

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция электрической части ГПП 110/6 кВ химического предприятия»

Студент	<u>А.А. Ванчуров</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>С.В. Шаповалов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы является «Реконструкция электрической части ГПП 110/6 кВ химического предприятия».

По исходным данным, полученным на предприятии, выполнены расчеты электрических нагрузок по подстанции, определены значения токов короткого замыкания на сторонах 110 и 6 кВ, произведен выбор электрооборудования и расчет релейной защиты силового трансформатора ГПП.

Также в объем выпускной квалификационной работы входит:

- расчет вновь вводимых электрических нагрузок;
- выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов ГПП;
- расчет токов КЗ;
- расчет уставок РЗ отходящего фидера с ГПП;
- расчёт защитного заземления ГПП;
- молниезащита ГПП.

Выпускная квалификационная работа выполнена в объёме 56 страниц, двух рисунков, 12 таблиц и графической части выполненной на 6-и листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1.Краткая характеристика объекта проектирования	5
2.Расчет вновь вводимых электрических нагрузок.....	6
3 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов ГПП.....	16
4. Расчет токов короткого замыкания	25
5. Расчет и выбор электрического оборудования	29
6 Релейная защита и автоматика ГПП.....	38
7.Расчёт защитного заземления ГПП.....	48
8. Молниезащита ГПП.....	50
9.Собственные нужды подстанции.....	51
10. Выбор оперативного тока.....	53
Заключение	54
Список использованных источников.....	55

Введение

Система электроснабжения представляет собой совокупность электроустановок, состоящих из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, приемников электроэнергии. Требования, которым должна соответствовать проектируемая система электроснабжения [1-5]:

- экономичность во время эксплуатации;
- обеспечение заданной надежности электроснабжения потребителей;
- обеспечение безопасности персонала и удобства эксплуатации;
- качество электрической энергии, соответствующее требованиям ГОСТ;
- гибкость системы, позволяющая дальнейшее развитие системы электроснабжения без кардинального переустройства;
- снижение потерь электроэнергии за счет максимального приближения источников питания к электроустановкам потребителей и др.

Система электроснабжения промышленного предприятия (СЭС ПП) должна выбираться на основе технико-экономического сравнения различных вариантов по критерию минимума дисконтируемых затрат или другим экономическим критериям.

Для предотвращения аварийных режимов работы подстанции предприятия предлагается заменить существующие ячейки на более современные. Также назрела необходимость замены разъединителей и разрядников. Для безаварийной и безопасной работы ГПП-1 предлагается в соответствии с современными требованиями надежности заменить масляные выключатели 110 кВ на элегазовые выключатели ВГТ-110, и смонтировать устройство АВР на стороне 110 кВ между трансформаторами, запитанными с подстанций «Васильевская» и «Левобережная». Это позволит при аварийной работе разгрузить силовые трансформаторы.

Цель работы – повышение надёжности электроснабжения потребителей от ГПП-1 ЗАО «ТольяттиСинтез».

1 Краткая характеристика объекта проектирования

ЗАО «ТольяттиСинтез» - предприятие нефтехимического комплекса России, расположенное в городском округе Тольятти. Входит в химический холдинг Сибур. Основной продукцией являются синтетические каучуки различных видов. Также предприятие производит углеводородные фракции, продукты органического и неорганического синтеза, мономеры, полимеры и т.д.

ГПП-1 введена в эксплуатацию в 1961. Питание ГПП-1 осуществляется по воздушным линиям от П/С Левобережная и П/С Васильевская. Силовые трансформаторы защищены на стороне 110 кВ от токов короткого замыкания и токов перегрузки масляными выключателями. Электроприемники запитываются через кабельные линии.

ГПП-1 является тупиковой подстанцией. Существующая структурная схема подстанции не отвечает нынешним требованиям безопасности. Для предотвращения аварийных режимов работы предлагается заменить существующие ячейки на более современные ячейки производства Самарский электроцит СЭЦ-70. Необходима замена разъединителей и разрядников, которые выработали свой ресурс. Для обеспечения безаварийной и безопасной работы ГПП-1 предлагается в соответствии с современными требованиями надежности заменить масляные высоковольтные выключатели 110 кВ на элегазовые выключатели ВГТ-110, и смонтировать устройство АВР на стороне 110 кВ. Это позволит при аварийной работе разгрузить силовые трансформаторы.

Релейные защиты, установленные на подстанции, имеют аналоговое исполнение, большую моральную и физическую изношенность.

2 Расчет вновь вводимых электрических нагрузок

Электрические нагрузки промышленных предприятий определяют выбор всех элементов системы электроснабжения: мощности питающих и распределительных сетей, заводских и цеховых ТП.

Расчет выполняется по узлам питания системы электроснабжения в следующем порядке [2, 3, 6-10]:

Все электроприемники в цехе ИП - 3 объединяются по группам, в нашем случае их 8.

Производим расчет для группы РП-1:

Маслонасос:

Определяем суммарные мощности электроприемников по формуле:

$$P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot n, \quad (2.1)$$

$P_{\text{НОМ}}$ - номинальная активная мощность одного электроприемника, кВт,
 n - число электроприемников, шт.

$$P_{\text{НОМ}} = 5 \cdot 10 = 50 \text{ кВт};$$

- коэффициент использования $K_{\text{и}} = 0,65$ [1, страница 69 таблица 3,6];
- коэффициент мощности, $\cos \varphi = 0,8$ [1, страница 69 таблица 3,6];
- $\text{tg } \varphi = 0,75$, соответствующий $\cos \varphi$;
- среднесменная активная мощность, $P_{\text{см}}$ кВт

$$P_{\text{см}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{и}}, \quad (2.2)$$

$$P_{\text{см}} = 50 \cdot 0,65 = 32,5 \text{ кВт};$$

- среднесменная реактивная мощность, $Q_{\text{см}}$ кВАр

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{см}} = 32,5 \cdot 0,75 = 24,37 \text{ кВАр};$$

- общее количество станков запитанных от РП-1:

$$n_{\text{э РП-1}} = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + \dots + n, \quad (2.4)$$

$$n_{\text{э РП-1}} = 5 + 8 + 2 + 2 + 10 + 3 = 30 \text{ шт};$$

- установленная номинальная мощность на РП1, $P_{\text{ном. РП1}}$ кВт

$$P_{\text{ном. РП1}} = \sum P, \quad (2.5)$$

где $P_{\text{у.н.}}$ - установленная мощность группы оборудования.

$$P_{\text{ном. РП1}} = 50 + 8 + 11 + 11 + 30 + 288 = 398 \text{ кВт}.$$

Определяем модуль силовой сборки по формуле:

$$m = \frac{P_{\text{н max}}}{P_{\text{н min}}} \geq 3, \quad (2.6)$$

где m - модуль силовой сборки,

$P_{\text{ном max}}$ - номинальная активная мощность наибольшего электроприемника, кВт,

$P_{\text{ном min}}$ - номинальная активная мощность наименьшего электроприемника, кВт.

$$m = \frac{96}{1} = 96 \geq 3$$

Находим коэффициент использования и значение $\cos \varphi$ из таблицы [2], а затем по $\cos \varphi$ находим $\operatorname{tg} \varphi$: $K_u = 0,39$, $\cos \varphi = 0,57$, $\operatorname{tg} \varphi = 1,75$.

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузки для группы электроприемников путем суммирования данных таблицы 2.1:

$$P_{cm} = 32,5 + 5,2 + 7,15 + 7,15 + 19,5 + 86,4 = 157,9 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = 24,37 + 3,9 + 5,36 + 5,36 + 14,62 + 222,9 = 276,5 \text{ квар.}$$

Определение среднего коэффициента использования и среднего $\operatorname{tg} \phi$ по формулам:

$$K_{u.cp} = \frac{\Sigma P_{cm\Sigma}}{\Sigma P_{н\Sigma}}, \quad (2.7)$$

$$K_{u.cp} = \frac{157,9}{398} = 0,39,$$

$$\operatorname{tg} \phi_{cp} = \frac{\Sigma Q_{cm\Sigma}}{\Sigma P_{cm\Sigma}}, \quad (2.8)$$

$$\operatorname{tg} \phi_{cp} = \frac{276,5}{157,9} = 1,75.$$

Находим эффективное число ЭП (n_3) по нескольким условиям:
при $n \geq 5, K_{и} \geq 0,2$, $m \geq 3$, $P_{ном} \neq \text{const}$

$$n_3 = \frac{2 \cdot \Sigma P_{н}}{\Sigma P_{н..max}}, \quad (2.9)$$

$$n_3 = \frac{2 \cdot 398}{96} = 9.$$

В зависимости от $K_{и}$ и n_3 находим по таблице [2], $K_{max} = 1,47$.

Определяем максимальную активную и реактивную мощности по формуле:

$$P_{\max} = P_p = k_{\max} \cdot \sum P_{cm}, \quad (2.10)$$
$$P_{\max} = 1,47 \cdot 157,9 = 232,1.$$

Q_{\max} находим в зависимости от пэф по одной из формул:

Если $n_{\text{эф}} \leq 10$, то $Q_{\max} = Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{cm}$.

Если $n_{\text{эф}} > 10$, то $Q_{\max} = \sum Q_{cm}$.

$$Q_{\max} = \sum Q_{cm}, \quad (2.11)$$
$$Q_{\max} = 276,5 \text{ квар.}$$

Находим полную максимальную мощность по формуле:

$$S_{\max} = S_p = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}, \quad (2.12)$$
$$S_{\max} = \sqrt{232,1^2 + 276,5^2} = 468 \text{ кВА.}$$

Определяем максимальный ток для электроприемников узла нагрузки по формуле:

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (2.13)$$
$$I_{\max} = \frac{468}{1,73 \cdot 0,38} = 711 \text{ А.}$$

Расчеты для групп РП-2, РП-2а, РП-3, РП-5 РП-7, РП-8, РП-9 производятся аналогично, данные сводятся в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета электрических нагрузок

№	Наименование ЭП	Чис- ло ЭП n	Р _{уст} , приведенная к ПВ=100%		m	K _И	cosφ tgφ	Средние нагрузки		n _Э	K _М	Расчетные нагрузки			I _р , А
			Одного ЭП P _{н,МАКС} P _{н,МИН} кВт	всех ЭП P _н , кВт				P _с , кВт	Q _с , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	РП – 1														
1	Маслонасос	5	10	50		0.65	0.8/0.75	32.5	24.37						
2	Эл.Задвижка всаса	8	1	8		0.65	0.8/0.75	5.2	3.9						
3	ПМН-5	2	5,5	11		0.65	0.8/0.75	7.15	5.36						
4	РМН-5	2	5,5	11		0.65	0.8/0.75	7.15	5.36						
5	Эл.зadвижка	10	3	30		0.65	0.8/0.75	19.5	14.62						
6	ТВУ 1-3	3	96	288		0.3	0.35/2.58	86.4	222.9						
	Итого по распред. пункту 1	30	96/1	398	>3	0.39	0.57/1.75	157.9	276.5	9	1.47	232.1	276,5	468	711
	РП – 2														
1	Маслонасос	5	10	50		0.65	0.8/0.75	32.5	24.37						
2	Эл.Задвижка всаса	8	1	8		0.65	0.8/0.75	5.2	3.9						
3	ПМН-6	2	5,5	11		0.65	0.8/0.75	7.15	5.36						
4	РМН-6	2	5,5	11		0.65	0.8/0.75	7.15	5.36						
5	Эл.зadвижка	10	3	30		0.65	0.8/0.75	19.5	14.6						
6	ТВУ 4-6	3	96	288		0.3	0.35/2.58	86.4	222.9						
	Итого по распред. пункту 2	30	96/1	398	>3	0.39	0.57/1.75	157.9	276.5	9	1.47	232.1	276,5	468	711

Продолжение таблицы 2.1

1	РП – 2а Маслонасос	3	10	30		0.65	0.8/0.75	19.5	14.6						
2	Эл.Задвижка всаса	4	1	4		0.65	0.8/0.75	2.6	1.95						
3	ПМН-7	1	5,5	5.5		0.65	0.8/0.75	3.57	2.67						
4	РМН-7	1	5,5	5.5		0.65	0.8/0.75	3.57	2.67						
5	Эл.задвижка	5	3	15		0.65	0.8/0.75	9.75	7.31						
6	ТВУ - 7	1	96	96		0.3	0.35/2.58	28.8	74.3						
	Итого по распредел. пункту 2а	15	96/1	156	>3	0.43	0.65/1.52	67.79	103.5	5	1.76	119.3	103,5	217.5	329
1	РП-3 Насос - 315	2	132	264		0.65	0.8/0.75	171.6	128.7						
2	Насос – 307	2	200	400		0.65	0.8/0.75	260	195						
3	Насос – 325	2	20	40		0.65	0.8/0.75	26	19.5						
4	Насос – 328	1	2,8	2.8		0.65	0.8/0.75	1.82	1.3						
5	ПС-5	4	14	56		0.65	0.8/0.75	36.4	27.3						
6	ПС- 23	1	2,8	2.8		0.65	0.8/0.75	1.82	1.36						
7	ПС-15	2	7	14		0.65	0.8/0.75	9.1	6.82						
8	ПС- 16	4	4,5	18		0.65	0.8/0.75	11.7	8.77						
9	ПС-17	2	4,5	9		0.65	0.8/0.75	5.85	4.3						
10	ПС- 19	5	2,8	14		0.65	0.8/0.75	9.1	6.82						
11	ПС-6	2	10	20		0.65	0.8/0.75	13	9.75						
12	ПС - 12	2	17	34		0.65	0.8/0.75	22.1	16.5						
	Итого по распредел. пункту 3	24	200/2.8	856.6	>3	0.65	0,8/0.75	559.4	426.2	9	1.28	716	426,2	900.1	1367

Продолжение таблицы 2.1

	РП – 5														
1	ВС – 1	1	8	8		0.65	0.8/0.75	5.2	3.9						
2	ВС – 2	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9.7	7.27						
3	ВС – 3	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9.7	7.27						
4	АВС – 4	1	0,8	0.8		0.65	0.8/0.75	0.52	0.39						
5	АВС – 2	1	0,8	0.8		0.65	0.8/0.75	0.52	0.39						
6	АВС – 3	1	3	3		0.65	0.8/0.75	1.95	1.46						
7	АВС – 1	1	3	3		0.65	0.8/0.75	1.95	1.46						
8	АВС – 5	1	3	3		0.65	0.8/0.75	1.95	1.46						
9	Токарный станок	1	4	4		0.12	0.4/2.3	0.48	1.104						
10	Вент. Свар. Поста	1	2,8	2.8		0.65	0.8/0.75	1.82	1.36						
11	Наждак	1	3	3		0.12	0.4/2.3	0.36	0.82						
12	Вент. Наждака	1	1,7	1.7		0.65	0.8/0.75	1.1	0.82						
13	Сверлильный станок	1	2,1	2.1		0.12	0.4/2.3	0.2	0.46						
	Эл.ножницы														
14	Притирочный станок	1	2,3	2.3		0.17	0.65/1.17	0.3	0.5						
15	Гидропресс	2	2,3	4.6		0.12	0.4/2.3	0.5	1.15						
	Электроталь														
16	Сварочный	1	2,2	2.2		0.24	0.65/1.17	0.52	0.6						
17	преобразователь	2	7	14		0.15	0.8/0.75	2.1	1.57						
18	Сварочный	1	24	24		0.3	0.35/2.58	7.2	18.57						
19	генератор	1	75	75		0.3	0.35/2.58	22.5	58.05						
	Итого по распредел. пункту 5	21	75/0.8	184.3	>3	0.37	0.53/1.56	68.89	107.8	5	1.76	121.2	107,8	224.5	341

Продолжение таблицы 2.1

	РП – 7														
1	Насос – 155	2	2,8	5.6		0.65	0.8/0.75	3.6	2.7						
2	Насос – 175	2	25	50		0.65	0.8/0.75	32.5	24.3						
3	Насос – 137	3	11	33		0.65	0.8/0.75	21.45	16.08						
4	Насос – 404	2	30	60		0.65	0.8/0.75	39	29.25						
5	Насос – 4	1	32	32		0.65	0.8/0.75	20.8	15.6						
6	ПС – 7	1	7,5	7,5		0.65	0.8/0.75	4.87	3.6						
7	ПС – 8	1	7,5	7,5		0.65	0.8/0.75	4.87	3.6						
8	ПС – 10	1	7,5	7,5		0.65	0.8/0.75	4.87	3.6						
9	ВС – 4	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9.75	7.3						
10	ВС – 5	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9.75	7.3						
11	ВС – 6	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9.75	7.3						
12	ВС – 7	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9.75	7.3						
13	АВС – 6	1	2,8	2,8		0.65	0.8/0.75	1.82	1.36						
14	АВС – 7	1	0,8	0,8		0.65	0.8/0.75	0.52	0.39						
15	АВС – 8	1	2,8	2,8		0.65	0.8/0.75	1.82	1.36						
16	АВС – 9	1	0,8	0,8		0.65	0.8/0.75	0.52	0.39						
17	АВС - 14	1	7,5	7,5		0.65	0.8/0.75	4.87	3.6						
	Итого по распредел. пункту 7	22	30/0.8	243	>3	0.65	0,8/0.75	180.5	127.7	16	1.18	212.9	150.6	260.7	395

Продолжение таблицы 2.1

1	РП – 8														
2	Насос –5	2	5	10		0.65	0.8/0.75	6.5	4.87						
3	Насос – 9	2	25	50		0.65	0.8/0.75	32.5	24.3						
4	Насос – 16	2	30	60		0.65	0.8/0.75	39	29.2						
5	Насос – 24	2	20	40		0.65	0.8/0.75	26	19.5						
6	Насос – 27	2	55	110		0.65	0.8/0.75	71.5	53.6						
7	Насос – 34	2	25	50		0.65	0.8/0.75	32.5	24.3						
8	Насос – 41	3	27	81		0.65	0.8/0.75	52.65	39.48						
9	Насос – 42	2	13	26		0.65	0.8/0.75	16.9	12.6						
10	Насос – 53	2	2,8	5,6		0.65	0.8/0.75	3,64	2,73						
11	Насос – 47	2	5,5	11		0.65	0.8/0.75	7,15	5,36						
12	ПС – 13	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9,75	7,31						
13	ПС – 14	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9,75	7,31						
14	ПС – 21	1	4	4		0.65	0.8/0.75	2,6	1,95						
15	ПС – 22	1	8	8		0.65	0.8/0.75	5,2	3,97						
16	ВС – 8	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9,75	7,31						
17	ВС – 9	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9,75	7,31						
18	ВС – 10	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9,75	7,31						
19	ВС – 11	1	15	15		0.65	0.8/0.75	9,75	7,31						
20	АВС – 10	1	2,8	2,8		0.65	0.8/0.75	1,82	1,36						
21	АВС – 11	1	2,8	2,8		0.65	0.8/0.75	1,82	1,36						
22	АВС – 12	1	2,8	2,8		0.65	0.8/0.75	1,82	1,36						
	Итого по распредел. пункту 8	32	55/2,8	504	>3	0.65	0,8/0.75	360,1	269,8	19	1,15	414,1	310,3	517,4	786

Продолжение таблицы 2.1

1	РП – 9														
2	Насос – 108	2	55	110		0.65	0.8/0.75	71.53.	53.6						
3	Насос – 125	1	5,5	5.5		0.65	0.8/0.75	3.57	2.67						
4	Насос – 126	2	13	26		0.65	0.8/0.75	16.9	12.6						
5	Насос – 139	2	11	22		0.65	0.8/0.75	14.3	10.7						
6	Насос – 141	2	11	22		0.65	0.8/0.75	14.3	10.7						
7	Насос – 134	3	7,5	22.5		0.65	0.8/0.75	14.62	10.9						
8	Эл.задвижка н-600	3	1,5	4.5		0.65	0.8/0.75	2.92	2.19						
9	Насос – 600	3	75	225		0.65	0.8/0.75	146.2	109.6						
10	Насос – 11	1	10	1		0.65	0.8/0.75	0.65	0.4						
11	Насос – 22	1	4	4		0.65	0.8/0.75	2.6	1.95						
12	Насос – 2	1	3,6	3,6		0.65	0.8/0.75	2.34	1.75						
13	Насос – 15	1	4	4		0.65	0.8/0.75	2.6	1.95						
14	Насос – 18	1	1,7	1,7		0.65	0.8/0.75	1.1	0.82						
15	Насос – 275	1	1,7	1,7		0.65	0.8/0.75	1.1	0.82						
16	Мешалка	1	4,5	4,5		0.65	0.8/0.75	2.92	2.19						
	Итого по распредел. пункту 9	25	75/1.5	453	>3	0.65	0,8/0.75	311.9	222.5	12	1.23	383.6	273.7	471.2	716
	Итого по цеху без освещения	199	200/0,8	3192,9	>3	0.58	0.74/0.91	1864.3	1710.5	32	1.13	2106.7	1932.8	2733.4	4154.2
	Освещение по цеху											40,8	24,8	47,7	72,4
	Итого по цеху с освещением											2147,5	1957,6	2905,9	4415,8

3 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов ГПП

Номинальную мощность силовых трансформаторов определяем, учитывая возможную 40% перегрузку в послеаварийном режиме и коэффициента участия в нагрузке потребителей, относящихся к первой категории по надежности электроснабжения [11-13]:

$$S_{номт} \approx K_{1-2} \cdot S_{РП} \frac{1}{K_{пер} (n-1)}, \quad (3.1)$$

$$S_{номт} \approx 0,8 \cdot 58780 \cdot \frac{1}{1,4(3-1)} = 16794 \text{ кВА}$$

Согласно полученному значению полной мощности предприятия принимаем для последующего рассмотрения силовые трансформаторы с $S_{номт}$ равной 25 и 40 МВА.

Выбираем по каталогу производителя силовые трансформаторы марок: ТРДН-25000/110/6/6 и ТРДН-40000/110/6/6.

3.1 Техничко-экономическое обоснование оптимальной номинальной мощности силового трансформатора ГПП

3.1.1 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТРДН-25000/110/6/6.

Технические характеристики силового трансформатора ТРДН-25000/110/6/6 приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Технические характеристики силового трансформатора ТРДН-25000/110/6/6

Марка СТ	$S_{ном}$, МВА	Данные из каталога производителя						Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб
		$U_{ном}$, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	
		ВН	НН					
ТРДН-25000/110/6/6	25	115	6.3	9.5	115	25	0.5	28000

Определим приведенные потери активной и реактивной мощности в стали силового трансформатора на холостом ходу:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x, \quad (3.2)$$

$$\Delta P_x' = 25 + 0,05 \cdot 125 = 31,25 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} + S_{ном.т} / 100, \quad (3.3)$$

$$\Delta Q_x = 0,5 \cdot 25000 / 100 = 125 \text{ квар},$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

- для обмотки высшего напряжения:

$$\Delta Q_{к.в} = U_{к.в\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (3.4)$$

$$\Delta Q_{к.в} = 9,5 \cdot 25000 / 100 = 2375 \text{ квар},$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (3.5)$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot 9,5 = 1,2 \%,$$

$$\Delta P'_{к.в} = \Delta P_{к.в} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.в}, \quad (3.6)$$

$$\Delta P'_{к.в} = 0 + 0,05 \cdot 2375 = 118,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.б} = 0.$$

- для обмоток низшего напряжения:

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = U_{к.н1,2\%} \cdot S_{ном\ m} / 100, \quad (3.7)$$

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = 16,625 \cdot 25000 / 100 = 4156,3 \text{ квар},$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (3.8)$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot 9,5 = 16,625 \%,$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = \Delta P_{к.н1,2} + K_{ит} \cdot \Delta Q_{к.н1,2}, \quad (3.9)$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = 230 + 0,05 \cdot 4156,3 = 437,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot \Delta P_{к.ВН-НН}, \quad (3.10)$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot 115 = 230 \text{ кВт}.$$

Коэффициенты загрузки обмоток трансформатора:

$$K_{3.б} = \frac{S_B}{S_{ном,Т}}, \quad (3.11)$$

$$K_{3.б} = \frac{61780}{25000} = 2,47.$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{S_{Н1,2}}{S_{ном,Т}}, \quad (3.12)$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{30890}{25000} = 1,24.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_{3.б}^2 \cdot \Delta P_{к.б}^{\dot{}} + K_{3.н1}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}^{\dot{}} + K_{3.н2}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}^{\dot{}}, \quad (3.13)$$

$$P_m^{\dot{}} = 31,25 + 2,47^2 \cdot 118,8 + 1,24^2 \cdot 437,8 + 1,24^2 \cdot 437,8 = 2093,3 \text{ кВт}.$$

На основании суммарного годового графика нагрузки ГПП определяются потери электроэнергии в трансформаторах ПС ΔW и их стоимость $I_{\Delta W}$:

$$\Delta W_{nc} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{ki} = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \left(\frac{1}{n_i} \cdot K_{3.6i}^2 \cdot \Delta P'_{к.6} \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н1i}^2 \cdot \Delta P'_{к.н1} \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н2i}^2 \cdot \Delta P'_{к.н2} \cdot T_i \right) \quad (3.14)$$

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТРДН-25000/110/6/6 заносим в таблицу 3.2.

На основании суммарных значений потерь холостого хода и короткого замыкания находим стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе ГПП за год:

$$I_{\Delta WПС} = \Delta W_{nc} \cdot C_9, \quad (3.15)$$

$$I_{\Delta WПС} = (821250 + 3009171) \cdot 1,726 = 6611 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_9 = 1,726$ руб/кВт·ч - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_9 + I_{\Delta WПС} \quad (3.16)$$

$$Z_{прив} = 0,15 \cdot 84000 + 7896 + 6611 = 27107 \text{ тыс.руб.}$$

где $E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K = 3 \cdot 28000 = 84000$ тыс.руб. – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_9 = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 84000 = 7896$ тыс.руб. – ежегодные отчисления.

Таблица 3.2 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТРДН-25000/110/6/6

i	$S_{Bi},$ MBA	$S_{H1i},$ MBA	$S_{H2i},$ MBA	n_i	$T_i, \text{ ч}$	$\Delta W_{xi},$ кВт·ч	$K_{зBi}$	$K_{зH1i}$	$K_{зH2i}$	$\Delta W_{кBi},$ кВт·ч	$\Delta W_{кH1i},$ кВт·ч	$\Delta W_{кH2i},$ кВт·ч
1	61.780	30.890	30.890	3	2000	187500	2.471	1.236	1.236	483457	445608	445608
2	52.712	26.356	26.356	3	1000	93750	2.108	1.054	1.054	175972	162195	162195
3	42.845	21.423	21.423	3	1700	159375	1.714	0.857	0.857	197645	182171	182171
4	32.505	16.253	16.253	3	2300	215625	1.300	0.650	0.650	153912	141862	141862
5	20.601	10.300	10.300	3	1760	165000	0.824	0.412	0.412	47306	43603	43603
$\Sigma \Delta W_{xi} = 821250$										$\Sigma \Delta W_{кBi} = 3009171$		

3.1.2 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТРДН-40000/110/6/6.

Технические характеристики силового трансформатора ТРДН-40000/110/6/6 приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Технические характеристики силового трансформатора ТРДН-40000/110/6/6

Марка СТ	$S_{ном}$, МВА	Данные из каталога производителя						Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб
		$U_{ном}$, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	
		ВН	НН					
ТРДН-40000/110/6/6	40	115	6.3	10.5	160	35	0.5	44800

Определим приведенные потери активной и реактивной мощности в стали силового трансформатора на холостом ходу:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x, \quad (3.17)$$

$$\Delta P_x' = 35 + 0,05 \cdot 200 = 45 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} + S_{ном.т} / 100, \quad (3.18)$$

$$\Delta Q_x = 0,5 \cdot 40000 / 100 = 200 \text{ квар},$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

- для обмотки высшего напряжения:

$$\Delta Q_{к.в} = U_{к.в\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (3.19)$$

$$\Delta Q_{к} = 10,5 \cdot 40000 / 100 = 4200 \text{ квар},$$

$$U_{к.6\%} = 0,125 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (3.20)$$

$$U_{к.6\%} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3 \%,$$

$$\Delta P'_{к.6} = \Delta P_{к.6} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.6}, \quad (3.21)$$

$$\Delta P'_{к.6} = 0 + 0,05 \cdot 4200 = 210 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.6} = 0.$$

- для обмоток низшего напряжения:

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = U_{к.н1,2\%} \cdot S_{ном\ m} / 100, \quad (3.22)$$

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = 18,375 \cdot 40000 / 100 = 7350 \text{ квар},$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (3.23)$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot 10,5 = 18,375 \%,$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = \Delta P_{к.н1,2} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.н1,2}, \quad (3.24)$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = 320 + 0,05 \cdot 7350 = 697,5 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot \Delta P_{к.ВН-НН}, \quad (3.25)$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot 160 = 320 \text{ кВт}.$$

Коэффициенты загрузки обмоток трансформатора:

$$K_{3.6} = \frac{S_B}{S_{ном,Т}}, \quad (3.26)$$

$$K_{3.6} = \frac{61780}{40000} = 1,54.$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{S_{H1,2}}{S_{ном,Т}}, \quad (3.27)$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{30890}{40000} = 0,77.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m = \Delta P_x + K_{3.6}^2 \cdot \Delta P_{к.6} + K_{3.н1}^2 \cdot \Delta P_{к.н1} + K_{3.н2}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}, \quad (3.28)$$

$$P_m = 45 + 1.54^2 \cdot 210 + 0.77^2 \cdot 687.5 + 0.77^2 \cdot 687.5 = 1366 \text{ кВт}.$$

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТРДН-40000/110/6/6 заносим в таблицу 3.4.

На основании суммарных значений потерь холостого хода и короткого замыкания находим стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе ГПП за год:

$$I_{\Delta W_{ПС}} = \Delta W_{пс} \cdot C_{\text{э}}, \quad (3.29)$$

$$I_{\Delta W_{ПС}} = (788400 + 2891593) \cdot 1,726 = 6352 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_{\text{э}} = 1,726 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$ - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_{\text{э}} + I_{\Delta W_{ПС}} \quad (3.30)$$

$$Z_{\text{прив}} = 0,15 \cdot 134400 + 12634 + 6352 = 39145 \text{ тыс.руб.}$$

где $E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K = 3 \cdot 44800 = 134400 \text{ тыс.руб.}$ – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_{\text{э}} = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 134400 = 12634 \text{ тыс.руб.}$ – ежегодные отчисления.

Так как затраты на силовые трансформаторы ТРДН-40000/110/6/6 значительно превышают затраты на силовые трансформаторы ТРДН-25000/110/6/6, то выбираем для дальнейшего рассмотрения и установки на подстанции трансформаторы ТРДН-25000/110/6/6.

Таблица 3.4 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТРДН-40000/110/6/6

i	$S_{Bi},$ MBA	$S_{H1i},$ MBA	$S_{H2i},$ MBA	n_i	$T_i, \text{ч}$	$\Delta W_{xi},$ кВт·ч	$K_{зBi}$	$K_{зH1i}$	$K_{зH2i}$	$\Delta W_{кBi},$ кВт·ч	$\Delta W_{кH1i},$ кВт·ч	$\Delta W_{кH2i},$ кВт·ч
1	61.780	30.890	30.890	2	2000	180000	1.545	0.772	0.772	500951	410004	410004
2	52.712	26.356	26.356	2	1000	90000	1.318	0.659	0.659	182340	149236	149236
3	42.845	21.423	21.423	2	1700	153000	1.071	0.536	0.536	204796	167616	167616
4	32.505	16.253	16.253	2	2300	207000	0.813	0.406	0.406	159481	130528	130528
5	20.601	10.300	10.300	2	1760	158400	0.515	0.258	0.258	49018	40119	40119
$\Sigma \Delta W_{xi} = 788400$										$\Sigma \Delta W_{кBi} = 2891593$		

4 Расчет токов короткого замыкания

Определение токов короткого замыкания в различных точках системы электроснабжения предприятия выполняется по упрощенному способу с учетом следующих допущений [14-16]:

- 1) трехфазную систему принимают симметричной;
- 2) процесс насыщения магнитной системы элементов в расчетах не учитывается, таким образом, все цепи при расчетах считаются линейными;
- 3) намагничивающий ток трансформаторов в расчетах не учитывают как и емкостные проводимости всех элементов, входящих в цепь короткого замыкания;
- 4) во время всего процесса протекания тока короткого замыкания ЭДС генераторов в системе принимают совпадающими по фазе;
- 5) ЭДС источников питания, расположенных на значительном расстоянии от точки КЗ, принимают неизменяющимся во времени.

Составляем расчетную схему (рисунок 4.1) для определения токов КЗ и схему замещения (рисунок 4.2).

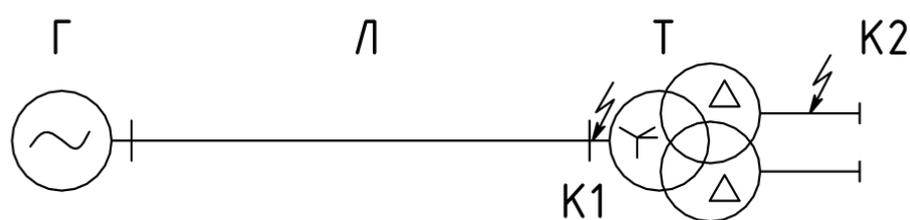


Рисунок 4.1 - Расчётная схема для определения токов КЗ

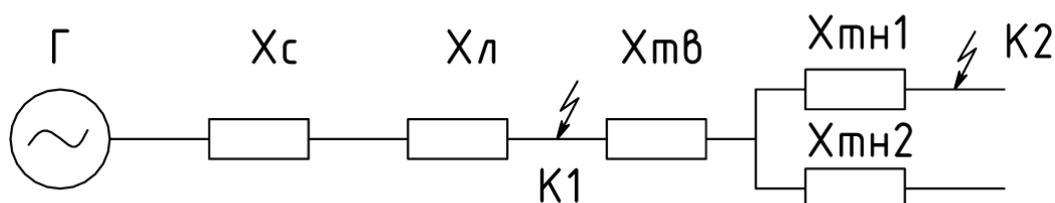


Рисунок 4.2 - Схема замещения для определения токов КЗ

Исходные данные для расчета токов КЗ:

Параметры системы: $U_{cp} = 115$ кВ; $S_{\sigma} = 1000$ МВА; $S_{\kappa} = 2100$ МВА.

Параметры линии: $x_{y\delta} = 0,124$ Ом/км; $L = 5.5$ км.

Параметры силового трансформатора: $S_H = 25$ МВА; $U_{\kappa} = 9.5$ %.

Найдем сопротивление системы:

$$x_{c.\delta} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}}; \quad (4.1)$$

$$x_{c.\delta} = \frac{1000}{2100} = 0.476.$$

Найдем сопротивление воздушной линии:

$$x_{BL.\delta} = \frac{x_{y\delta}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{сн}^2}; \quad (4.2)$$

$$x_{BL.\delta} = 0.124 \cdot 5.5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.052.$$

Найдем сопротивление силового трансформатора:

$$x_{T.B.\delta} = \frac{U_{\kappa.в}, \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_H}; \quad (4.3)$$

$$x_{T.B.\delta} = \frac{1.1875}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 0.475.$$

$$x_{T.H.\delta} = \frac{U_{\kappa.н}, \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_H}; \quad (4.4)$$

$$x_{T.H.\delta} = \frac{16.625}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 6.650.$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К1:

$$x_{pez1} = x_{c.\delta} + x_{BII.\delta}; \quad (4.5)$$

$$x_{pez1} = 0.476 + 0.052 = 0.528.$$

Найдем базисный ток в точке К1:

$$I_{\delta.k1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{CH}}; \quad (4.6)$$

$$I_{\delta.k1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.02 \text{ кА.}$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока КЗ в точке К1:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{E_{\delta}}{x_{pez1}} \cdot I_{\delta}; \quad (4.7)$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1}{0.528} \cdot 5.02 = 9.513 \text{ кА.}$$

Найдем ударный ток КЗ в точке К1:

$$i_{yd.k1} = \sqrt{2} \cdot I_{n.o}^{(3)} \cdot K_{yd}; \quad (4.8)$$

$$i_{yd.k1} = \sqrt{2} \cdot 9.513 \cdot 1.8 = 24.215 \text{ кА.}$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К2:

$$x_{pez2} = x_{pez1} + x_{T.B.\delta} + x_{T.H.\delta}; \quad (4.9)$$

$$x_{pez2} = 0.528 + 0.475 + 6.65 = 7.653.$$

Найдем базисный ток в точке К2:

$$I_{\sigma.к2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (4.10)$$

$$I_{\sigma.к2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 91.643 \text{ кА.}$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока К3 в точке К2:

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{E_{\sigma}}{x_{рез2}} \cdot I_{\sigma.к2}; \quad (4.11)$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{1}{7.653} \cdot 91.643 = 11.975 \text{ кА.}$$

Найдем ударный ток К3 в точке К2:

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о}^{(3)} \cdot \kappa_{уд}; \quad (4.12)$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 11.975 \cdot 1.85 = 31.331 \text{ кА.}$$

Полученные результаты сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчетов токов К3

	$U_{сн}$, кВ	$\kappa_{уд}$	$I_{к}^{(3)}$, кА	$i_{уд}$, кА
К1	115	1.8	9.5	24.2
К2	6.3	1.85	12	31.3

5 Расчет и выбор электрического оборудования

5.1 Выбор электрического оборудования на стороне высокого напряжения 110 кВ

5.1.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 110 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель ВГТ-110Ш-40/2500.

Выбор высоковольтного выключателя производим по [3, 17-20], результаты сведем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Выбор и проверка высоковольтных выключателей

Параметр	Условие	Расчётные данные	Паспортные данные
По напряжению	$U_{уст} \leq U_{ном}, кВ$	110	110
По ном. току	$I \leq I_{ном}, А$	176	2500
По отключ. способности	$I_{п.т} \leq I_{ном.откл}, кА$	9,5	40
По эл-дин. стойк-ти	$i_{уд} \leq i_{пр.с}, кА$	24,2	102
По терм. стойк-ти	$B_k \leq I_t^2 \cdot t_t, кА^2 \cdot с$	13,1	152

Выбранный высоковольтный выключатель ВГТ-110Ш-40/2500 прошел проверку.

5.1.2 Выбор разъединителя

Разъединитель выбирается и проверяется по тем же параметрам, что и высоковольтный выключатель, за исключением отключающей способности.

Предварительно выбираем разъединитель типа РГП-СЭЩ-110/1250.

Разъединитель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (5.1)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (5.2)$$
$$176 \text{ А} < 1250 \text{ А},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$i_{уд} \leq i_{нр.с}, \quad (5.3)$$
$$24.2 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{нр.с}^2 \cdot t_{нр.с}, \quad (5.4)$$
$$13.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 94.3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный разъединитель РГП-СЭЦ-110/1250 прошел проверку.

5.1.3 Выбор трансформатора тока

На стороне 110 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТВТ110-1-200/5.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (5.5)$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{H.TT}, \quad (5.6)$$

$$176 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{э\text{лдин.ст}}, \quad (5.7)$$

$$24.2 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1\text{ном.}}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (5.8)$$

$$13.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 59.4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}, \quad (5.9)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пр}} + R_k, \quad (5.10)$$

Для нахождения $R_{\text{приб}}$ необходимо определить нагрузку по фазам трансформатора тока $S_{\text{приб}}$ и принять за расчетную наиболее загруженную фазу.

Вторичной нагрузкой трансформатора тока является амперметр с максимальной мощностью 0.1 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (5.11)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{0.1}{5^2} = 0.004 \text{ Ом}.$$

Тогда допустимое сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}},$$

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.004 - 0.1 = 1.096 \text{ Ом}.$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}}, \quad (5.12)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 60}{1.096} = 0.958 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности сечение медных жил должно быть не менее 2.5 мм^2 , поэтому принимаем стандартное сечение жилы 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока ТВТ110-1-200/5 прошел проверку.

5.1.4 Выбор ограничителей перенапряжений

Выбираем к установке ОПН-П-110/156/700-УХЛ1.

5.2 Выбор электрического оборудования на стороне низкого напряжения 6 кВ

5.2.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 6 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель ВБЭ-10-31,5/2000 УХЛ2.

Выбор высоковольтного выключателя сведем в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 - Выбор и проверка выключателей

Параметр	Условие	Расчётные данные	Паспортные данные
По напряжению	$U_{уст} \leq U_{ном}, кВ$	6	10
По ном. току	$I \leq I_{ном}, А$	1604	2000
По отключ. способности	$I_{н.т} \leq I_{ном.откл}, кА$	12	20
По эл-дин. стойк-ти	$i_{уд} \leq i_{пр.с}, кА$	31,3	80
По терм. стойк-ти	$B_k \leq I_t^2 \cdot t_t, кА^2 \cdot с$	23	99,2

Выбранный высоковольтный выключатель ВБЭ-10-31,5/2000 УХЛ2 прошел проверку.

5.2.2 Выбор трансформатора тока

На стороне 6 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТЛШ-10-2000/5.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (5.13)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{H.TT}, \quad (5.14)$$
$$1604 \text{ A} \leq 2000 \text{ A};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (5.15)$$
$$31.3 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (5.16)$$
$$23 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 99.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (5.17)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пр} + R_k, \quad (5.18)$$

Для расчёта Z_2 выбираем приборы, устанавливаемые на п/ст на стороне 6 кВ (таблица 5.3).

Найдем сопротивление прибора:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (5.19)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{0.75}{5^2} = 0.03 \text{ Ом}.$$

Таблица 5.3 - Расчёт суммарной нагрузки приборов

Тип прибора	n, шт	Нагрузка в фазах, ВА		
		А	В	С
Амперметр Э-377	3	0,1	0,1	0,1
СЭТ 4ТМ.02	1	0,65	0,65	0,65
Итого по фазе с максимальной нагрузкой		0,75		

Тогда допустимое сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}},$$

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.03 - 0.1 = 1.07 \text{ Ом}.$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}}, \quad (5.20)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 40}{1.07} = 0.654 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности сечение медных жил должно быть не менее 2.5 мм^2 , поэтому принимаем стандартное сечение жилы 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока ТЛШ-10-2000/5 прошел проверку.

Аналогичным образом выбираем и проверяем трансформаторы тока на отходящих линиях.

5.2.3 Выбор трансформатора напряжения

Измерительный трансформатор напряжения выбираем по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (5.21)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по классу точности;

- по величине вторичной нагрузки:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (5.22)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cos \phi)^2 + (\sum S_{приб} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}. \quad (5.23)$$

На стороне 10 кВ выбираем трансформатор напряжения НАМИТ – 10 – 2 с классом точности 0.5. В комплекте с ТН идет предохранитель ПКТ-101-10. К ТН подключается вольтметр, ваттметр, варметр и счетчики активной и реактивной электроэнергии с суммарной потребляемой мощностью 7,65 ВА.

Тогда:

$$7.65 \text{ ВА} \leq 120 \text{ ВА}.$$

Выбранный трансформатор напряжения НАМИТ–10–2 прошел проверку.

5.2.4 Выбор предохранителей

Предохранители выбираем для защиты трансформаторов напряжения по параметрам:

Номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (5.24)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{раб} \leq I_M, \quad (5.25)$$

$$I_{раб} = \frac{\Sigma S_{приб}}{\sqrt{3}U_M}, \quad (5.26)$$

$$I_{раб} = \frac{0,0765}{1,73 \cdot 6,3} = 0,007 \text{ А} < I_M = 3,2 \text{ А}$$

Выбираем предохранители типа ПКТ – 101 – 12,5.

Выбранное оборудование на стороне 6 кВ устанавливаем в высоковольтные ячейки самарской компании ОАО «Электрощит» типа КРУ СЭЩ-70.

6 Релейная защита и автоматика ГПП

6.1 Описание РЗиА ГПП-1 110/6 кВ

В соответствии с ПУЭ [1] на ГПП устанавливаются следующие виды защит. Для защиты силовых трансформаторов предусмотрены: ДЗТ с действием на отключение вводных выключателей 6 кВ и 110 кВ, газовая защита силового трансформатора с действием на отключение вводных выключателей 6 кВ и 110 кВ, релейная защита вводов 6 кВ выполнена 2-х ступенчатой МТЗ, для защиты отходящих линий предусмотрены МТО и МТЗ с действием на отключение высоковольтного выключателя и защита от замыкания на землю с действием на сигнал.

На подстанции предусмотрена следующая автоматика: автоматическое включение резерва (АВР) на секционном выключателе 6 кВ при отключении вводов и пропадании напряжения на питающей линии, АВР трансформаторов собственных нужд и автоматическое включение обогрева шкафа учета.

Релейная защита и автоматика ГПП-1 имеет большой физический и моральный износ, что при возникновении аварийной ситуации может привести к отказу срабатывания. Это повлечёт за собой ущерб оборудованию и нарушение электроснабжения ответственных потребителей, так как от ГПП-1 получают питание потребители 1й и 2й категории по надежности электроснабжения. Предлагается заменить устаревшую релейную защиту ГПП-1 на микропроцессорные устройства защиты типа «Сириус-2».

6.2 Защита силовых трансформаторов ГПП-1

Для защиты силовых трансформаторов предлагается к установке микропроцессорное устройство защиты Сириус-Т.

6.2.1 Эксплуатационные возможности Сириус-Т:

-Двухступенчатая ДЗТ силового трансформатора (токовая отсечка и защита с торможением от сквозного тока и отстройкой от бросков тока намагничивания);

-Защита от перегрузки по каждой стороне напряжения с действием на сигнализацию;

-Функции контроля состояния силового трансформатора по ряду входных сигналов;

-Управление системой обдува;

-Возможность подключения внешних защит, например, газовой защиты трансформатора;

-Контроль на "затягивание" команды на отключение;

-Контроль наличия питания терминала и его работоспособности;

-Наличие регистратора событий;

-Оперативное включение или отключение отдельных функций с помощью тумблеров на передней панели;

-Наличие двух независимых интерфейсов связи RS232C и токовой петли RS485 для связи с ПК;

-Встроенные часы-календарь;

-Встроенные каналы связи для передачи информации на ПК.

6.3 Защита трансформаторов напряжения ГПП-1

Для защиты трансформаторов напряжения предлагается к установке микропроцессорное устройство защиты Сириус-ТН.

6.3.1 Эксплуатационные возможности устройства Сириус-ТН:

-Контроль ТН по U₂, автомату ТН, U-линейному;

-Контроль напряжения 3U₀;

-Реле наличия напряжения;

- Реле отсутствия напряжения;
- Реле ВМ-блокировки для МТЗ;
- Три ступени защиты минимального напряжения ЗМН;
- Ступень от повышения напряжения;
- Совмещенная автоматическая частотная разгрузка АЧР-1 и АЧР-2;
- Частотное автоматическое повторное включение ЧАПВ;
- Ступень защиты от повышения частоты;
- Логика формирования сигнала пуска АВР;
- Внешние входы сигнализации, организация шинок ВШ.

6.4 Защита отходящих линий ГПП-1

Для защиты отходящих линий предлагается к установке микропроцессорное устройство защиты Сириус-2Л.

6.4.1 Эксплуатационные возможности Сириус-2-Л:

- функции защиты и автоматики, указанные в ПУЭ и ПТЭ;
- программирование устройства и изменение внутренних настроек;
- ввод и хранение в памяти уставок защиты;
- контроль и отображение положения высоковольтного выключателя, контроль за исправностью его цепей управления;
- определение места повреждения на воздушной линии;
- передача параметров аварийной ситуации;
- самодиагностика устройства;
- блокировка всех выводов при обнаружении внутренней неисправности;
- гальваническая развязка входов-выходов для высокой помехозащищенности;
- устойчивость устройства к перенапряжениям.

6.5 Защита вводов 6 кВ ГПП-1

Для защиты вводов 6 кВ предлагается к установке микропроцессорное устройство защиты Сириус-2В.

6.6 Блок центральной сигнализации ГПП-1

6.6.1 Назначение Сириус-ЦС

Устройство центральной сигнализации Сириус-ЦС предназначено для построения систем центральной сигнализации на небольших подстанциях, либо для использования в качестве участкового блока в составе системы центральной сигнализации крупных подстанций. Устройство Сириус-ЦС позволяет обрабатывать сигналы, поступающие от микропроцессорных или электромеханических устройств защиты по шинкам сигнализации, фиксировать время появления и снятия сигналов сигнализации от конкретных устройств защиты, подключаемых к оптронным входам (до 32), а также формировать обобщенные сигналы сигнализации. Сириус-ЦС накапливает, обрабатывает, оперативно отображает информацию о состоянии объекта, а также передает ее на вышестоящий уровень по запросу.

6.7 Расчет уставок отходящего фидера с ГПП-1

6.7.1 Расчет сопротивления схемы замещения

1) Сопротивления системы на шинах ГПП-1

$$Z_{min} = 0,273 \text{ Ом} \quad I_{кз_{max}} = 14070 \text{ А}$$

$$Z_{max} = 0,364 \text{ Ом} \quad I_{кз_{min}} = 10554 \text{ А}$$

2) Сопротивление $Z_{л1}$ и $Z_{л2}$

$$Z_{.n1} = \sqrt{(r_{.n1})^2 + (x_{.n1})^2} \quad (6.1)$$

$$Z_{.n1} = \sqrt{(0,183)^2 + (0,08)^2} = 0,2 \text{ Ом}$$

$$r_{.n1} = r_o \cdot l_1 \quad (6.2)$$

$$r_{.n1} = 0,167 \cdot 1,1 = 0,183$$

$$l_1 = 1,1 \text{ км}$$

$$r_o = 0,167$$

$$S = 185 \text{ мм}^2$$

$$x_{.n1} = x_o \cdot l_1 \quad (6.3)$$

$$x_{.n1} = 0,073 \cdot 1,1 = 0,08$$

$$x_o = 0,073$$

$$S = 185 \text{ мм}^2$$

$$l_1 = 1,1 \text{ км}$$

$$Z_{.n2} = \sqrt{(r_{.n2})^2 + (x_{.n2})^2} \quad (6.4)$$

$$Z_{.n2} = \sqrt{(0,127)^2 + (0,07)^2} = 0,144 \text{ Ом}$$

$$r_{.n2} = r_o \cdot l_2 \quad (6.5)$$

$$r_{.n2} = 0,129 \cdot 0,985 = 0,127$$

$$r_o = 0,129$$

$$S_{\text{каб}} = 240 \text{ мм}^2$$

$$l_2 = 0,985 \text{ км}$$

$$x_{.n2} = x_o \cdot l_2 \quad (6.6)$$

$$x_{.n2} = 0,071 \cdot 0,985 = 0,07$$

$$x_o = 0,071$$

$$S_{\text{каб}} = 240 \text{ мм}^2$$

$$l_2 = 0,985 \text{ км}$$

3) Расчет $Z_{.n3}$ и $Z_{.n4}$

$$Z_{.13} = \sqrt{(r_{.13})^2 + (x_{.13})^2} \quad (6.7)$$

$$Z_{.13} = \sqrt{(0,049)^2 + (0,0148)^2} = 0,051 \text{ Ом}$$

$$r_{.13} = r_o \cdot l_3 \quad (6.8)$$

$$r_{.13} = 0,258 \cdot 0,19 = 0,049$$

$$r_o = 0,258$$

$$S_{\text{каб}} = 120 \text{ мм}^2$$

$$l_3 = 0,19 \text{ км}$$

$$x_{.13} = x_o \cdot l_3 \quad (6.9)$$

$$x_{.13} = 0,078 \cdot 0,19 = 0,0148$$

$$x_o = 0,078$$

$$S_{\text{каб}} = 120 \text{ мм}^2$$

$$l_3 = 0,19 \text{ км}$$

$$Z_{.14} = \sqrt{(r_{.14})^2 + (x_{.14})^2} \quad (6.10)$$

$$Z_{.14} = \sqrt{(0,047)^2 + (0,017)^2} = 0,05 \text{ Ом}$$

$$r_{.14} = r_o \cdot l_4 \quad (6.11)$$

$$r_{.14} = r_o \cdot l_4 = 0,206 \cdot 0,23 = 0,047$$

$$r_o = 0,206$$

$$S_{\text{каб}} = 150 \text{ мм}^2$$

$$l_4 = 0,23 \text{ км}$$

$$x_{.14} = x_o \cdot l_4 \quad (6.12)$$

$$x_{.14} = 0,076 \cdot 0,23 = 0,017$$

$$x_o = 0,076$$

$$S_{\text{каб}} = 150 \text{ мм}^2$$

$$l_4 = 0,23 \text{ км}$$

4) Расчет $Z_{.15}$

$$Z_{.15} = \sqrt{(r_{.15})^2 + (x_{.15})^2} \quad (6.13)$$

$$Z_{.15} = \sqrt{(0,0556)^2 + (0,0205)^2} = 0,059 \text{ Ом}$$

$$r_{.15} = r_o \cdot l_5 \quad (6.14)$$

$$r_{.15} = 0,206 \cdot 0,27 = 0,0556$$

$$r_o = 0,206$$

$$S_{\text{каб}} = 150 \text{ мм}^2$$

$$l_5 = 0,27 \text{ км}$$

$$x_{.15} = x_o \cdot l_5 \quad (6.15)$$

$$x_{.15} = 0,076 \cdot 0,27 = 0,0205$$

$$x_o = 0,076$$

$$S_{\text{каб}} = 150 \text{ мм}^2$$

$$l_5 = 0,27 \text{ км}$$

5) Расчет сопротивления силового трансформатора $S_{\text{ном}} = 400 \text{ кВА}$

$$Z_{mp} = \frac{U_{\text{кmax}} \% \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{\text{ном тр}}} \quad (6.16)$$

$$Z_{mp} = 4,05 \text{ Ом}$$

6.7.2 Расчет токов короткого замыкания

1) $I_{K3(1)}$ на шинах ТП №1

$$\sum Z = Z_P + Z_{.11} + Z_{.12} \quad (6.17)$$

$$\sum Z = 0,364 + 0,2 + 0,144 = 0,708 \text{ Ом}$$

$$I_{K3(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \sum Z} \quad (6.18)$$

$$I_{K3(1)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 0,708} = \frac{6300}{1,224} = 5147 \text{ А}$$

$$I_{K3(1)} = 5147 \text{ А}$$

$I_{K3(2)}$ за трансформатором ТП1

$$\sum Z = Z_P + Z_{л1} + Z_{л2} + Z_{mp-p} \quad (6.19)$$

$$\sum Z = 0,364 + 0,2 + 0,144 + 4,05 = 4,758 \text{ Ом}$$

$$I_{K3(2)} = \frac{U}{\sqrt{3} \sum Z} \quad (6.20)$$

$$I_{K3(2)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 4,758} = \frac{6300}{8,23} = 765 \text{ А}$$

$$I_{K3(2)} = 765 \text{ А}$$

$I_{K3(3)}$ на шинах ТП2 в точке подключения доп. нагрузки

$$\sum Z = Z_P + Z_{л1} + Z_{л2} + Z_{л3} + Z_{л4} \quad (6.21)$$

$$\sum Z = 0,364 + 0,2 + 0,144 + 0,051 + 0,05 = 0,805 \text{ Ом}$$

$$I_{K3(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \sum Z} \quad (6.22)$$

$$I_{K3(3)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 0,805} = \frac{6300}{1,4} = 4500 \text{ А}$$

$$I_{K3(3)} = 4500 \text{ А}$$

$I_{K3(4)}$ за трансформатором ТП2 ($S = 630 \text{ кВА}$)

$$\sum Z = Z_P + Z_{обл} + Z_{mp-p} \quad (6.23)$$

$$\sum Z = 0,805 + 3,14 = 3,945 \text{ Ом}$$

$$I_{K3(4)} = \frac{U}{\sqrt{3} \sum Z} \quad (6.24)$$

$$I_{K3(4)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 3,945} = \frac{6300}{6,824} = 923 \text{ А}$$

$$I_{K3(4)} = 923 \text{ A}$$

$I_{K3(5)}$ в конечной точке ТПЗ на шинах 6кВ

$$\sum Z = Z_P + Z_{л1} + Z_{л2} + Z_{л3} + Z_{л4} + Z_{л5} \quad (6.25)$$

$$\sum Z = 0,364 + 0,2 + 0,144 + 0,051 + 0,05 + 0,059 = 0,864 \text{ Ом}$$

$$I_{K3(5)} = \frac{U}{\sqrt{3} \sum Z} \quad (6.26)$$

$$I_{K3(5)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 0,864} = \frac{6300}{1,49} = 4228 \text{ A} \approx 4200 \text{ A}$$

$$I_{K3(5)} = 4200 \text{ A}$$

$I_{K3(6)}$ за трансформатором ТП №3 ($S_{ном} = 400 \text{ кВА}$)

$$\sum Z = Z_P + Z_{обл} + Z_{mp-p} \quad (6.27)$$

$$\sum Z = 0,864 + 4,05 = 4,914 \text{ Ом}$$

$$I_{K3(6)} = \frac{U}{\sqrt{3} \sum Z} \quad (6.28)$$

$$I_{K3(6)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 4,914} = \frac{6300}{19,9} = 316 \text{ A}$$

$$I_{K3(6)} = 316 \text{ A}$$

6.7.3 Расчет МТО

$$\sum S_{ном} = (2 \times 400) + (400 + 630) + (2 \times 400) = 2630 \text{ кВА}$$

$$I_{ном} = \frac{\sum S}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (6.29)$$

$$I_{ном} = \frac{2630}{10,2} = 257 \text{ A}$$

Расчет МТО от броска токов намагничивания

$$I_{co} = (3:4) \cdot I_{ном} = (3:4) \cdot 257 \geq 770A \div 1000A$$

Расчет I_{co} от $I_{кз}$ в конце линии

$$I_{co} = 1,5 \times I_{кз} \quad (6.30)$$

$$I_{co} = 1,5 \cdot 923A = 1384A \approx 1400A$$

6.7.4 Расчет МТЗ

1) Расчет МТЗ с учетом дополнительной нагрузки

$$I_{раб} = 215A$$

$$I_{раб1.} = 215 + 15 = 230A$$

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 1,3}{0,8} \cdot I_{раб1.} \quad (6.31)$$

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 1,3}{0,8} \cdot 230 = 450A$$

2) Расчет МТЗ и допустимости тока кабеля

$$I_{доп} = 440A$$

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 1,3}{0,8} \cdot 440A = 858A$$

Из расчетов следует:

Пределы МТО $I_{co} \geq 1000A \div 1400A$ $t = 0,0c$.

Пределы МТЗ $I_{сз} \geq 450A \div 860A$ $t = 0,6c$.

На сегодня на фидере ГПП-1 установлены следующие уставки

$$I_{co} = 2000A \quad t=0,0c.$$

$$I_{сз} = 600A \quad t=0,6c.$$

7 Расчёт защитного заземления ГПП

Рабочее заземление должно обеспечивать при эксплуатации следующие функции электроустановок:

- правильную работу релейной защиты от замыканий на землю; правильную работу защит от перенапряжений; передачу в грунт молниевых разрядов; передачу несимметричных рабочих токов; защиту изоляции цепей и оборудования низкого напряжения; снижение влияний электромагнитного поля на вторичные цепи; обеспечивать защиту расположенного под землей оборудования и различных коммуникаций от перегрузок по току;
- выравнивание разности потенциалов и обеспечивать защиту от статического электричества;
- взрыво- и пожаробезопасность.

Заземляющие устройства должны отвечать жестким требованиям обеспечения электробезопасности всех людей обслуживающих электроустановки и обеспечивать надежную работу электрооборудования установки во всех режимах работы в течение всего срока службы.

Найдем сопротивление одного вертикального стержня:

$$R_c = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч}}}{l} \cdot \left[\lg\left(\frac{2 \cdot l}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot t' + 1}{4 \cdot t' - 1}\right) \right] \quad (7.1)$$

$$R_c = \frac{0,366 \cdot 125}{5} \cdot \left[\lg\left(\frac{10}{0,95 \cdot 0,05}\right) + \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{17,8}{7,8}\right) \right] = 22,89 \text{ Ом.}$$

Найдем требуемое количество вертикальных стержней:

$$N_c = \frac{R_c}{R_3 \cdot n_c}, \quad (7.2)$$

$$N_c = \frac{22,89}{0,5 \cdot 0,78} = 58,6 \approx 59 \text{ шт.}$$

Найдем сопротивление соединительной полосы:

$$R_{II} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.г}}}{L} \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t}\right), \quad (7.3)$$

$$R_{II} = \frac{0,366 \cdot 1450}{200} \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 200^2}{0,04 \cdot 0,5}\right) = 5,44 \text{ Ом}$$

Найдем сопротивление заземляющей полосы в контуре:

$$R_{III} = \frac{R_{II}}{n_{II}}, \quad (7.4)$$

$$R_{III} = \frac{5,44}{0,27} = 20,15 \text{ Ом.}$$

Необходимое сопротивление вертикальных заземлений:

$$R = \frac{R_{III} \cdot R_3}{R_{III} + R_3}, \quad (7.5)$$

$$R = \frac{20,15 \cdot 0,5}{20,15 + 0,5} = 0,49 \text{ Ом.}$$

Определяем уточнённое количество стержней :

$$N_c' = \frac{R_c}{R \cdot n_c}, \quad (7.6)$$

$$N_c' = \frac{22,89}{0,49 \cdot 0,78} \approx 60 \text{ шт.}$$

Окончательно принимаем к установке 60 вертикальных стержней.

8 Молниезащита ГПП

Здания и электрооборудование на главной понизительной подстанции должны быть защищены от попадания молниевых разрядов.

Для защиты применяют стержневые и тросовые молниеотводы. Стержневые молниеотводы используют для защиты от попаданий молнии в здания и сооружения, а тросовые молниеотводы для защиты ЛЭП от попаданий молнии.

Первоначально принимаем высоту стержневого молниеотвода равной 30 м.

Найдем активную высоту молниеотвода:

$$h_a = h - h_x \quad (8.1)$$
$$h_a = 30 - 12 = 18 \text{ м},$$

при высоте защищаемого объекта равной 12 м.

Найдем зону защиты:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h_0 \cdot p}{1 + \frac{h_x}{h}}, \quad (8.2)$$
$$r_x = \frac{1,6 \cdot 18 \cdot 1}{1 + \frac{12}{30}} = 20,57 \text{ м}.$$

На подстанции устанавливаем 4 стержневых молниеотвода, расположенных по углам ГПП.

9 Собственные нужды подстанции

К категории собственных нужд ГПП относится потребление электрической энергии ЭП, обеспечивающими необходимые условия функционирования оборудования главной понизительной подстанции.

К собственным нуждам подстанции относится потребление электрической энергии на следующие цели:

- охлаждение силовых трансформаторов;
- обогрев, освещение и вентиляция помещений (ОПУ, ЗРУ, аккумуляторной, насосной пожаротушения);
- освещение территории подстанции;
- зарядно-подзарядные устройства аккумуляторных батарей;
- обогрев ячеек КРУН (с аппаратурой РЗ и автоматики, счетчиками или выключателями) и релейных шкафов наружной установки;
- обогрев приводов и маслобаков переключающих устройств РПН;
- обогрев электродвигательных приводов разъединителей;
- обогрев электросчетчиков в неотапливаемых помещениях;
- обогрев агрегатных шкафов и шкафов управления воздушных выключателей;
- электродвигатели компрессоров;
- обогрев воздухосборников;
- электропитание аппаратов связи и телемеханики;
- ремонтные работы, проводимые во время эксплуатации;
- прочие: дренажные насосы, устройства РПН, дистилляторы, мелкие станки и приспособления и т.п.

В таблице 9.1 представлены итоговые мощности собственных нужд ГПП.

Таблица 9.1 - Нагрузка собственных нужд

№	Потребители	Нагрузка	
		$P, \text{кВт}$	$P_{\Sigma}, \text{кВт}$
1	Устройство охлаждения силовых трансформаторов	10,5 x 3	31,5
2	КРУ 6кВ		9
3	Подогрев приводов разъединителей	0,6 x 8	4,8
4	Отопление, освещение		30
5	Освещение открытого распред. устройства 110 кВ		10
6	Маслохозяйство		150
	Итого:		235,3
	Итого при $K_3 = 0,7$:		336,1

По результатам расчетов суммарной нагрузки СН в таблице 9.1 для ГПП выбираем три трансформатора СН мощностью 160 кВА каждый.

10 Выбор оперативного тока

Управление выключателями, питание устройств сигнализации, автоматики и связи выполняется оперативным током.

Принимаем питание собственных нужд подстанции от системы постоянного оперативного тока, как обладающей высокой надежностью и наиболее подходящей для питания микропроцессорной релейной защиты, для которой предъявляются требования по постоянному, без пульсаций оперативному питанию.

Основными достоинствами системы постоянного оперативного тока являются:

- независимость от состояния основной системы электроснабжения;
- возможность работы при одном замыкании на землю одного из полюсов при сохранении междуполюсного напряжения.

Основными недостатками системы постоянного оперативного тока являются:

- сложность обеспечения защиты от повреждений в цепях ПОТ;
- необходимость в специальном помещении;
- повышенные требования к квалификации обслуживающего персонала;
- высокая стоимость.

Источниками постоянного оперативного тока (ПОТ) являются аккумуляторные батареи которые находятся в состоянии постоянного подзаряда. Рабочее напряжение батарей составляет 110–220 В. Роль подзарядного устройства выполняет мощный тиристорный преобразователь, который снабжается элементным коммутатором, с помощью которого изменяется число участвующих в химической реакции пластин. С целью повышения надежности сеть оперативного тока секционируют на отдельные участки, каждый из которых имеет самостоятельное питание от сборных шин батареи.

Заключение

Выпускная квалификационная работа является полностью законченным документом, отображающим реконструкцию подстанции ГПП-1 завода ЗАО «ТольяттиСинтез».

При работе над ВКР были разработаны рекомендации по реконструкции подстанции ГПП-1. Реализация рекомендаций позволит повысить надежность и безопасность подстанции.

На основании исходных данных были рассчитаны значения дополнительных нагрузок от подстанции, произведено технико-экономическое сравнение и выбор мощности силовых трансформаторов на подстанции, определены значения токов короткого замыкания на сторонах 110 и 6 кВ, произведен выбор оборудования подстанции.

Выполнен расчет собственных нужд и выбор системы оперативного тока подстанции.

Также в объем данной ВКР входит расчет заземления и молниезащиты.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6-го и 7-го издания. - Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2016.
2. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения. Электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко - Тольятти: ТГУ, 2015.
3. Электроснабжение: методические указания к курсовой работе для студентов очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2013.
4. Шукуров, И.С. Инженерные сети: учебник / И.С. Шукуров, И.Г. Дьяков, К.И. Микири. - Москва : МГСУ : ЭБС АСВ, 2016.
5. Short, T. Electric power distribution handbook / T. Short. – Florida: CRC Press LLC, 2014.
6. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358–90 от 1 августа 1993 г.
7. Рожин, А.Н. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов: Внутрицеховое электроснабжение/ А.Н. Рожин, Н.С. Башкаева - Киров, 2013.
8. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учеб. пособие / В.Б. Шлейников, Т.В. Сазонова. - Оренбург : ОГУ, 2014.
9. Юндин, М.А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению: учеб. пособие / М.А. Юндин, А.М. Королев. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2014.
10. Hase, Y. Handbook of Power System Engineering / Y. Hase. – England: John Wiley & Sons, 2013.
11. Ковалев, И.Н. Электроэнергетические системы и сети: учебник / И. Н. Ковалев. - Москва : Учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015.

12. Стрельников, Н.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013.
13. Электроэнергетика. Учебное пособие / под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Форум, 2013.
14. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет; сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
15. Beaty, H.W. Handbook of electric power calculations / H.W. Beaty. – USA: McGraw-Hill Companies, 2015.
16. Chang, G. W. Detection of major voltage fluctuation source associated with electric arc furnace loads connecting to a distribution substation / G. W. Chang. - 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, 2011, pp. 1-3.
17. Электроснабжение: выбор и проверка токоведущих частей и коммутационных аппаратов: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет ; сост. Т.В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
18. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учеб. пособие / В.Я. Ушаков ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2014.
19. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное пособие / Г.Н. Ополева – Москва: Инфра-М, 2017.
20. Word, S. A. Three-dimensional electric field calculation and measurements inside high voltage substations / S. A. Word, S. M. Ghania, E. M. Shaalan. - Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Annual Report Conference on, Cancun, 2015, pp. 219-222.