- длительному (рабочему) току,
- отключающей способности выключателя,
- электродинамической стойкости к токам КЗ,
- термической стойкости к токам КЗ.

В моем проекте на ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» применим элегазовые колонковые выключатели, как наиболее современные и компактные.

Намечаем к установке элегазовый колонковый выключатель типа ВГТ-УЭТМ-110-40/3150У1 производство АО «УЭТМ» [6]. Конструктивно выключатель состоит из трех колонок – полюсов на каждую фазу которые ставятся на общей конструкции, связаны между собой механически и управляемы одним пружинным приводом ППрК-УЭТМ, конструкция изображена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид элегазового колонкового выключателя типа ВГТ-УЭТМ-110-40/3150У1

Исходя из данных производителя АО «УЭТМ», выключатель имеет следующие параметры собранные в таблице 6 [7].

Таблица 6 – Основные показатели выключателя ВГТ-УЭТМ-110-40/3150У1

Параметр выключателя	Величина
Значение напряжения номинального, $U_{\text{ном}}$	110 кВ
Значение тока номинальное, $I_{\text{ном}}$	3150 А
Значение составляющей предельного сквозного ТКЗ, $I_{\text{пр.с}}$	40 кА
Значение наибольшее электродинамической стойкости, $i_{\text{пр.с}}$	100 кА
Значение максимальное тока включения, $i_{\text{вкл.норм}}$	100 кА
Значение действующее периодической составляющей, $I_{\text{вкл.норм}}$	40 кА
Значение тока отключения номинального, $I_{\text{откл.ном}}$	40 кА
Значение содержания составляющей аperiodической, $\beta_{\text{нор}}$	40 %
Значение термического тока, I_{T}	40 кА
Значение времени термики, t_{T}	3 С
Значение времени собственного отключения, $t_{\text{св}}$	0,035
Значение времени полного отключения, $t_{\text{пв.откл}}$	0,055

Проверка выключателя по соответствующим условиям, согласно стандарту [18] в таблице 7.

Таблица 7 – Проверка выключателя ВГТ-УЭТМ-110-40/3150У1

Данные	Сравниваемые величины	Условия соответствия
$U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ В}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	По напряжению: $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{Тном}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 83,98 \text{ А}$	Рабочему току: $I_{\text{раб.}} = 83,98 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$,
	$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,57 \text{ А}$	Номинальному току: $I_{\text{max}} = 117,57 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$
$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$	КЗ ток $I_{\text{п.т}} = 5,52 \text{ кА}$	Способности отключающей: $I_{\text{п.т}} = 5,52 \text{ кА} \leq I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$ $\beta_{\text{нор}} = 40 \%$	$\tau = t_{\text{осн.з}} + t_{\text{с.в.}} = 0,01 + 0,035 = 0,045 \text{ с}$ $i_{\text{а,т}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о.}} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 5,52 \cdot e^{\frac{-0,045}{0,05}} = 3,17 \text{ кА}$	Отключение аperiodической составляющей ТКЗ: $i_{\text{а.ном}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}}/100) \cdot I_{\text{откл.ном}} = (\sqrt{2} \cdot 40/100) \cdot 40 = 22,63 \text{ кА}$ $i_{\text{а,т}} = 3,17 \text{ кА} \leq i_{\text{а.ном}} = 22,63 \text{ кА}$
$I_{\text{вкл.ном}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{вкл.ном}} = 100 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о}} = 5,52 \text{ кА}$ $i_{\text{уд}} = 14,05 \text{ кА}$	Способности включающей: $I_{\text{п.о}} = 5,52 \text{ кА} \leq I_{\text{вкл.ном}} = 40 \text{ кА}$; $i_{\text{уд}} = 14,05 \text{ кА} \leq i_{\text{вкл.ном}} = 100 \text{ кА}$
$I_{\text{пр.с}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о}} = 5,52 \text{ кА}$ $i_{\text{уд}} = 14,05 \text{ кА}$	Электродинамика (предельный сквозной ТКЗ): $I_{\text{п.о}} = 5,52 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.с}} = 40 \text{ кА}$; $i_{\text{уд}} = 14,05 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$
$I_{\text{T}} = 40 \text{ кА}$ $t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$	$B_{\text{к.расч}} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_a) = (5,52 \cdot 10^3)^2 (0,155 + 0,05) = 6,25 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$ $B_{\text{к.выкл}} = 6,25 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = (40 \cdot 10^3)^2 \times 0,155 = 248 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}}$ при условии $t_{\text{откл}} > t_{\text{T}}$; Если $t_{\text{откл}} = 0,155 < t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$, то $B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}}$; Время необходимое для отключения КЗ вычисляется: $t_{\text{откл}} = t_{\text{рез.з}} + t_{\text{пв.откл}} = 0,1 + 0,055 = 0,155 \text{ с}$, тогда условие: $B_{\text{к.расч}} = 6,25 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с} \leq B_{\text{к.выкл}} = 248 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$

По результатам проверки выключатель ВГТ-УЭТМ-110-40/3150У1 удовлетворяет всем пунктам выбора.

5.2 Выбор разъединителей 110 кВ

Далее в проекте ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» необходимо выбрать разъединители, которые ставятся на стороне ВН 110 кВ в линейных ячейках и перемычки ремонтной со стороны линий. Согласно источникам [8, 17], в выбранной схеме 110-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» устанавливаемые разъединители двух типов:

- разъединители выключателей со стороны линий имеют один комплект основных ножей и один комплект заземляющих ножей в сторону выключателя;
- разъединители со стороны линий и в ремонтной перемычке имеют один комплект основных ножей и два комплекта заземляющих ножей, по одному в каждую сторону.

Разъединитель предназначен для отключения и заземления участков электрической сети без нагрузки в основном для вывода оборудования в ремонт. Иногда используют для отключения силового трансформатора работающего в холостую, а также проводят заземление остаточных зарядных токов ВЛ и КЛ. В разъединителях используют механическую блокировку для предотвращения аварийной ситуации включения заземляющего ножа при включенных на напряжение основных ножах разъединителя.

Разъединители 110 кВ установленные на ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» выбираются по:

- значения напряжения номинального,
- длительному (рабочему) току,
- по конструкции, типу установки,
- электродинамической стойкости к токам КЗ,
- термической стойкости к токам КЗ.

Далее в проекте на ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» проведем проверку разъединителей 110 кВ стоящих в ячейках трансформатора и ремонтной перемычке со стороны ВЛ.

Возьмем к установке разъединители стоящие на ОРУ горизонтально-поворотного типа РГНП.2–110П/1000-40 УХЛ1 (в комплекте с двумя ЗН) и РГНП.16–110П/1000-40 УХЛ1 (в комплекте с одним ЗН) производителя ЗАО «ЗЭТО» [5]. Конструкция показана на рисунке 6, тип РГНП означает что разъединитель горизонтально-поворотного типа с изоляцией нормального уровня.

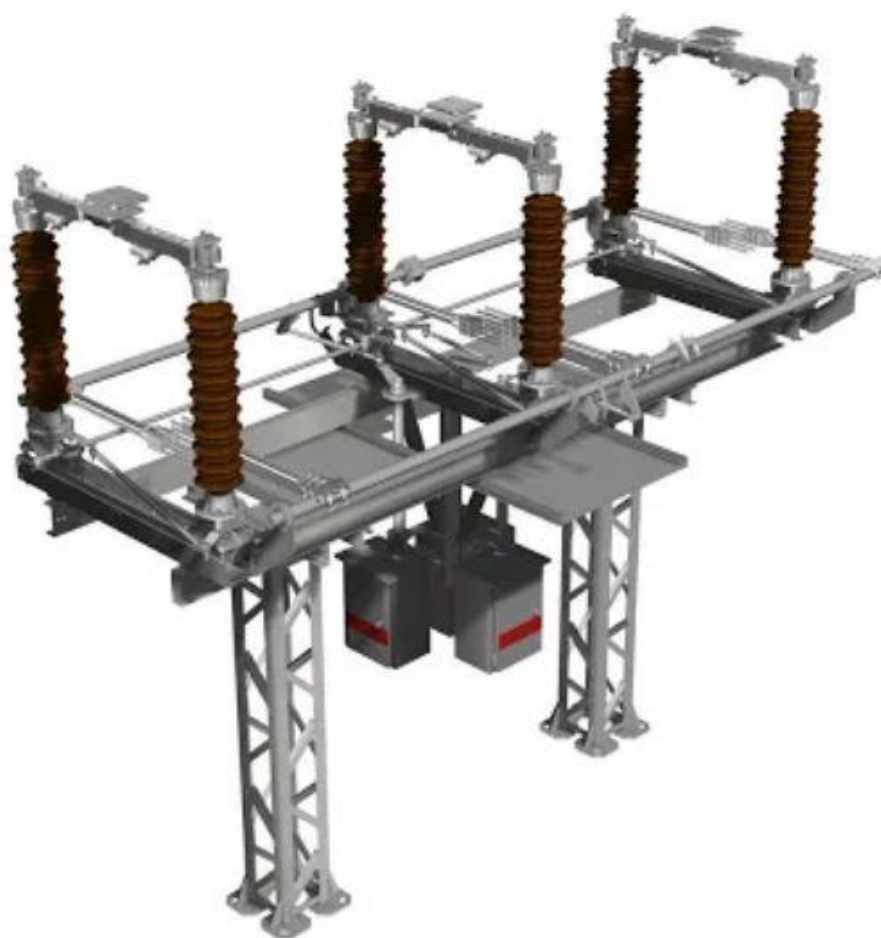


Рисунок 6 – Внешний вид разъединителя горизонтально-поворотного типа РГНП.2–110П/1000-40 УХЛ1

Исходя из данных производителя ЗАО «ЗЭТО» двух разных типов разъединителей, которые отличаются друг от друга только лишь наличием дополнительного заземляющего ножа, мною проведена проверка по соответствующим условиям [18, 20] в таблице 8.

Таблица 8 – Проверка разъединителя РГНП.2–110П/1000-40 УХЛ1 (РГНП.16–110П/1000-40 УХЛ1)

Данные	Расчет сравниваемой величины	Условия соответствия
$U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ В}$	Напряжение $U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	По напряжению: $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{Тном}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 83,98 \text{ А}$	Рабочий ток: $I_{\text{раб.}} = 83,98 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
	$I_{\text{мах}} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,57 \text{ А}$	Номинальный ток: $I_{\text{мах}} = 117,57 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$	Ударный ток: $i_{\text{уд}} = 14,05 \text{ кА}$	Электродинамическая стойкость: $i_{\text{уд}} = 14,05 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$
$I_{\text{T}} = 40 \text{ кА}$ $t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$	$B_{\text{к.расч}} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_a) =$ $= (5,52 \cdot 10^3)^2 (0,155 + 0,05) =$ $= 6,25 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с},$ $B_{\text{к.выкл}} = 6,25 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с} \leq$ $\leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = (40 \cdot 10^3)^2 \times$ $\times 0,155 = 248 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}}$ при условии $t_{\text{откл}} > t_{\text{T}}$; Если $t_{\text{откл}} = 0,155 < t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$, то $B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}}$, Время необходимое на отключение КЗ: $t_{\text{откл}} = t_{\text{рез.з}} + t_{\text{пв.откл}} =$ $= 0,1 + 0,055 = 0,155 \text{ с}.$ Стойкость термическая имеет вид: $B_{\text{к.расч}} = 6,25 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с} \leq$ $\leq B_{\text{к.выкл}} = 248 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$

По результатам проверки разъединитель РГНП.2–110П/1000-40 УХЛ1 (РГНП.16–110П/1000-40 УХЛ1) удовлетворяет всем пунктам выбора.

5.3 Выбор ТТ 110 кВ

Далее в проекте на ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» проведем выбор измерительного трансформатора тока, стоящих на стороне ВН 110 кВ в линейных ячейках, согласно пособию [10].

Трансформатор тока предназначен контроля и измерения значений тока для систем релейной защиты и измерений показаний потребляемой энергии системы АИИС КУЭ. Измерительный трансформатор тока имеет пофазную конструкцию в виде колонки, которая состоит из магнитопровода с первичной и вторичной обмотками устанавливаемыми на единую раму с заземляющим контактом и выводами на клеммник. В результате трансформации тока он уменьшается до значений пригодных для работы измерительных приборов и реле. Значения тока принимают равными 1 А или 5 А. Измерительный трансформатор тока в нормальных условиях работает в режиме близком к короткому замыканию.

Трансформаторы тока (ТТ) 110 кВ установленные на ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» выбираются по следующим факторам:

- значению напряжения номинального,
- номинальному (рабочему) току,
- по конструкции, типу установки,
- электродинамической стойкости к токам КЗ,
- термической стойкости к токам КЗ,
- расчету вторичной нагрузки.

Намечаем к установке отдельно стоящие элегазовые ТТ на ОРУ типа ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1 производителя АО«УЭТМ» [6], конструкция которого показана на рисунке 7. Все три фазы трансформаторов тока устанавливаются на одной раме соединенной конструктивно с рамой выключателей для удобства компактности. Преимущество отдельно стоящих ТТ в отличие от встроенных в выключатель заключается в возможности беспрепятственного

ремонта любой фазы ТТ не затрагивая выключатель, что значительно упрощает их эксплуатацию и плановый ремонт. Обмотки трансформатора тока, их класс точности выбираются в соответствии с требуемой точностью измерения: приборы класса точности 1 и 1,5 – ТТ класса 0,5; 2,5 – ТТ класса 1, счетчики учета – ТТ класса 0,5 (0,2S).



Рисунок 7 – Внешний вид измерительного трансформатора тока типа ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1

Исходя из данных производителя АО «УЭТМ» [6], выключатель имеет следующие параметры собранные в таблице 9.

Таблица 9 – Основные показатели ТТ ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1

Параметр ТТ	Величина
Значение напряжения номинального, $U_{\text{ном}}$	110 кВ
Значение тока первичное номинальное, $I_{1\text{ном}}$	300 А
Значение тока вторичное номинальное, $I_{2\text{ном}}$	5 А
Значение наибольшее электродинамической стойкости, $i_{\text{пр.с}}$	102 кА
Значение термического тока, I_{T}	40 кА
Значение времени термического тока, t_{T}	3 с
Значение макс. вторичной нагрузка при $\cos \varphi=0,8, S_2$	100 ВА

Для выбора трансформатора тока цепи силового трансформатора на высокой стороне ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ», данные для расчета возьмем из таблицы 4, в которой ток КЗ $I_{п.0} = 5,52$ кА, ударный ток $i_{уд} = 14,05$ кА, а номинальная мощность трансформатора $S_{ном} = 16000$ кВА. На высокой стороне 110 кВ к трансформатору тока ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1 подключается амперметр, а также панелей РЗА ЭПЗ 1636-67/1 предназначены для защиты ВЛ 110 кВ с установленными терминалами РЗА, учет проводится по низкой стороне 6 кВ. Проверка ТТ по соответствующим условиям [10, 18] выполнена в таблице 10.

Таблица 10 – Проверка ТТ ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1

Данные	Расчет сравниваемой величины	Условия соответствия
$U_{сет.ном} = 110$ В	$U_{ном} = 110$ кВ	По напряжению: $U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
$I_{1ном} = 300$ А	$I_{раб} = \frac{S_{Тном}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 83,98$ А	Рабочему току: $I_{раб.} = 83,98$ А $\leq I_{1ном} = 300$ А.
	$I_{мах} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,57$ А	Номинальному току: $I_{мах} = 117,57$ А $\leq I_{1ном} = 300$ А – ток ТТ по каталогу завода
$i_{пр.с} = 102$ кА	$i_{уд} = 14,05$ кА	По электродинамической стойкости: $i_{уд} = 14,05$ кА $\leq i_{пр.с} = 102$ кА
$I_T = 40$ кА $t_T = 3$ с	$B_{к.расч} = I_{п.0}^2(t_{откл} + T_a) = (5,52 \cdot 10^3)^2(0,155 + 0,05) = 6,25 \cdot 10^6$ А ² с $B_{к.выкл} = 6,25 \cdot 10^6$ А ² с $\leq I_T^2 \cdot t_{откл} = (40 \cdot 10^3)^2 \times 0,155 = 248 \cdot 10^6$ А ² с	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$ при условии: $t_{откл} > t_T$; Если $t_{откл} = 0,155 < t_T = 3$ с, то $B_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$, Время необходимое для отключения КЗ вычисляется: $t_{откл} = t_{рез.з} + t_{пв.откл} = 0,1 + 0,05 = 0,155$ с Стойкость термическая имеет вид: $B_{к.расч} = 6,25 \cdot 10^6$ А ² с $\leq B_{к.выкл} = 248 \cdot 10^6$ А ² с
-	ТТ элегазовый, открытый установки	класс точности 0,5, 10Р

По результатам проверки ТТ ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1 удовлетворяет всем пунктам выбора и отдельно проведем расчет вторичной нагрузки ТТ.

Для расчета вторичной нагрузки ТТ сведем полученные данные в таблицу 11. У меня подключен амперметр типа Э-365 с мощностью $S_{\text{приб}}$ потребляемой 0,5 ВА и панель РЗА ЭПЗ 1636-67/1 потребляет мощность $S_{\text{приб}}$ равную 2,6 ВА, выбираем панель РЗА, согласно [12, 13].

Таблица 11 – Вторичная нагрузка трансформатора тока ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1

Наименование прибора	Класс точности	Тип прибора	Потребляемая мощность, ВА
Амперметр	1,5	Э-365	0,5
Панель РЗА	10Р	ЭПЗ 1636-67/1	2,6
Всего			3,1

Вычислим какое значение сопротивления получится с учетом всех приборов, по формуле (25):

$$R_{\text{приб}} = S_{\text{приб}}/I_{\text{п.о}}^2 = 3,1/5^2 = 0,124 \text{ Ом.} \quad (25)$$

Из справочников [10, 20] возьмем на контактах значение переходного сопротивления $R_{\text{к}} = 0,05 \text{ Ом}$. Из известного соотношения посчитаем сопротивление и сечение проводов ТТ по формулам (26) и (27) соответственно:

$$R_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} = 4 - 0,124 - 0,05 = 3,826 \text{ Ом,} \quad (26)$$

$$S = \frac{\rho \cdot l_{\text{р}}}{R_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 75}{3,826} = 0,34 \text{ Ом,} \quad (27)$$

где l – расчётная длина провода, равная 75 м

По надежности и прочности провода должны быть минимум 2,5 мм² [20]. Соответственно провод до 1 кВ, сечением $S = 2,5 \text{ мм}^2$, марки КВВГнг-LS 4x2,5. Прокладка в земле, кабельных каналах, в помещениях и открытом воздухе, а также данный тип кабеля не распространяет горение.

5.4 Выбор ТН 110 кВ

Далее в проекте на ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» проведем выбор измерительного трансформатора напряжения, устанавливаемых на стороне высшего напряжения 110 кВ в линейных ячейках, согласно [3].

Трансформатор напряжения служит для понижения напряжения до значений приемлемых для маломощных приборов, предназначенных для работы систем релейной защиты и измерений показаний потребляемой энергии системы АИИС КУЭ. Измерительный трансформатор напряжения как и тока имеет пофазную конструкцию в виде колонки, которая состоит из магнитопровода с первичной и вторичной обмотками устанавливаемыми на единую раму с выводами на клеммник. В результате трансформации напряжения он уменьшается до значений пригодных для работы измерительных приборов и реле. Значения напряжения берем равными 100 В или $100/\sqrt{3}$ В. Измерительный трансформатор напряжения в обычных условиях работает в режиме который близок к холостому ходу.

Трансформаторы напряжения (ТН) 110 кВ установленные на ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» выбираются по следующим условиям:

- значения напряжения номинального,
- конструкции и по какой схеме собраны обмотки,
- по условию класса точности,
- по подключаемой нагрузке на обмотку вторичную,
- термической стойкости к токам КЗ,
- по условию расчета вторичной нагрузки $S_{2\Sigma}$ меньшей чем $S_{\text{ном}}$.

Намечаем к установке отдельно стоящие анти резонансные элегазовые трансформаторы напряжения наружной установки типа ЗНГ-110 УХЛ1 производителя АО«УЭТМ» [6], конструкция показана на рисунке 8. Все три фазы трансформаторов тока устанавливаются на одной раме. Преимущество отдельно стоящих ТН заключается в возможности беспрепятственного

ремонта любой фазы ТН, что значительно упрощает их эксплуатацию и плановый ремонт, а также взрывобезопасность так как изоляцией является элегаз.



Рисунок 8 – Внешний вид измерительного трансформатора напряжения типа ЗНГ-110- УХЛ1

Исходя из данных производителя АО«УЭТМ», трансформатор напряжения имеет следующие параметры сведенные в таблицу 12.

Таблица 12 – Основные показатели ТН ЗНГ-110 УХЛ1

Параметр ТН	Величина
Значение напряжения номинального обмотки первичной, $U_{1\text{ном}}$	$100/\sqrt{3}$ кВ
Значение напряжения номинального обмотки вторичной, $U_{2\text{ном}}$	$0,1/\sqrt{3}$ В
Номинальная мощность (класс точности 0,5, 3Р), $S_{\text{ном}}$	500 ВА
Предельная мощность	1000 ВА
Значение коэффициента мощности, $\cos\varphi$	0,8

Далее в проекте необходимо сделать проверку ТН по соответствующим условиям [10, 18, 20]:

- условие соответствия значений сетевых и номинальных напряжений равных 110 кВ;
- вторым условием является соединение в котором обмотка первичная по схеме звезда соединена со вторичной обмоткой по схеме звезда для измерений, а также вторую вторичную обмотку выполненную по схеме разомкнутый треугольник для контроля изоляции системы РЗА. По конструкции ТН являются анти резонансные, элегазовые, наружной установки где все три фазы установлены на единую раму;
- класс точности ТН равный 0,5;
- по условию расчета вторичной нагрузки $S_{2\Sigma}$ меньшей чем $S_{ном}$.

Соберем все значения сопротивлений приборов которые необходимо подключить к ТН, такие как вольтметр Э42702 в количестве 3-х штук и панелей РЗА типа ЭПЗ 1636-67/1 в количестве одной штуки, тогда общее значение нагрузки будет 12,6 Вт, согласно [12, 13].

Основным условием для определения выбора вторичной нагрузки является что полная нагрузка всех приемников $S_{2\Sigma}$ должна быть больше чем номинальная мощность определенного класса точности $S_{ном}$, вычисляется по формуле (28):

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cdot \cos\varphi_{приб})^2 + (\sum S_{приб} \cdot \sin\varphi_{приб})^2} = 12,6 \text{ ВА.} \quad (28)$$

По расчету вторичной нагрузки $12,6 \text{ ВА} \leq 500 \text{ ВА}$, тогда условие выполняется, принимаем к установке ТН ЗНГ-110 УХЛ1.

5.5 Выбор ОПН 110 кВ

На ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» устанавливаем ОПН-110 для защиты трансформантов и электрических аппаратов вследствие коммутационных перенапряжений которые чаще всего возникают при грозовых атмосферных условиях.

Также в данном проекте ОПН-110 кВ необходимо установить в нейтраль силового трансформатора совместно с установкой ЗОН для защиты от больших величин напряжения, которые возникают из-за несимметричных КЗ.

ОПН представляет собой колонку, в основании которой стоят варисторы нелинейные, собранные в покрышку, в основном состоящую из стеклопластика с заполнением синтетическим полимером, а снаружи располагается ребристый изолятор. В основном все ОПН содержат устройство, противодействующее взрыву при прохождении больших токов, их подбирают с учетом соответствия защитных характеристик оборудованию.

Защитная особенность ОПН представляют из себя свойство протекания сверх тока через него, при значительном уменьшении сопротивления. Это происходит вследствие нелинейной особенности варистора установленного в нем, соответственно напряжение начинает падать до приемлемого и безопасного уровня.

На высокой и низкой стороне от трансформаторов Т-1 и Т-2 устанавливаются ОПН 110 кВ и 6 кВ для защиты силовых трансформаторов и других аппаратов от возможных пиковых напряжений. Их ставят как можно ближе к самому трансформатору, а иногда и возле ТН, но в нашем случае ОПН стоят только возле трансформаторов так как принципиально это не имеет значения.

Проверка ОПН по всем основным показателям, которые должны соответствовать условиям, приведенным в прилагаемых источниках [10, 18, 20] сведенных в таблицу 13.

Таблица 13 – Проверка ОПН 110 кВ

Данные	Расчет сравниваемой величины	Условия соответствия
$U_{доп}$ = 126 кВ	$U_{нр} > k_{пер} \cdot k_{гарм} \cdot U_{доп} = 1,05 \cdot 1 \cdot (126 / \sqrt{3}) = 76,4$ кВ	По рабочему напряжению: $U_{ф. max} < U_{нр}$ 76,4 кВ < 77 кВ
$I_{кз}$ = 5,52 кА $I_{вб} = 65$ кА	$k_{вб} \cdot I_{кз} = 1,2 \cdot 5,52 = 6,62$ кА, $k_{вб} = 1,2$ – коэффициент запаса; $I_{кз} = 5,52$ кА – значение наибольшего из токов КЗ в месте подключения.	Взрывобезопасность: $I_{вб} > k_{вб} \cdot I_{кз}$ 65 кА > 6,62 кА
$U_{ост} =$ = 230кВ	$U_{ки} = \sqrt{2} \cdot k_{и} \cdot k_{к} \cdot U_{исп} = 343,7$ кВ -для трансформаторов. $U_{ки}$ – испытательное напряжение коммутационного импульса защищаемого оборудования.	Защита от коммутационных перенапряжений: $1,2 \cdot U_{ост} < U_{ки}$ $1,2 \cdot 230 = 276$ кВ < 343,7 кВ
$L_{ут} = 390$ кВ/см	$\lambda \varepsilon \cdot U_{нс} = 2,7 \cdot 110 = 297$ кВ/см, $\lambda \varepsilon$ –длина пути утечки удельная не менее 2,7 кВ/см; $U_{нс}$ – напряжение сети	Для внешней изоляции длинна пути утечки: $L_{ут} > \lambda \varepsilon \cdot U_{нс}$ 390 кВ/см > 297 кВ/см

По результатам проверки ОПН-110 кВ полностью удовлетворяет всем пунктам выбора.

5.6 Выбор оборудования КРУ 6 кВ

5.6.1 Установка в здании ЗРУ ячеек КРУ 6 кВ

На ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» устанавливается отдельно стоящее здание ЗРУ 6 кВ с расположением в нем распределительных ячеек 6 кВ.

Здание выполнено блочно-модульным из сэндвич панелей, здание устанавливается на столбчатом фундаменте для удобства подвода кабелей в ячейки 6 кВ. Под зданием прокладываются кабельные лотки на каждую секцию 6 кВ, в которые закладываются фидерные кабели 6 кВ, которые дальше разводятся по территории завода до цехов - потребителей. Для размещения оборудования в помещении ЗРУ-6 кВ необходимо соблюдать габариты безопасного обслуживания ячеек и изоляционные расстояния. По высоте в здании должна помещаться сама ячейка и подходящие к ней шинные мосты от вводов и секциона, тогда от уровня пола до потолка необходимо не менее 3200

мм. Габаритные размеры внутри здания ЗРУ 6 кВ должны удовлетворять условию беспрепятственного обслуживания ячейки 6 кВ, желательно оставлять место для двухстороннего обслуживания ячейки. Расстояние перед лицевой частью ячейки выбирается исходя из условия выкатки выключателя на тележки плюс расстояние для прохода персонала. По нормам проектирования и пожарным нормам [9, 16] для персонала сделаны два отдельных входа-выхода в основной коридор, также между секциями установлена перегородка.

Основная функция РУ 6кВ прием и дальнейшее распределение энергии, включая СН потребляемые ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ». С учетом предыдущих пунктов в проекте РУ НН выполнено по схеме 6-1 «Одна, секционированная выключателем, система шин» [8, 11, 17] (рисунок 2), которая состоит из ячеек серии КРУ-СЭЩ-70 производства ООО «Электрощит-К° [7], как одного из основных отечественных производителей, внешний вид секции ячеек показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид секции ячеек 6 кВ серии КРУ-СЭЩ-70

Конструктивно пространство внутри ячейки делят на разные отсеки для того чтобы разделить оборудование по функциональному признаку и по взрывопожарным условиям, также в ячейки на случай аварии предусмотрены

вышибные части и каналы, направленные вверх для сброса давления газов и безопасности персонала.

В ячейках устанавливаю собственные защиты, такие как дуговая для своевременного обнаружения дуги с последующим отключением ячейки. Также все ячейки оборудованы множеством электромагнитных и механических блокировок, которые необходимы от ошибочных и некорректных операций, выполняемых персоналом обслуживания.

На каждую секцию 6 кВ устанавливают по одному ТН для организации защит секции, а также к ТН подключают все приборы измерения. В основном каждый фидер питается от двух секций одновременно, так как нагрузка делится примерно пополам. Каждая из двух секций ячеек 6 кВ состоит из разных типов ячеек:

- ячейка ввода (1 шт.);
- ячейки секционирования (1 шт.);
- ячейка отходящих линий (12 шт.);
- ячейка ТСН (1 шт.);
- ячейки ТН с ОПН (1 шт.);

На каждую секцию 6 кВ устанавливают по одному ТН для организации защит секции, а также к ТН подключают все приборы измерения. В основном каждый фидер питается от двух секций одновременно, так как нагрузка делится примерно пополам. Также помимо фидерных ячеек, на каждой секции установлена ячейка ТСН, вводная ячейка и ячейка секционного выключателя.

К основным аппаратам выбранного КРУ-СЭЩ-70 подлежащим расчету относятся выключатели, ТТ и ТН.

5.6.2 Выбор и проверка выключателя ВВУ-СЭЩ-II-6

В таблице 4 пятого пункта проведен расчет трехфазного КЗ, получены результаты для точки K_2 , со значением тока $I_{п.0}$ равного 7,36 кА и $i_{уд}$ равный 19,25 кА.

Принимаем к установке в ячейку ввода вакуумный выключатель с пружинно-моторным приводом типа ВВУ-СЭЦ-П-6-31,5/2500, с данными для расчета взятыми из таблицы 4 и собранными в таблице 14.

Таблица 14 – Проверка выключателя ВВУ-СЭЦ-П-6-31,5/2500

Данные	Расчет сравниваемой величины	Условия соответствия
$U_{\text{сет.ном}} = 6 \text{ В}$	$U_{\text{ном}} = 6 \text{ В}$	По напряжению: $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{Тном}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1539,6 \text{ А}$	Рабочему току: $I_{\text{раб.}} = 1539,6 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$,
	$I_{\text{мах}} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 2155,44 \text{ А}$,	Номинальному току: $I_{\text{мах}} = 2155,44 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$
$I_{\text{откл.ном}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{п.т}} = 7,36 \text{ кА}$	Способности отключающей $I_{\text{п.т}} = 7,36 \text{ кА} \leq I_{\text{откл.ном}} = 31,5 \text{ кА}$
$I_{\text{откл.ном}} = 31,5 \text{ кА}$ $\beta_{\text{нор}} = 40 \%$	$\tau = t_{\text{очн.з}} + t_{\text{с.в.}} = 0,01 + 0,03 = 0,0454 \text{ с}$ $i_{\text{а,т}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о.}} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 7,36 \cdot e^{\frac{-0,04}{0,06}} = 5,34 \text{ кА}$,	Отключение составляющей апериодической ТКЗ: $i_{\text{а,ном}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}}/100) \cdot I_{\text{откл.ном}} = (\sqrt{2} \cdot 45/100) \cdot 31,5 = 20,04 \text{ кА}$. $i_{\text{а,т}} = 5,34 \text{ кА} \leq i_{\text{а,ном}} = 20,04 \text{ кА}$
$I_{\text{вкл.ном}} = 31,5 \text{ кА}$ $i_{\text{вкл.ном}} = 81 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о}} = 7,36 \text{ кА}$ $i_{\text{уд}} = 19,25 \text{ кА}$	Способности включающей: $I_{\text{п.о}} = 7,36 \text{ кА} \leq I_{\text{вкл.ном}} = 31,5 \text{ кА}$; $i_{\text{уд}} = 19,25 \text{ кА} \leq i_{\text{вкл.ном}} = 81 \text{ кА}$
$I_{\text{пр.с}} = 31,5 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.с}} = 81 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о}} = 7,36 \text{ кА}$ $i_{\text{уд}} = 19,25 \text{ кА}$	Электродинамика (предельный сквозной ТКЗ): $I_{\text{п.о}} = 7,36 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.с}} = 31,5 \text{ кА}$; $i_{\text{уд}} = 19,25 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 81 \text{ кА}$
$I_{\text{T}} = 31,5 \text{ кА}$ $t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$	$B_{\text{к.расч}} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_a) = (7,36 \cdot 10^3)^2 (0,54 + 0,06) = 32,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2$ $B_{\text{к.выкл}} = 32,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{с} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = (31,5 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,54 = 535,81 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{с}$ Время необходимое для отключения КЗ вычисляется: $t_{\text{откл}} = t_{\text{рез.з}} + t_{\text{пв.откл}} = 0,5 + 0,04 = 0,54 \text{ с}$	По термической стойкости: $B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}}$ при условии $t_{\text{откл}} > t_{\text{T}}$; Если $t_{\text{откл}} = 0,54 < t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$, то $B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}}$, Стойкость термическая имеет вид: $B_{\text{к.расч}} = 32,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{с} \leq B_{\text{к.выкл}} = 535,81 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{с}$

Проверка показала, что выключатель ВВУ-СЭЦ-П-6-31,5/2500 подходит по всем пунктам выбора.

Отличие фидерных выключателей от вводного будет только в номинальном токе. Для расчета возьмем (потребителя) гальванический корпус с самой большой мощностью равной 2,15 МВА и рассчитаем для него номинальный ток выключателя: $I_{\text{раб.}} = 206,88 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$, где по формуле (29) вычислим значение:

$$I_{\text{раб.}} = \frac{S_{\text{Тном}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{2150}{\sqrt{3} \cdot 6} = 206,88 \text{ А.} \quad (29)$$

Соответственно все фидерные выключатели ячеек 6 кВ принимаем на ток 630 А, так как это минимальный ток выключателя по данным производителя.

5.6.3 Выбор и проверка ТН ЗНОЛ– СЭЩ-6

Для выбора параметров трехфазного ТН 3хЗНОЛ-СЭЩ-6 возьмем данные у изготовителя [12, 13] и сведем все в таблицу 15.

Таблица 15 – Основные показатели ТН ЗНОЛ-СЭЩ-6

Параметр ТН	Величина
Значение напряжения номинального обмотки первичной, $U_{1\text{ном}}$	6000 В
Значение напряжения номинального обмотки вторичной, $U_{2\text{ном}}$	100 В
Обмотки вторичные и их класс точности	0,5; 3Р
Мощность номинальная обмоток $S_{\text{ном}}$, ВА	225; 400
Предельная мощность	1000 ВА
Значение коэффициента мощности, $\cos\varphi$	0,8

Проверка ТН по соответствующим условиям [3, 18, 20]:

- условие соответствия значений напряжений номинальных 6 кВ;
- вторым условием является соединение в котором обмотка первичная по схеме звезда соединена со вторичной обмоткой по схеме звезда для измерений, а также вторую вторичную обмотку, выполненную по схеме разомкнутый треугольник для контроля изоляции системы РЗА.
- класс точности ТН равный 0,5 и 3Р;

– по условию расчета вторичной нагрузки $S_{2\Sigma}$ меньшей чем $S_{ном}$.

Соберем все значения сопротивлений приборов, которые необходимо подключить к ТН в таблицу 16, согласно [12, 13].

Таблица 16 – Основная вторичная нагрузка ТН

Приборы	Тип	Мощность, ВА	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Кол-во.	Общая мощность, ВА
Вольтметр	Э42702	3,2	1	0	2	6,4
Ваттметр/варметр	ЦП 8506	5,0	1	0	2	10,0
Счетчик (активной и реактивной энергии)	СЭТ-4ТМ.03. 01	1,5	0,4	0,91	14	21,0
Терминал РЗиА	Бреслер	2,5	1	0	15	37,5

Основным условием для определения выбора вторичной нагрузки является что полная нагрузка всех приемников $S_{2\Sigma}$ должна быть больше чем номинальная мощность определенного класса точности $S_{ном}$, вычисляется по формуле (30):

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cdot \cos\varphi_{приб})^2 + (\sum S_{приб} \cdot \sin\varphi_{приб})^2} = 65,16 \text{ ВА}, \quad (30)$$

По расчету вторичной нагрузки: $12,6 \text{ ВА} \leq 500 \text{ ВА}$ – условие выполняется, принимаем к установке ТН ЗНГ-110 УХЛ1.

5.6.4 Выбор и проверка ТТ ТШЛ– СЭЦ-6

Для расчета и выбора параметров вторичных обмоток трехфазных трансформаторов тока 3х ТШЛ-СЭЦ-6 надо выбрать потребителей, которые будут подключены.

Из каталога производителя ООО «Электрощит-К°» [7] возьмем справочные данные трансформатора тока ТШЛ-СЭЦ-6. Сведем все параметры производителя таблицу 17.

Таблица 17 – Основные показатели ТТ

Параметр ТТ	Величина
Значение напряжения номинального, $U_{\text{ном}}$	6 кВ
Значение тока первичное номинальное, $I_{1\text{ном}}$	2500 А
Значение тока вторичное номинальное, $I_{2\text{ном}}$	5 А
Обмотки вторичные и их класс точности	0,2S; 0,5
Значение наибольшее электродинамической стойкости, $i_{\text{пр.с}}$	100 кА
Значение термического тока, I_{T}	40 кА
Значение времени термического тока, t_{T}	3 С
Значение номинальной вторичной нагрузки S_2 при $\cos\varphi = 0,8$	15 ВА

Данные для расчета ТТ взяты из таблицы 4.

Для выбора трансформатора тока на низкой стороне ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ», данные для расчета возьмем из таблицы 4, в которой параметры сети тока КЗ $I_{\text{п.0}} = 7,36$ кА, ударный ток $i_{\text{уд}} = 19,25$ кА, а номинальная мощность вторичной обмотка трансформатора тока выбирается исходя из подключения амперметра, терминала РЗА и оборудования учета по низкой стороне 6 кВ.

Далее необходимо сделать проверку ТТ по соответствующим условиям [18, 20] в таблице 18.

Таблица 18 – Проверка ТТ ТШЛ-СЭЩ-6

Данные	Расчет сравниваемой величины	Условия соответствия
$U_{\text{сет.ном}} = 6$ В	$U_{\text{ном}} = 6$ В	По напряжению: $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{ном}} = 2500$ А	$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{Tном}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1539,6$ А	Рабочему току: $I_{\text{раб.}} = 1539,6 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$,
	$I_{\text{мах}} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 2155,44$ А.	Номинальному току: $I_{\text{мах}} = 2155,44 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$
$i_{\text{пр.с}} = 100$ кА	$i_{\text{уд}} = 19,25$ кА	По электродинамической стойкости $i_{\text{уд}} = 19,25 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$

Продолжение таблицы 18

Данные	Расчет сравниваемой величины	Условия соответствия
$I_T = 31,5 \text{ кА}$ $t_T = 3 \text{ с}$	$B_{к.расч} = I_{п.о}^2 (t_{откл} + T_a) = (7,36 \cdot 10^3)^2 (0,54 + 0,06) = 32,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2$ $B_{к.выкл} = 32,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = (31,5 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,54 = 535,81 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$, при условии $t_{откл} > t_T$; Если $t_{откл} = 0,54 < t_T = 3 \text{ с}$, то $B_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$, Время необходимое для отключения КЗ вычисляется: $t_{откл} = t_{рез.з} + t_{пв.откл} = 0,5 + 0,04 = 0,54 \text{ с}$ Стойкость термическая имеет вид: $B_{к.расч} = 32,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с} \leq B_{к.выкл} = 535,81 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$
-	ТТ литой, шинный	класс точности 0,2S; 0,5, 10P

По результатам проверки ТТ ТШЛ-СЭЦ-6 удовлетворяет всем пунктам выбора и отдельно проведем расчет вторичной нагрузки ТТ.

Соберем значения сопротивление приборов для расчета вторичной нагрузки ТТ и сведем полученные данные в таблицу 19, согласно [12, 13].

Таблица 19 – Нагрузка на вторичную обмотку ТТ

Наименование прибора	Класс точн.	Тип прибора	Количество	Мощность, ВА	Мощность 1-го керна ТТ, ВА
Амперметр	0,5	Э-365	14	0,5	15
Счетчик активной и реактивной энергии	0,2S	СЭТ- 4ТМ.03. 01	14	1,5	15
Терминал РЗА	10P	Бреслер	15	2,5	15

В водных и фидерных ячейках трансформатор тока состоит из трех кернов обмоток, каждая из которых имеет мощность 15 ВА (согласно таблице 18). Обмотка каждого керна идет на свой прибор и согласно таблице 19 не превышает значение 15 ВА, соответственно ТТ ТШЛ-СЭЦ-6 удовлетворяет всем условиям.

Отличие фидерных ТТ от вводного будет только в номинальном токе. Для расчета возьмем (потребителя) гальванический корпус с самой большой мощностью $S_{\text{ТНОМ}}$ равной 2,15 МВА и рассчитаем для него номинальный ток трансформатора тока по формуле (31):

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{ТНОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{2150}{\sqrt{3} \cdot 6} = 206,88 \text{ А}, \quad (31)$$

Условие выполнено $I_{\text{раб.}} = 206,88 \text{ А} \leq I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ соответственно все ТТ установленные в фидерных ячейках 6 кВ принимаем на ток 600 А, так как это минимальный ток по данным производителя.

План здания ЗРУ 6 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» представлен в приложении Г (графической части).

5.7 Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд

На ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» основными элементами существующей системы собственных нужд напряжением переменного тока 6/0,4 кВ является два масляных трансформатора собственных нужд (ТСН) типа ТМГ-СЭЩ-400/6-УХЛ1, схема соединения обмоток Д/Ун-11, с естественным охлаждением масла, располагающийся на ОРУ, согласно [1]. Подключение ТСН происходит от ячеек 6 кВ серии КРУ-СЭЩ-70.

В целях пожарной безопасности и по нормам ПУЭ [9, 13, 14], ТСНы ограждают бетонными перегородками, а также с внешней стороны ограждают сеткой и калиткой. По нормам безопасности обслуживающего персонала ТСН устанавливается на высоте 1, 2 метра от уровня земли и обозначенный предупредительным знаком. Подключение ТСН к распределительным ячейкам 6 кВ серии КРУ-СЭЩ-70 выполняется кабелем 6 кВ АВВГнг(А)-LS-6 с сечением 4х50.

Внешний вид трансформатора ТМГ-СЭЩ-400/6-УХЛ1 показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Трансформатор ТМГ-СЭЩ-400/6-УХЛ1

ТСНы укомплектованы реле газовой защиты, в них предусмотрен термометр для контроля температуры масла. Вводы трансформатора съемные, что позволяет производить замену изолятора ВН без отсоединения отводов. В помещении трансформаторные отсеки оборудованы съемными закатными рамами. Под трансформаторами установлены маслоприемники, засыпанные песчано-гравийной смесью толщиной не менее 25 см, для замены масла. Далее по масловодам установленным под углом все масло стекает в маслосорборник находящийся за зданием ЗРУ 6 кВ.

В здании ОПУ устанавливается щит собственных нужд (ЩСН) 0,4 кВ, который состоит из 5 шкафов, двух вводных, одного секционного и двух распределения. В ЩСН электроэнергия распределяется по двум секциям шин, служащим для передачи её в небольшие распределительные шкафы потребителей на всей ГПП.

Основными потребителями собственных нужд ~380/220 В являются:

- зарядно-подзарядные устройства щита постоянного тока;
- приводы РПН и устройства обдува силовых трансформаторов;
- обогрев приводов выключателей, разъединителей 110 кВ;
- нагревательные элементы шкафов управления;
- оперативная блокировка разъединителей 110 кВ и 6 кВ;
- электроосвещение территории и помещений ПС;
- обогрев и вентиляция соответствующих помещений ПС;
- панели АСУ ТП, РЗА, связи;

Данные потребители запитаны от двух ТСН по кольцевой схеме, как показано на рисунке 11.

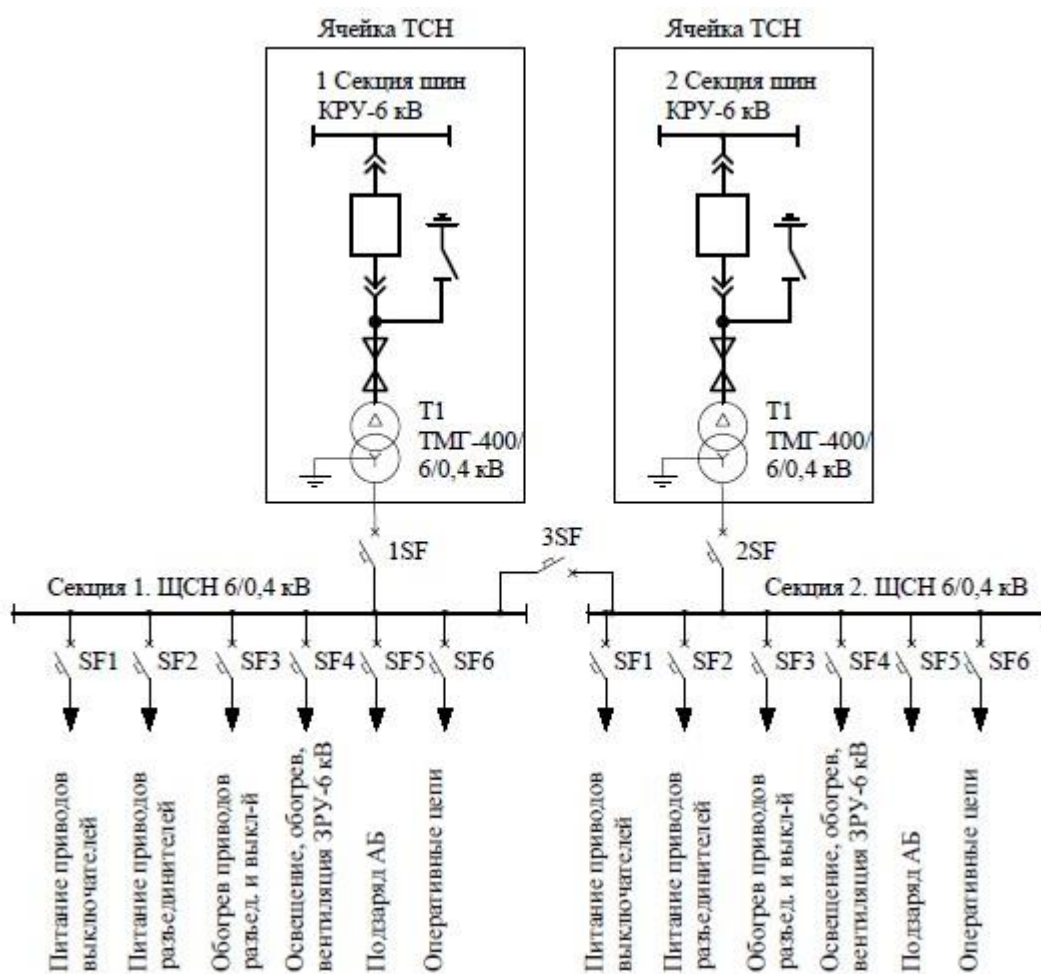


Рисунок 11 – Упрощенная однолинейна схема щита собственных нужд ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»

Расчет нагрузок выполнен на основании номинальных нагрузок потребителей, суммарная мощность всех нагрузок составляет 457,8 кВА.

Исходя из того что в таблице потребителей присутствуют потребители 1-ой и 2-ой категории электроснабжения и условия допустимой аварийной перегрузки (40 %), то необходимое число основных ТСН должно быть равно $n = 2$.

Исходя из учета коэффициента спроса, рассчитаем мощность ТСН по формуле (32):

$$S_{\text{ТСН}} \geq K_c \cdot S_{\text{сн}} = 0,7 \cdot 457,8 = 320,46 \text{ кВА}, \quad (32)$$

Полученную мощность ТСН необходимо подобрать с учетом шкалы значений по ГОСТ 12965-85 [1], соответственно выбираем ТСН на 400 кВА.

С учетом проверки ТСН на допустимую нагрузку при ремонтных работах 15-20 % посчитаем по формуле (33):

$$S_{\text{тр}} \cdot 1,15 \geq S_{\text{нагр}}; 400 \cdot 1,15 = 460 \geq 457,8 \text{ кВА}, \quad (33)$$

В здании ОПУ на ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» основными устанавливается ЩСН состоящий из пяти шкафов соединенных между собой шинами 0,4 кВ. Крайний слева и справа ставятся распределительные шкафы с автоматами, распределяющими нагрузку по подстанции кабельными линиями от разных секций ЩСН. Подключение распределительных шкафов к разным секциям ЩСН является нормальным режимом, то есть ТСН1 и ТСН2 питают распределительные шкафы каждый свою секцию шин и позволяет сохранить часть нагрузки в работе, если пропало напряжение на одной из секций по средствам секционного выключателя АВР. В середине стоят три шкафа с двумя вводными выключателями и одним секционным, также все они связаны системой АВР для переключения питания одной из шин при отключении от питания второй секции [11, 20].

Автоматы, стоящие в ЩСН служат защитой распределительных кабелей по току и тепловому нагреву. В ЩСН также установлены счетчики для учета количества электроэнергии расходуемой на собственные нужды ПС. Для защиты от скачков напряжения предусмотрены УЗИП стоящие на каждой секции отдельно.

Выключатели 0,4 кВ на вводе и в секции съемного типа на выкатных полозьях, сделано это для удобства ремонта и эксплуатации, а также выполняет функции разъединителя. Приборы индикации и измерения, а также управления выведены на лицевую панель для визуального контроля и удобства коммутации, шины силовые 0,4 кВ расположены с задней стороны для безопасности.

Внешний вид шкафа ЩСН показан на рисунке 12.



Рисунок 12 – Вид ЩСН

В случае погашения всей ГПП необходима система оперативного бесперебойного тока, которая в свою очередь должна обеспечить питание жизненно важных функций подстанции на определенное время. Такой системой является СОПТ состоявший из двух АБ, подзарядников и ЩПТ постоянного тока 220В. Щит выполняет питание взвода электромагнитов выключателей, системы РЗА, АСУ ТП и связи.

Схема ЩСН ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» представлена в Приложении В (графической части).

Вывод по разделу: в данном разделе проанализированы основные производители оборудования их данные и характеристики, необходимые для выбора выключателей, разъединителей, ТТ, ТН и ОПН 110 кВ, оборудования ячеек КРУ 6 кВ, ТСН 6/0,4 кВ, а также ЩСН. Проведены электротехнические расчеты и сравнение данного оборудования с нормативными показателями стандартов и ГОСТов представленных в списке источников.

6 Выбор основных конструктивных решений ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»

Планировка ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» по стороне 110 кВ выбрана открытой (ОРУ), то есть оборудование располагается на открытом воздухе, так как более компактное расположение оборудования необходимо, когда габариты подстанции ограничены. Оборудование на ОРУ гораздо более дешёвое чем КРУЭ, а также более удобное с точки зрения эксплуатации и ремонта. На территории ГПП устанавливаются два блочно-модульных здания ЗРУ 6 кВ и ОПУ, согласно [16, 17].

Для полноценного функционирования подстанции и выполнения всех функций в полном объёме, приняты решения выполнить схемы:

- на ВН 110 кВ схема «Два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий» (типовая схема 110-4Н);
- на НН 6 кВ сделаем схему 6-1 «одна секционированная выключателям системы шин» с учетом расположения оборудования в здании БМЗ ЗРУ-6 кВ.

Применение такого типа РУ соблюдает все требования отходящих фидеров по территории ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».

Сейсмичность площадки, проектируемой ГПП оценивается, согласно карте СМР в 8 баллов. В связи с этим проектом предусматривается использование сейсмостойкого оборудования.

На ОРУ расположено высоковольтное оборудование 110 кВ и 6 кВ состоящее из:

- трансформаторов силовых ТДН 16000/110/6 (2 шт.);
- элегазовых колонковых выключателей 110 кВ типа ВГТ-УЭТМ-110-40/3150У1 (2 шт.);

- разъединителями горизонтально-поворотного типа РГНП.2–110Ш/1000-40 УХЛ1с ном. током 1000 А с двумя заземляющими ножами (4 шт.);
- разъединителями горизонтально-поворотного типа РГНП.1б–110Ш/1000-40 УХЛ1с номинальным током 1000 А с одним комплектом заземляющих ножей (2 шт.);
- ТТ110 кВ типа ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1 (6 шт.);
- ТН 110 кВ ЗНГ-110- УХЛ1 (6 шт.);
- ОПН 110 кВ (8 шт.);
- ячейковые и шинные порталы 110 кВ (2 плюс 2 шт., соответственно);
- ошиновка ОРУ 110 кВ выполнена проводом АС-70/11;
- мачты прожекторные с молниеприемниками высотой 25 м (3 шт.);
- контур защитного заземления проложенный в земле;
- трансформаторы собственных нужд ТМГ-СЭЦ-400/6-УХЛ1 (2 шт.).

Высоковольтное оборудование ОРУ 110 кВ предусматриваются элегазовые колонковыми выключателями с отдельно стоящими трансформаторами тока [16] т.к. в габаритах мы не ограничены, а использование ТТ может недостаточно для систем РЗА, АСУ ТП и АИС КУЭ.

Ошиновка ОРУ-110 кВ сделана жесткой только в ЛР-ТН-ЛР и в ремонтной перемычке. Вся остальная ошиновка ОРУ-110 кВ сделана проводом АС 70/11, в качестве ошиновки 110 кВ предполагается использовать провод сечением не ниже 70 мм², по условиям короны, он выдерживает необходимую нагрузки и удовлетворяет требованиям ПУЭ 7 [14]. Места соединения ошиновки и аппаратов сделаны на аппаратных зажимах А4А.

В связи со стесненными условиями и ограниченной территории для планировки ОРУ 110 кВ ошиновка на перемычке выбрана жесткая ОЖ-110/1000-УХЛ1 производства ЗАО «ЗЭТО» на номинальный ток 1000 А (меньше не производится) из алюминиевого сплава 1915Т круглого сечения трубы 80x5 мм.

На ОРУ ставим два ТТ с РПН мощностью 16000 кВА каждый, с ном. напряжением 110/6 кВ.

На ВН и НН от трансформаторов Т-1 и Т-2 устанавливаются ОПН 110 кВ и 6 кВ для их защиты.

Так как силовые трансформаторы масляные тогда для них нужно обустройство маслохозяйства [14]. Маслоприемники под трансформаторами представляет из себя бетонное корыто с засыпкой щебенкой слоем 25 см для недопущения растекания масла и распространения пожара при повреждениях, а также трубопроводами, по которым масло и вода от пожаротушения при аварии, должна стекать в маслобункер расположенный за зданием ЗРУ внизу подстанции.

Трассы лотков состоят из самого лотка и крышки, прокладываем их от оборудования до зданий ЗРУ и ОПУ на ОРУ так, чтобы не мешать подъезду к оборудованию и стоку ливневки. Там, где КЛ пересекаются с дорогой, закладываются трубные блоки из бетона с отверстиями, которые должны выдержать нагрузки от проезжающего транспорта вместе с перевозимым оборудованием. Кабели в местах где они поднимаются из лотков к шкафам управления оборудования, укладывают в металлические короба или закладывают в герметизированную металлическую гофру. По всем нормам [9, 10, 11, 13, 14] вторичные кабели (силовые и контрольные) должны идти или в разных лотках или разделены перегородками. Две линии КЛ, питающие один потребитель по схеме кольца, должны идти по разным лоткам, для того чтобы в случае аварии обе питающие линии не перегорели. В тех местах где кабели проходят через полы зданий ЗРУ и ОПУ закладываются проходные гильзы с заполнением, герметизирующим и противопожарным материалом. В ОПУ, кабели, идущие между различными щитами, проложены в фальшполу по металлоконструкциям в металлических лотках с учетом все того же принципа трассировки.

Всю территорию подстанции ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» необходимо огородить по периметру забором высотой 2,5 м. и для въезда на нее

устанавливаем распашные ворота для проезда, а рядом калитку прохода персонала. Также внутри подстанции, огораживается непосредственно ОРУ 110 кВ и ТСНы сеткой с калиткой и со знаками электрической опасности.

Здание ОПУ выполнено блочно-модульным и служит для размещения шкафов-панелей РЗА, шкафов системы АСУ ТП и оборудования связи установленного в отдельном помещении, щита ЩСН и ЩПТ, а также помещения АБ. В здании и на подстанции не предусмотрено постоянное присутствие персонала, так как весь ремонт проводят выездные бригады в случае необходимости или аварии.

План ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» с размещением электрооборудования показан в Приложении Г (графической части).

Планы зданий ОПУ и ЗРУ 6 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» представлены в Приложении Г (графической части).

Вывод по разделу: в данном разделе с учетом исходных данных о габаритах и предполагаемой схеме ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» выполнена компоновка, состоящая из ОРУ 110 кВ, зданий ОПУ и ЗРУ 6 кВ, установки силовых трансформаторов и ТСН с учетом маслохозяйства. Разработаны план здания ОПУ с помещениями и установкой шкафов вторичной коммутации и план здания ЗРУ с установкой в нем двух секций ячеек РУ 6 кВ. В соответствии с нормативной документацией, на территории ГПП предусмотрены подъездные пути с учетом проложенных коммуникаций.

7 Молниезащита ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»

Все здания ОПУ и ЗРУ и оборудование высоковольтное на ОРУ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» должны быть защищены от непосредственных ударов молнии, в соответствии с инструкцией по молниезащите [19] так как ПС считается объектом, который имеет опасность ограниченную.

Защита от непосредственных ударов молнии в оборудование, ошиновку, зданий и сооружений на территории подстанции осуществляется при помощи одного молниеприемника высотой 19 м стоящего на шинном портале 110 кВ и трех отдельно стоящих молниеотводов высотой 20 метров каждый.

Расчеты молниезащиты выполнены со степенью надежности $P = 99 \%$ и осуществляются определением зон защиты непосредственно каждого молниеприемника и между ними. Исходя из размеров подстанции, по плану подстанции, построенному в масштабе, определим расстояние между ближними молниеотводами l_1 равной 29,3 м и расстояние между самыми дальними молниеотводами l_2 равно 56,74 м.

Зоной защиты стержневого молниеотвода оборудования ОРУ 110 кВ, высотой h , будет конус высотой h_0 равно $0,8 \cdot h$, а значением его радиуса r_0 равного $0,8 \cdot h$

Радиус горизонтального сечения зоны защиты оборудования r_0 на высоте h_0 вычислим по формуле (34):

$$r_x = r_0 \cdot \frac{h_0 - h_x}{h_0}, \quad (34)$$

Для определения границ зоны защиты подстанции от прямых ударов молнии выполним построение зоны молниезащиты путем построения зон попарно взятых соседних молниеотводов.

Проведем расчет горизонтальных зон защиты для электротехнического оборудования ОРУ 110 кВ и зданий ОПУ и ЗРУ 6 кВ, на высоте h_1 которое равно 6 м, так как это самая высокая отметка по формулам (35, 36):

$$r_1 = r_0 \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0} = 15,2 \cdot \frac{15,2 - 6}{15,2} = 9,2 \text{ м}, \quad (35)$$

$$r_2 = r_0 \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0} = 16 \cdot \frac{16 - 6}{16} = 10 \text{ м}. \quad (36)$$

Расчетные зоны молниезащиты показывают, что все оборудование на территории подстанции расположенное на высоте h_x равного 6 м, попадает в зону действия защиты.

Условие выполняется, выбранные молниеприемники обеспечивает защиту территории ПС от непосредственных ударов молнии.

План молниезащиты ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» представлен в Приложении Д (графической части).

Вывод по разделу: в данном разделе проведены расчеты зон молниезащиты с учетом габаритов ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» для выполнения защиты от непосредственных ударов молнии в оборудование, ошиновку, и здания. Результатом данных расчетов является выбор мест и высот отдельно стоящих мачт молниеотводов с учетом молниеприемника установленного на ячейковом портале 110 кВ.

8 Мероприятия по заземлению ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»

Заземляющее устройство запроектировано по ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ [4] и на допустимое сопротивление растекания (в соответствии с гл.1.7.88 и 1.7.90 ПУЭ, 7 издание) [14].

Заземляющее устройство (ЗУ) подстанции запроектировано в виде сетки с ячейкой не больше 6х6 м из горизонтальных стальных полос сечением 4х40 мм² (общей длиной 450 метров) и вертикальных заземлителей 60 штук круглых прутка диаметром 15 мм и длиной 3 метра каждый (далее подтверждено расчетом). Оборудование заземляется минимум двумя полосами сечением 4х40 мм., которые подсоединяются к общему контуру, а в трансформаторах нейтраль заземляется через ЗН. Всю горизонтальную сетку ЗУ прокладывают на глубине не менее 0,5 м. от уровня земли с учетом расстояния 1 м от фундаментов оборудования [14]. Все швы сварки ЗУ сначала красятся цинконаполненной краской, а поверх нее красят краской с основой, состоящей из алюминиевой пудры.

Растекание тока молнии от отдельно стоящих молниеотводов, порталов и ОПН должно быть выполнено не менее чем в двух направлениях, с углом 90°, а также с установкой не менее двух вертикальных электродов длиной 3 метра. ОПН заземляются полосой, прикрепленной к выводу на нижнем фланце.


К ЗУ присоединяется корпуса трансформаторов Т-1 и Т-2, также контур проложен в маслоприемном ограждении и соединен с общим контуром ЗУ в четырех точках [4].

Внешняя ограда к заземляющему устройству не присоединяется, а ее столбы являются вертикальными заземлителями. Расстояние от ограды до элементов ЗУ ПС, расположенных вдоль нее не менее 2 м.

Все оборудование и все металлические элементы зданий ОПУ и ЗРУ присоединено к внутреннему контуру заземления расположенного по стенам помещений на высоте 0,4 м от уровня пола. В шкафах заземляющие, нулевые

защитные проводники прикрепляют болтами, имеющими надежный электрический контакт. ЗУ 0,4 кВ сделано TN-C-S.

Присоединение корпусов всего оборудования к ЗУ отдельной полосой по кратчайшему расстоянию, так как последовательное включение открытых проводящих частей не допускается [4, 14]. Металлическая рама основания шкафов, привариваются или крепятся болтами с надежным контактом минимум в двух точках. Металлические оболочки и броня кабелей обязательно должны заземляться с двух сторон в местах концевой разделки кабелей, а также в местах их ввода в здание ОПУ и ЗРУ.

Выходя из зданий, внутренний контур соединяется с внешним ЗУ через стены в стальных гильзах, не менее чем в четырех местах, а в местах ввода в здание ЗУ установлен знак . Все открытые проводники ЗУ покрашены в черный цвет. После выполнения работ по прокладке ЗУ проводится проверка качества с замером сопротивления, которое должно быть не более 0,5 Ом [14].

Проведем расчет заземляющего устройства ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»: согласно ПУЭ п.1.7.89(90) [14] напряжение на ЗУ не должно быть больше 10 кВ и 0,5 Ом. На рисунке 13 представлена упрощенная расчетная схема заземлителя ГПП.

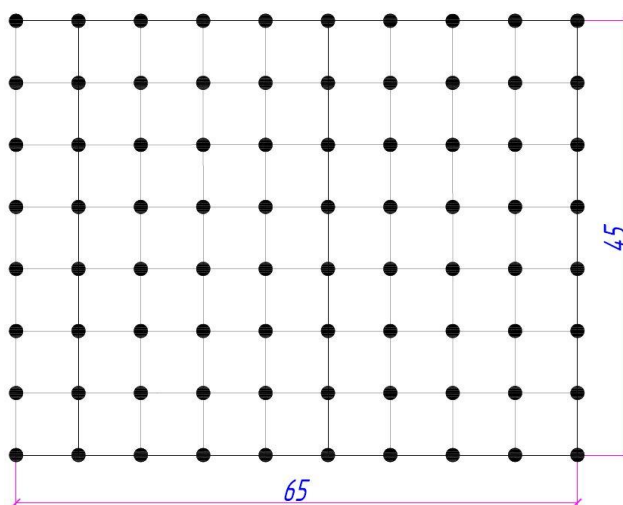


Рисунок 13 – Упрощенная схема заземлителя ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ»

Сделаем подтверждающий расчет ЗУ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ».

Сопrotивление одного вертикального заземлителя в виде круга диаметром 15 мм и длиной 3 м посчитаем по формулам (37, 38):

$$R_{в1} = \frac{k \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0,5 \ln \frac{4H + l}{4H - l} \right) = 33,68 \text{ Ом}, \quad (37)$$

$$H = \frac{1}{2} \cdot l + h = 0,5 \cdot 3 + 0,7 = 2,2 \text{ м}, \quad (38)$$

где k – коэффициент промерзания земли, равный 1;

ρ – уд. сопротивление земли, равное 100 ом·м;

l – длина заземлителя, равная 3 м;

d – диаметр заземлителя, равный 0,015 м;

h – расстояние от земли до верхнего конца вертикального заземлителя, равное 0,7 м.

Рассчитаем сопротивление всех вертикальных электродов, соединенных между собой, но не учитывая сопротивление соединяющей их полосы по формуле (39):

$$R_B = \frac{R_{в1}}{N \cdot K_u} = \frac{33,68}{60 \cdot 0,4} = 1,4 \text{ Ом}, \quad (39)$$

где N – число вертикальных электродов, равное 60;

K_u – коэффициент использования стержней, равный 0,4.

Сопrotивление горизонтального заземлителя в виде вытянутой металлической полосы 40х4, помещенной на глубине h по формуле (40):

$$R_r = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \lg \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot h} = \frac{0,366 \cdot 100}{450} \cdot \lg \frac{2 \cdot 450^2}{0,04 \cdot 0,7} = 0,58 \text{ Ом}, \quad (40)$$

где ρ – уд. сопротивление земли, равное 100 ом·м;

L – длина заземлителя, м;

b – ширина полосы, м.;

h – расстояние до верхнего конца вертикального заземлителя, м.

Полное сопротивление внешнего контура заземления ГПП считаем по формуле (41):

$$R = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_{\text{В}}}{R_{\Gamma} + R_{\text{В}}} = \frac{0,58 \cdot 1,4}{0,58 + 1,4} = 0,41 \text{ Ом.} \quad (41)$$

Таким образом делаем вывод, что заземляющий контур ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» проложен по нормам и согласно ПУЭ [14] удовлетворяет всем необходимым условиям:

- сопротивление всего контура ЗУ должно меньше 0,5 Ом, что соответствует ПУЭ п.1.7.90;
- напряжение ЗУ равно произведению сопротивления ЗУ на ток КЗ равно 2,26 кВ и меньше чем 10 кВ, что соответствует ПУЭ п.1.7.89.

План заземления ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» представлен в приложении Е (графической части).

Вывод по разделу: в данном разделе описаны основные нормы и условия прокладки заземляющего устройства в зданиях ОПУ и ЗРУ, присоединение к внутреннему контуру шкафов и оборудования, а также металлоконструкций с учетом безопасной эксплуатации. На ОРУ 110 кВ ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ» проведен расчет заземляющего устройства, проложенного в земле с учетом норм и стандартов. В результате данного расчета подтверждено сопротивление и напряжение ЗУ на соответствие п.1.7.89 и п.1.7.90 ПУЭ [14].

Заключение

В проекте ГПП 110/6 кВ Улан-Удэнского авиационного завода были подробно проанализированы нагрузки цехов завода, проведен выбор силовых трансформаторов, а также составлена принципиальная схема ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ». Исходя из данных о категорийности электроприемников цехов завода была выбрана принципиальная электрическая схема двухтрансформаторной ГПП по высокой стороне 110-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», а по стороне НН 6 кВ выбрана схема 6-1 «Одна, секционированная выключателем, система шин». Был проведен расчет и выбор характеристик электрических аппаратов, установленных на территории ОРУ 110 кВ и в ячейках КРУ 6 кВ:

- силовые трансформаторы ТДН 16000/110/6;
- элегазовые колонковые выключатели типа ВГТ-УЭТМ-110-40/3150У1;
- разъединители горизонтально-поворотного типа РГНП.2–110П/1000-40 УХЛ1 (РГНП.16–110П/1000-40 УХЛ1);
- измерительного ТТ типа ТРГ-УЭТМ-110 УХЛ1;
- измерительного ТН типа ЗНГ-110- УХЛ1;
- ОПН-П-110 УХЛ1;
- выключатели 6 кВ типа ВВУ-СЭЩ-П-6-31,5/2500;
- трансформаторы тока 6 кВ типа ТШЛ-СЭЩ-6;
- трансформаторы напряжения 6 кВ типа ЗНОЛ-СЭЩ-6;
- трансформаторы собственных нужд 6/0,4 кВ типа ТМГ-СЭЩ-400/6-УХЛ1.

После выбора и расчета оборудования электрических аппаратов была выполнена компоновка ГПП 110/6 кВ АО «У-УАЗ», проведены расчеты молниезащиты и выполнены мероприятия по заземлению ГПП с соблюдением нормативной документации, ГОСТов, СНИПов и ПУЭ.

Список используемых источников

1. ГОСТ 12965-85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. Издательство стандартов, 1985. Межгосударственный стандарт. Актуализирован в 2021, 127 с.
2. ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в установках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. Национальный стандарт российской федерации, 2007. 35 с.
3. ГОСТ 1983-2015 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия. Национальный стандарт российской федерации, 2015. 39 с.
4. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. Межгосударственный стандарт. Актуализирован в 2001, 10 с.
5. Завод электротехнического оборудования: ЗАО «ЗЭТО»: [сайт] / ЗАО «ЗЭТО». URL: <http://zeto.ru> (дата обращения 10.03.2022).
6. Завод электротехнического оборудования: АО «Уралэлектротяжмаш» (АО «УЭТМ»): [сайт] / <https://www.uetm.ru> (дата обращения 10.03.2022).
7. ЗАО «ГК «Электрощит» – ТМ Самара»: [сайт] / ЗАО «ГК «Электрощит». URL: <http://electroshield.nt-rt.ru> (дата обращения 10.03.2022).
8. Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И. Схемы электрических соединений подстанций: учебное пособие. 2-е изд., стер. М.: Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. 100 с.
9. НПБ 105-03 Нормы пожарной безопасности «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Утв. приказом МЧС РФ № 314, 2003. 43 с.
10. Немировский А.Е., Сергиевская И.Ю., Крепышева Л.Ю. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций: учебное пособие. 2-е изд., доп. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 148 с.
11. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учеб. пособие. М. : Форум; ИНФРА-М, 2018. 416 с.

12. ОАО «Электроприбор»: [сайт] / ОАО «Электроприбор». – URL: <https://www.elpribor.ru> (дата обращения 30.03.2022).
13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Москва : ИНФРА-М, 2018. 262 с.
14. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: ЭНАС, 2013. 104 с.
15. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. 152 с.
16. СТО 34.01-3.1-002-2016 Типовые технические решения подстанций 6–110 кВ: ПАО «ФСК ЕЭС», 2022. 343 с.
17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. Типовые решения: ПАО «ФСК ЕЭС», 2007. 132 с.
18. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ (НТП ПС.): ПАО «ФСК ЕЭС», 2007. 135 с.
19. СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций». Утв. приказом Министерства энергетики России № 280, 2003. 60 с.
20. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие, 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2019. 136 с.