

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 Электроснабжение производственной базы ООО «БашТехКомплект», с. Иглино

Обучающийся

И.С. Лутфуллин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.И. Платов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Выпускная квалифицированная работа состоит из 44 страниц, 13 рисунков, 7 таблиц и 20 источников.

Ключевые слова: производственная база, участок, электроснабжение, нагрузка, потребитель, сеть, линия, ток, напряжение, мощность, безопасность.

В работе проводится разработка системы электроснабжения (СЭС) производственной базы предприятия.

Объект исследования: производственная база.

Предмет исследования: электроснабжение производственной базы.

Цель работы: обеспечение качественного электроснабжения потребителей электроэнергии.

Актуальность работы: в ближайшее время, для обеспечения нужд предприятия будет построена новая производственная база, для которой требуется разработать систему электроснабжения. Производственное оборудование базы включает в себя большое число электроприемников (асинхронные электроприводы, станки, преобразователи, технологические линии, сварочные инверторы и т.д.), эксплуатация которых требует качественного и надежного питания от электрической сети.

Содержание работы включает вопросы: описание предприятия, исходные данные по производственной базе и технологическим участкам, электроснабжение производственной базы, безопасность и экологичность.

Содержание

Введение	4
1 Исходные данные	5
1.1 Описание предприятия.....	5
1.2 Данные по производственной базе.....	7
2 Электроснабжение производственной базы	9
2.1 Расчет нагрузок.....	9
2.2 Компенсация реактивной мощности	11
2.3 Выбор ТП 10/0,4 кВ.....	13
2.4 Расчет высоковольтной КЛ.....	15
2.5 Расчет сети 0,4 кВ.....	16
2.6 Токи КЗ	19
2.7 Защита КЛ 0,4 кВ.....	27
2.8 Защита КЛ 10 кВ	28
2.9 Автоматический ввод резерва питания сети 0,4 кВ.....	32
3 Безопасность и экологичность.....	36
3.1 Охрана труда.....	36
3.2 Заземление ТП	37
3.3 Обеспечение экологичности	41
Заключение	42
Список используемых источников.....	43

Введение

Производится разработка СЭС производственной базы ООО «БашТехКомплект», с. Иглино.

Актуальность разработки: согласно планам развития предприятия, в ближайшее время, для обеспечения нужд предприятия будет построена новая производственная база, для которой требуется разработать систему электроснабжения. Производственное оборудование базы включает в себя большое число электроприемников (асинхронные электроприводы, станки, преобразователи, технологические линии, сварочные инверторы и т.д.), эксплуатация которых требует качественного и надежного питания от электрической сети.

Объект исследования: производственная база.

Предмет исследования: электроснабжение производственной базы ООО «БашТехКомплект».

Цель работы: обеспечение качественного электроснабжения потребителей электроэнергии.

Задачи работы:

- выполнить расчет нагрузок электроприемников по участкам;
- компенсировать излишнюю реактивную мощность;
- выбрать марку ТП 10/0,4 кВ;
- рассчитать высоковольтную КЛ до ТП и сеть 0,4 кВ, выбрать кабели;
- рассчитать токи КЗ;
- выбрать оборудование защиты питающей линии и распределительной сети;
- рассмотреть безопасность и экологичность проекта.

1 Исходные данные

1.1 Описание предприятия

ООО «БашТехКомплект» – предприятие с широким спектром различных видов деятельности. «Зарегистрированные виды деятельности предприятия, согласно ОКВЭД:

- 46.71 Торговля оптовая топливом;
- 01.11 Выращивание зерновых, зернобобовых культур и семян масличных культур;
- 01.49.1 Пчеловодство;
- 19.20 Производство нефтепродуктов;
- 23.61 Производство изделий из бетона для использования в строительстве;
- 43.21 Производство электромонтажных работ;
- 43.22 Производство санитарно-технических работ, монтаж отопительных систем;
- 43.31 Производство штукатурных работ;
- 43.32 Работы столярные и плотничные;
- 43.34.1 Производство малярных работ;
- 43.34.2 Производство стекольных работ;
- 43.39 Производство прочих отделочных и завершающих работ;
- 43.99.1 Работы гидроизоляционные;
- 43.99.4 Работы бетонные и железобетонные;
- 46.12 Деятельность агентов по оптовой торговле топливом, рудами, металлами;
- 46.12.1 Деятельность агентов по оптовой торговле топливом и связанными продуктами;

- 46.19 Деятельность агентов по оптовой торговле универсальным ассортиментом товаров;
- 46.38.29 Торговля оптовая прочими пищевыми продуктами, не включенными в другие группировки;
- 46.71.2 Торговля оптовая моторным топливом, включая авиационный бензин;
- 46.73 Торговля оптовая лесоматериалами, строительными материалами;
- 46.75 Торговля оптовая химическими продуктами;
- 46.90 Торговля оптовая неспециализированная;
- 47.30 Торговля розничная моторным топливом в специализированных магазинах;
- 49.50.12 Транспортирование по трубопроводам нефтепродуктов;
- 49.50.2 Транспортирование по трубопроводам газа и продуктов его переработки;
- 68.10.11 Подготовка к продаже собственного жилого недвижимого имущества;
- 68.10.12 Подготовка к продаже собственного нежилого недвижимого имущества.

Предприятие обладает высококвалифицированным персоналом и оснащено современной компьютерной техникой, оборудованием, испытательными стендами, приборами по самой передовой технологии. Компания является участником торгов на Санкт-Петербургской Международной Товарно-сырьевой Бирже» [6].

В ближайшее время, для обеспечения нужд предприятия по ремонту и обслуживанию эксплуатируемой техники, оборудования и автомобилей, будет построена новая производственная база (ПБ), для которой требуется разработать систему электроснабжения (СЭС).

1.2 Данные по производственной базе

Генплан базы показан на рисунке 1.

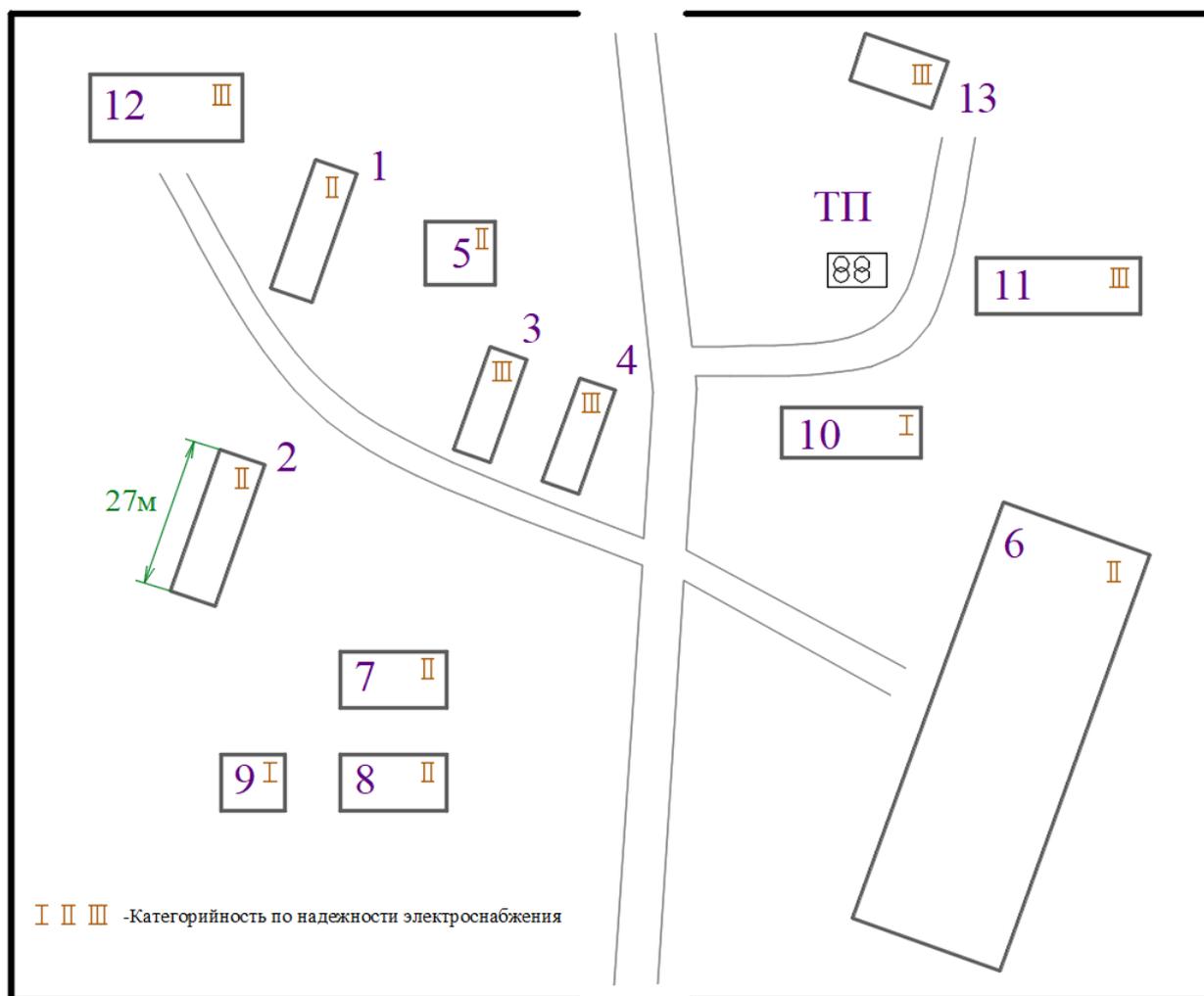


Рисунок 1 – Генплан базы

Электрические нагрузки ПБ включают в себя электроприемники, расположенные в 13 производственных участках (ПУ), которые являются административными, производственными, хозяйственными или вспомогательными постройками. Электроснабжение ПУ будет осуществляться от ТП 10/0,4 кВ, расположенной в северо-восточной части территории. Характеристики электропотребления по ПУ – в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики электропотребления участков

№	Участки	P_n , кВт	K_c	$\cos\varphi$
1	Участок ремонта ДВС	209,8	0,81	0,85
2	Цех настройки топливной аппаратуры	80,3	0,79	0,89
3	Хранилище	16,9	0,39	0,88
4	Склад	16,9	0,39	0,88
5	Участок подготовки	58,1	0,91	0,9
6	Электроцех	72,9	0,65	0,91
7	Участок компьютерной диагностики	55,2	0,71	0,93
8	Цех ремонта электроприводов	65,9	0,56	0,84
9	Котельная	65,4	0,69	0,84
10	Насосная	109,6	0,58	0,87
11	Автодепо	42,9	0,28	0,89
12	АБК	38,7	0,47	0,90
13	Участок хранения	35,4	0,39	0,89

«Электроснабжение базы будет выполнено по двум вводам КЛ 10 кВ длиной 0,402 км от подстанции ГПП» [6].

Выводы по 1 разделу.

В разделе 1 кратко охарактеризовано предприятие и его виды деятельности. Систематизированы требуемые для разработки СЭС базы данные. На основе технической документации составлены генплан и таблица с характеристиками электропотребления участков.

2 Электроснабжение производственной базы

2.1 Расчет нагрузок

«Для расчета актуальных электрических нагрузок цехов (производственных участков) используется метод коэффициента спроса активной мощности.

Формулы для расчета среднесменных активных, реактивных и полных мощностей:

$$P_c = K_c \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент спроса активной мощности для данного конкретного цеха;

$P_{ном}$ – номинальная нагрузка электроприемников данного конкретного цеха, кВт» [7].

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \quad (3)$$

Для участка №1, по (1,2,3):

$$P_c = 0,81 \cdot 209,8 = 169,938 \text{ кВт}$$

$$Q_c = 169,938 \cdot 0,62 = 105,318 \text{ квар}$$

$$S_c = \sqrt{169,938^2 + 105,318^2} = 199,927 \text{ кВА}$$

Нагрузки ПУ по базе рассчитаны в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет нагрузок участков

Участки	P _н , кВт	K _с	tgφ	Среднесм. нагрузки		
				P _с , кВт	Q _с , квар	S _с , кВА
Участок ремонта ДВС	209,8	0,81	0,620	169,938	105,318	199,927
Цех настройки топливной аппаратуры	80,3	0,79	0,512	63,437	32,500	71,278
Хранилище	16,9	0,39	0,540	6,591	3,557	7,490
Склад	16,9	0,39	0,540	6,591	3,557	7,490
Участок подготовки	58,1	0,91	0,484	52,871	25,61	58,75
Электроцех	72,9	0,65	0,456	47,385	21,59	52,07
Участок компьютерной диагностики	55,2	0,71	0,395	39,192	15,49	42,14
Цех ремонта электроприводов	65,9	0,56	0,646	36,904	23,84	43,93
Котельная	65,4	0,69	0,646	45,126	29,15	53,72
Насосная	109,6	0,58	0,567	63,568	36,03	73,07
Автодепо	42,9	0,28	0,512	12,012	6,15	13,50
АБК	38,7	0,47	0,484	18,189	8,81	20,21
Участок хранения	35,4	0,39	0,512	13,806	7,07	15,51
Итого	868	0,663	0,554	575,610	318,666	657,932

Осветительная нагрузка территории не будет учитываться, так как будут применяться светодиодные светильники на солнечных батареях и аккумуляторах, ввиду чего осветительная сеть не подключается к общей системе электроснабжения.

2.2 Компенсация реактивной мощности

«Компенсация реактивной мощности (КРМ) производится до нормативного значения $\cos \varphi = 0,95$. Требуемая мощность компенсирующих устройств (КУ):

$$Q_{к.у.} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (4)$$

где α – коэффициент учитывающий повышение $\cos \varphi$ естественным способом;

P_p – активная расчетная мощность нагрузки, кВт;

$tg\varphi$ – тангенс угла φ до компенсации;

$tg\varphi_k$ – нормативный тангенс угла φ после компенсации» [9].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 575,61 \cdot (0,554 - 0,33) = 115,84 \text{ квар.}$$

Устанавливается 2хАУКРМ-0,4-60 по 60 квар.

Нагрузки ТП до и после КРМ – в таблице 3.

Таблица 3 – Нагрузки ТП до и после КРМ

Показатели	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Σ на НН	0,875	0,554	575,610	318,666	657,932
КУ, квар	-	-	-	120	-
Σ на НН с КУ	0,945	0,345	575,610	198,666	608,930
Потери	-	-	12,179	60,893	-
Σ на ВН с КУ	-	-	587,789	259,559	642,547

Потери в трансформаторах:

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot S_p; \quad (5)$$

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 608,93 = 12,179 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot S_p; \quad (6)$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 608,93 = 60,893 \text{ квар}.$$

Нагрузка ТП по стороне ВН, по (3):

$$S'_p = \sqrt{(575,61 + 12,179)^2 + (198,666 + 60,893)^2} = 642,547 \text{ кВА}.$$

«Внешний вид АУКРМ – на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид АУКРМ

Применение АУКРМ позволит обеспечить точный уровень КРМ при широком диапазоне изменения нагрузок ТП, исключить перекомпенсацию РМ» [2].

2.3 Выбор ТП 10/0,4 кВ

«Если в состав нагрузок ТП входят потребители 1 и/или 2 категорий надежности электроснабжения, устанавливается два силовых трансформатора.

Требуемая мощность трансформаторов с учетом КРМ:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_{р.к.}, \quad (7)$$

где $K_{з.н.}$ – нормативный коэффициент загрузки трансформаторов, согласно ГОСТ 14209-85, $K_{з.н.} = 0,7$;

$S_{р.к.}$ – расчетная мощность потребителей, кВА» [8].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 608,93 = 426,25 \text{ кВА.}$$

Устанавливается 2х ТМГ12-630 по 630 кВА.

«Коэффициент загрузки в аварийном режиме:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_{р.к.}}{S_m}, \quad (8)$$

где S_m – номинальная мощность силового трансформатора, кВА» [8].

$$K_{з.ав.} = \frac{608,93}{630} = 0,967 \leq 1,4.$$

Выбирается ТП марки 2КТПН-630/10/0,4, компоновка – на рисунке 3.

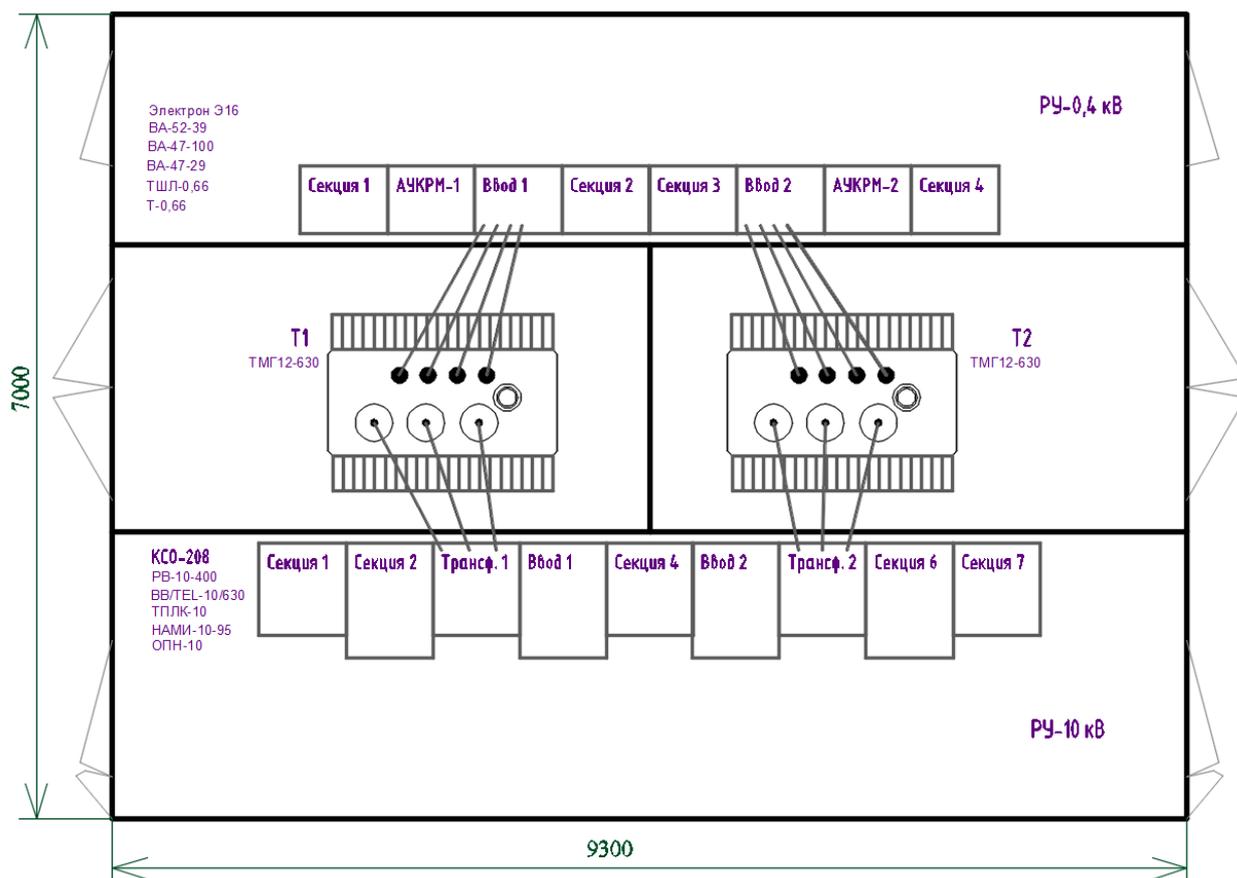


Рисунок 3 – Компоновка ТП

«Данная подстанция является комплектной, в стандартный комплект входит следующее электрооборудование:

- вакуумные выключатели серии ВВ/TEL – 10/630;
- разъединители серии РВ-10-400;
- опорные изоляторы ИОЭЛ-10;
- трансформаторы тока ТПЛК-10-50/5;
- трансформаторы напряжения НАМИ-10-95;
- ограничители перенапряжения серии ОПН-10;
- предохранители ПКТ-103/50;
- автоматические выключатели Электрон Э16/1600;
- трансформаторы тока ТШЛ-0,66-1500/5.

Установка силовых трансформаторов осуществляется после размещения КТПН на месте установки» [20].

2.4 Расчет высоковольтной КЛ

«Рабочий ток КЛ 10 кВ:

$$I_p = \frac{S'_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n}, \quad (9)$$

где S'_p – расчетная мощность ТП с учетом потерь в трансформаторах,

кВА;

U_n – номинальное напряжение линии, кВ;

n – число цепей, шт» [16].

$$I_p = \frac{642,55}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 18,549 \text{ А.}$$

«Экономическое сечение жилы кабеля:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (10)$$

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [13].

$$F_{\text{эк}} = \frac{18,549}{1,4} = 13,249 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АПвП-3х16 мм².

$$I_{\text{ав}} = \frac{642,55}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 37,097 \text{ А.}$$

«Допустимый ток кабеля:

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{нов}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{пон}}, \quad (11)$$

где $I_{\text{доп}}$ – паспортный ток кабеля, А;

$K_{\text{нов}}$, $K_{\text{ср}}$, $K_{\text{пон}}$ – коэффициенты недогруженности КЛ, среды и групповой прокладки» [16].

$$I'_{\text{доп}} = 75 \cdot 1,25 \cdot 1,08 \cdot 0,93 = 94,163 \text{ А} > I_{\text{ав}}.$$

«Потери напряжения в КЛ:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (12)$$

где I_p – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

r_0 , x_0 – удельные сопротивления кабеля, Ом/км» [18].

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 37,097 \cdot 0,402 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,915 + 0,102 \cdot 0,404) = 0,23 \% < 5 \%$$

Потери напряжения находятся в рамках допустимых пределов.

2.5 Расчет сети 0,4 кВ

«Необходимо обеспечить возможность индивидуального отключения цехов для удобства обслуживания и вывода оборудования в ремонт, обеспечения надежной и селективной работы аппаратов защиты линий. Таким образом, для распределительной сети выбирается радиальная схема, каждый цех запитывается от ТП по отдельной КЛ 0,4 кВ. Кабельные линии на 0,4 кВ выполняются кабелем АВБШв. Кабели прокладываются в траншеях под землей» [6]. Схема электрической сети – на рисунке 4.

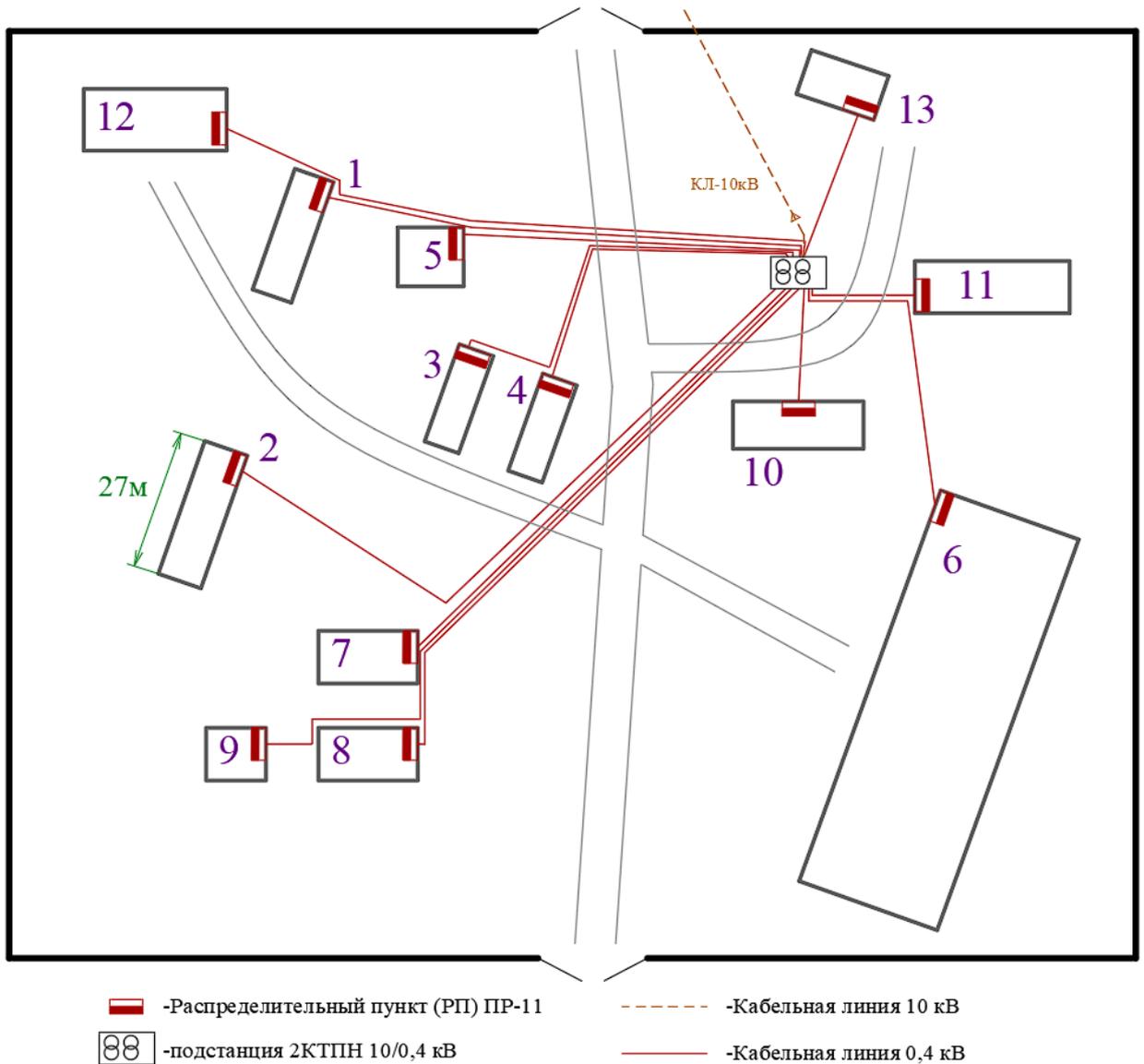


Рисунок 4 – Схема электрической сети

Расчет для КЛ до ПУ №1.

«Наибольший ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (13)$$

где S_p – расчетная мощность участка, кВА;

U_n – напряжение линии, кВ» [15].

$$I_p = \frac{246,824}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 375,02 \text{ A}$$

Выбирается кабель АВБШВ-4х185+1х95, $I_{\text{доп}} = 380 \text{ A}$ [19].

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь» [19]. По формуле (12):

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 375,02 \cdot 53,81 \cdot 100}{0,38} (0,00016 \cdot 0,85 + 0 \cdot 0,402) = 1,251 \% < 5 \%$$

Выбор кабелей – в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор кабелей

Участок	I_p , А	АВБШВ, сечение	$I_{\text{доп}}$, А	ΔU , %
1	375,02	4х185+1х95	380	1,251
2	137,09	4х35+1х25	155	1,369
3	29,18	5х4	34	1,360
4	29,18	5х4	34	1,049
5	98,08	4х25+1х16	125	0,591
6	121,72	4х25+1х16	125	0,682
7	90,18	4х25+1х16	125	0,817
8	119,20	4х25+1х16	125	1,308
9	118,30	4х25+1х16	125	1,599
10	191,41	4х70+1х35	220	0,133
11	73,24	5х16	90	0,217
12	65,33	5х10	70	1,777
13	60,43	5х10	70	0,403

Выбранные кабели соответствуют требованиям.

2.6 Токи КЗ

Схемы для расчета на вводе 10 кВ ТП – на рисунке 5.

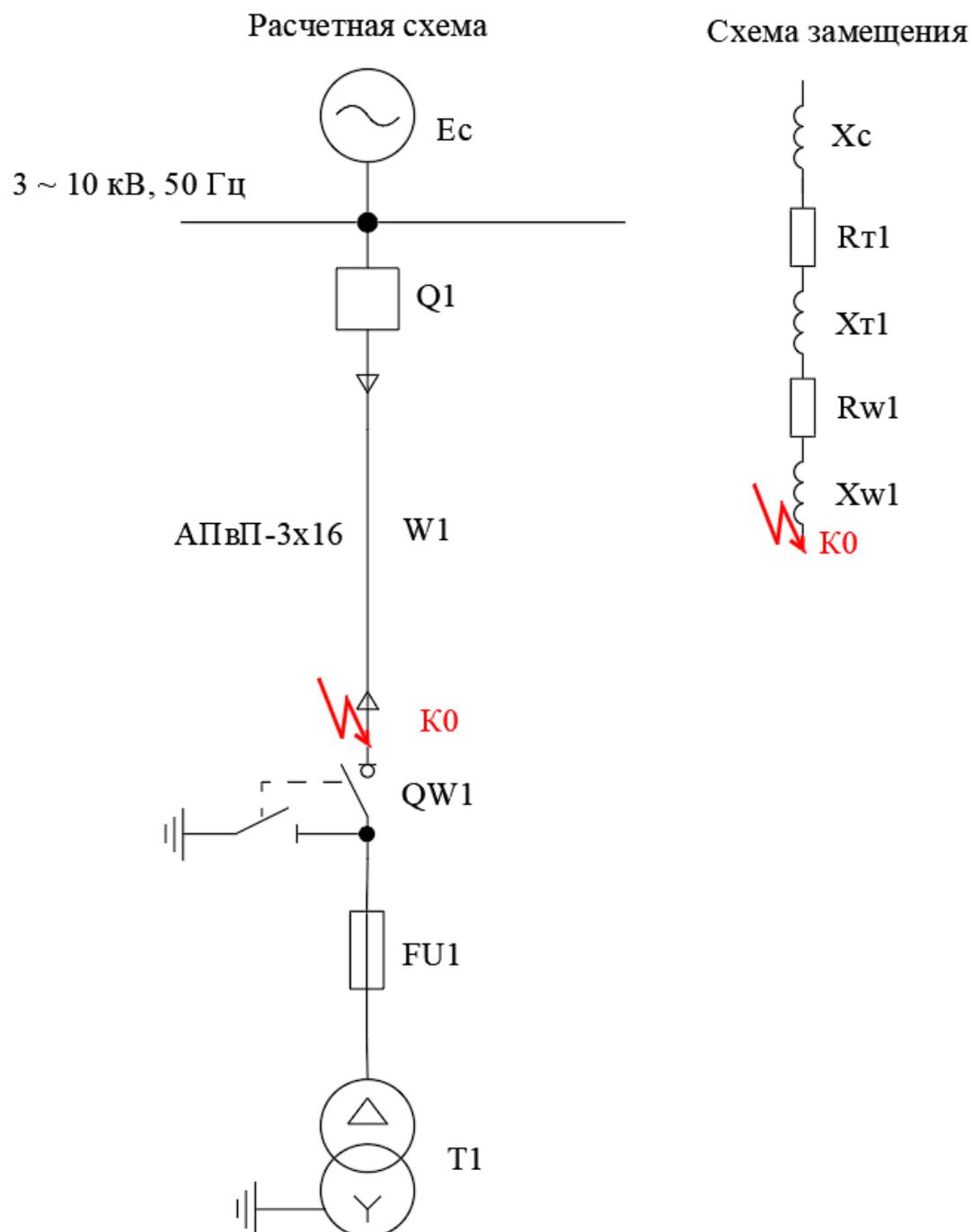


Рисунок 5 – Схемы для расчета токов КЗ

«Значение трехфазного тока КЗ в начале КЛ 10 кВ (выключатель 10 кВ ГПП): $I_{кз.ГПП}^{(3)} = 9,387$ кА» [6].

«Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{кз.ГПП}^{(3)}}, \quad (14)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ» [18].

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,387} = 0,646 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления КЛ 10 кВ:

$$X_{w1} = x_0 \cdot L_{w1}, \quad (15)$$

где L_{w1} – длина КЛ, км» [18].

$$X_{w1} = 0,102 \cdot 0,402 = 0,041 \text{ Ом;}$$

$$R_{w1} = r_0 \cdot L_{w1}, \quad (16)$$

$$R'_{w1} = 1,94 \cdot 0,402 = 0,78 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление до точки К0:

$$Z_{к0} = \sqrt{R_{к0}^2 + X_{к0}^2}, \quad (17)$$

$$Z_{к0} = \sqrt{0,78^2 + (0,646 + 0,041)^2} = 1,039 \text{ Ом.}$$

«Трехфазный ток КЗ:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot Z_k}, \quad (18)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

Z_k – полное сопротивление цепи, Ом» [18].

$$I_{k0}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,039} = 5,83 \text{ кА.}$$

«Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k^{(3)}, \quad (19)$$

где K_y – ударный коэффициент» [18].

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,83 = 14,85 \text{ кА.}$$

Двухфазный ток КЗ:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k^{(3)}, \quad (20)$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,83 = 5,05 \text{ кА.}$$

Расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ рассмотрим на примере КЗ на вводе РП цеха №1.

Расчетные схемы показаны на рисунке 6.

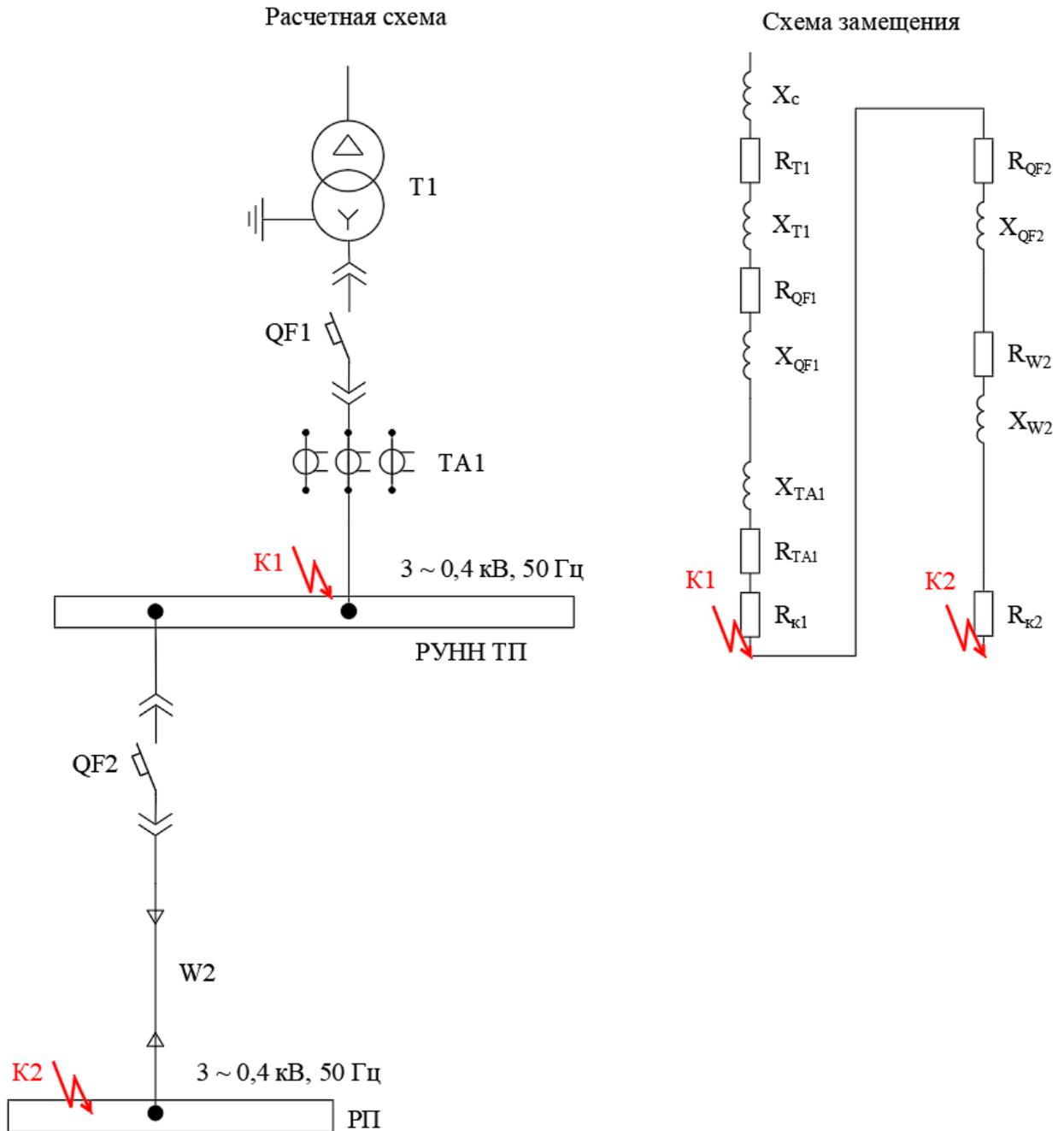


Рисунок 6 – Расчетная схема и схема замещения

«Сопротивление системы:

$$X'_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.К0}^{(3)}}, \quad (21)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

$I_{к.з.К0}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ в точке К0 (на стороне 10 кВ ТП), кА»
[18].

$$X'_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 5,83} = 1,039 \text{ Ом.}$$

Сопротивление приводится к 0,4 кВ:

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}}, \quad (22)$$

$$X_c = 1039 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 39,589 \text{ мОм.}$$

Сопротивления трансформатора ТП и автоматов принимаются согласно справочным данным [19].

«Сопротивления линии W2:

$$R_{W2} = r_0 \cdot L_{W2}, \quad (23)$$

где $L_{кЛ1}$ – длина КЛ, м» [18].

$$R_{W2} = 0,158 \cdot 19,84 = 3,134 \text{ мОм;}$$

$$X_{W2} = x_0 \cdot L_{W2}, \quad (24)$$

$$X_{W2} = 0,0599 \cdot 19,84 = 1,19 \text{ мОм.}$$

«Переходные сопротивления: $R_{к1} = 0,0034 \text{ мОм; } R_{к2} = 0,85 \text{ мОм}$ » [18].

$$R_{\text{э1}} = R_{Т1} + R_{QF1} + R_{ТА1} + R_{к1}, \quad (25)$$

$$R_{\text{э1}} = 9,4 + 0,06 + 0,07 + 0,0034 = 9,58 \text{ мОм;}$$

$$X_{\vartheta 1} = X_T + X_{QF1} + X_{TA1}, \quad (26)$$

$$X_{\vartheta 1} = 27,2 + 0,07 + 0,07 = 27,34 \text{ мОм};$$

$$R_{\vartheta 2} = R_{QF2} + R_{W2} + R_{\kappa 2}, \quad (27)$$

$$R_{\vartheta 2} = 0,112 + 3,134 + 0,85 = 4,096 \text{ мОм};$$

$$X_{\vartheta 2} = X_{QF2} + X_{W2}, \quad (28)$$

$$X_{\vartheta 2} = 0,13 + 1,19 = 1,32 \text{ мОм};$$

Сопротивления до точек КЗ:

$$R_{\kappa 1} = R_{\vartheta 1}, \quad (29)$$

$$R_{\kappa 1} = 9,58 \text{ мОм};$$

$$X_{\kappa 1} = X_c + X_{\vartheta 1}, \quad (30)$$

$$X_{\kappa 1} = 39,589 + 27,34 = 66,929 \text{ мОм};$$

$$Z_{\kappa 1} = \sqrt{9,58^2 + 66,929^2} = 67,611 \text{ мОм};$$

$$R_{\kappa 2} = R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2}, \quad (31)$$

$$R_{\kappa 2} = 24,58 + 4,096 = 13,679 \text{ мОм};$$

$$X_{\kappa 2} = X_c + X_{\vartheta 1} + X_{\vartheta 2}, \quad (32)$$

$$X_{\kappa 2} = 39,589 + 27,34 + 1,32 = 68,249 \text{ мОм};$$

$$Z_{\kappa 2} = \sqrt{13,679^2 + 68,249^2} = 69,606 \text{ мОм};$$

«Трёхфазные токи КЗ:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot Z_k}, \quad (33)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

Z_k – сопротивление цепи, мОм» [18].

Трехфазный ток КЗ в точке К1:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 97,611} = 4,86 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к}^{(3)}, \quad (34)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 4,86 = 8,93 \text{ кА.}$$

Сопротивления петли «фаза-ноль»:

- для линии W2:

$$R_{\pi W2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{W2}, \quad (35)$$

$$R_{\pi W2} = 2 \cdot 0,158 \cdot 19,84 = 6,267 \text{ МОм;}$$

$$X_{\pi W2} = x_{0\pi} \cdot L_{W2}, \quad (36)$$

$$X_{\pi W2} = 0,228 \cdot 19,84 = 4,52 \text{ МОм;}$$

- до точек К1, К2:

$$R_{\pi 1} = R_{к1}, \quad (37)$$

$$X_{\pi 1} = 2 \cdot X_c, \quad (38)$$

$$X_{\pi 1} = 2 \cdot 39,539 = 79,177 \text{ МОм;}$$

$$Z_{\pi 1} = \sqrt{0,0034^2 + 79,177^2} = 79,18 \text{ МОм;}$$

$$R_{\pi 2} = R_{к1} + R_{\pi W2} + R_{к2}, \quad (39)$$

$$R_{\pi 2} = 0,0034 + 6,267 + 0,85 = 7,12 \text{ МОм;}$$

$$X_{\pi 2} = X_{\pi W2} + 2 \cdot X_c, \quad (40)$$

$$X_{\pi 2} = 4,52 + 2 \cdot 39,539 = 83,697 \text{ мОм};$$

$$Z_{\pi 2} = \sqrt{7,12^2 + 83,697^2} = 83,999 \text{ мОм};$$

«Однофазный ток КЗ в точке К1:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot (Z_{\pi} + \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3})}, \quad (41)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, кВ;

$Z_{\text{т}}^{(1)}$ – сопротивление трансформатора, мОм» [18].

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (79,18 + \frac{312}{3})} = 2,37 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов – в таблице 5.

Таблица 5 – Токи КЗ в сети 0,4 кВ

Точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_{\kappa}^{(1)}$, кА
К1	4,86	8,93	2,37
К2	4,48	8,23	2,12

«Термически стойкое сечение жил кабелей:

$$F_T = I_{\kappa 3}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{\text{п}}} / K_T, \quad (42)$$

где $I_{\kappa 3}^{(3)}$ – действующее значение тока трехфазного КЗ, кА

$t_{\text{п}}$ – приведенное время КЗ (время срабатывания релейной защиты для КЛ 10 кВ и автоматов для КЛ 0,4 кВ), с;

K_T – температурный коэффициент» [3].

Для КЛ до цеха №1, по (42):

$$F_T = 4480 \cdot \sqrt{0,03} / 95 = 8,17 \text{ мм}^2 > 185 \text{ мм}^2.$$

Проверка КЛ – в таблице 6.

Таблица 6 – Проверка термической стойкости КЛ

Участок	АВБШв, сечение	Стер, мм ²
1	4x185+1x95	8,17
2	4x35+1x25	4,90
3	5x4	1,64
4	5x4	2,02
5	4x25+1x16	5,62
6	4x25+1x16	7,15
7	4x25+1x16	6,11
8	4x25+1x16	5,80
9	4x25+1x16	5,40
10	4x70+1x35	7,75
11	5x16	6,71
12	5x10	3,45
13	5x10	7,20
КЛ 10 кВ	АПВП-3x16	13,72

КЛ термически устойчивы.

2.7 Защита КЛ 0,4 кВ

«Выбор автоматических выключателей (АВ) проводится:

- по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (43)$$

- по току теплового расцепителя (ТР):

$$I_{m.p.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (44)$$

Для КЛ к цеху №1:

$$I_{m.p.} > 1,1 \cdot 375,021 = 412,5 \text{ A.}$$

Выбирается ВА-52-39/500, уставка ТР 450 А. Выбор АВ – в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор аппаратов защиты КЛ 0,4 кВ

№ цеха	$1,1 \cdot I_p, \text{A}$	Авт. выкл.	$I_{ном}, \text{A}$
1	412,5	ВА-52-39	500
2	150,8	ВА-52-39	160
3	32,1	ВА-47-29	40
4	32,1	ВА-47-29	40
5	107,9	ВА-52-39	160
6	133,9	ВА-52-39	160
7	99,2	ВА-47-100	100
8	131,1	ВА-52-39	160
9	130,1	ВА-52-39	160
10	210,5	ВА-52-39	250
11	80,6	ВА-47-100	100
12	71,9	ВА-47-100	80
13	66,5	ВА-47-100	80

Выбранные АВ удовлетворяют требованиям.

2.8 Защита КЛ 10 кВ

Защита КЛ 10 кВ реализуется на терминалах Сириус-2Л-02, схема защиты – на рисунке 7.

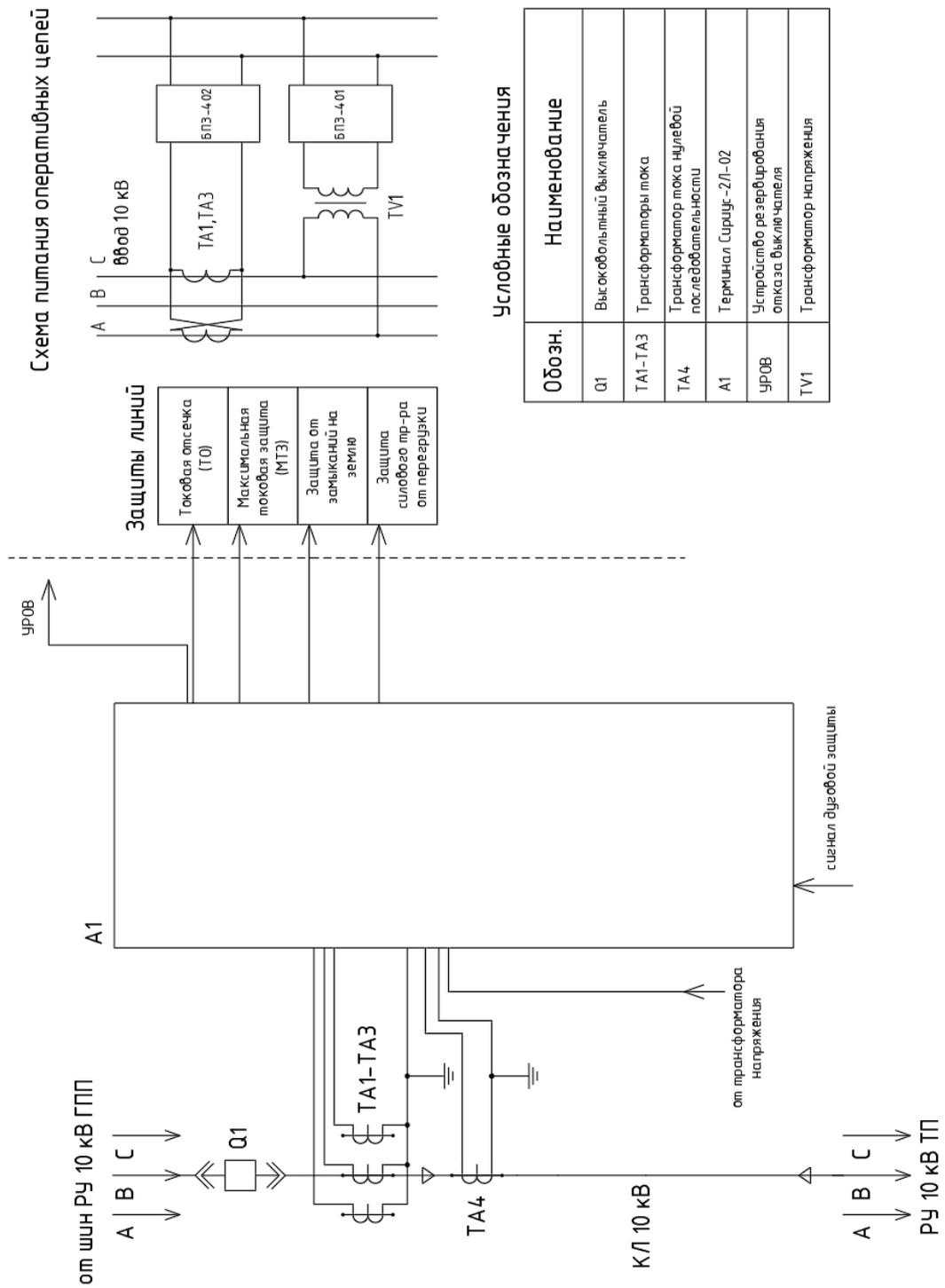


Рисунок 7 – Схема защиты КЛ 10 кВ

Внешний вид терминала – на рисунке 8.



Рисунок 8 – Внешний вид Сириус-2Л-02

«Токовая отсечка (ТО):

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (45)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки» [1].

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,036 = 0,182 \text{ кА}$$

«МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{р.макс} , \quad (46)$$

где $I_{p.макс}$ – расчетный ток КЛ, А.

Чувствительность защиты» [1]:

$$k_q = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}}, \quad (47)$$

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 37,097 = 51,5 \text{ А}$$

$$k_q = \frac{5050}{51,5} = 98,1 \geq 1,5$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T}, \quad (48)$$

где $k_{cx} = 1$ – коэффициент схемы подключения ТТ;

n_T – коэффициент трансформации ТТ» [10].

$$I_{CP} = 51,5 \cdot \frac{1}{50/5} = 5,15 \text{ А}$$

«Ток срабатывания защиты от замыканий на землю:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C, \quad (49)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки;

k_B – коэффициент броска ёмкостного тока;

I_C – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (50)$$

где I_{CO} – удельный ёмкостный ток кабеля, А/км;

L – длина линии, км» [10].

$$I_C = 0,55 \cdot 0,402 = 0,221 \text{ А}$$

$$I_{C.з.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,221 = 0,663 \text{ А}$$

2.9 Автоматический ввод резерва питания сети 0,4 кВ

«АВР предназначен для автоматического переключения питания ответственных потребителей на резервный источник при пропадании либо несоответствии норме показателей качества питания с основного источника. Упрощенная схема АВР – на рисунке 9» [2].

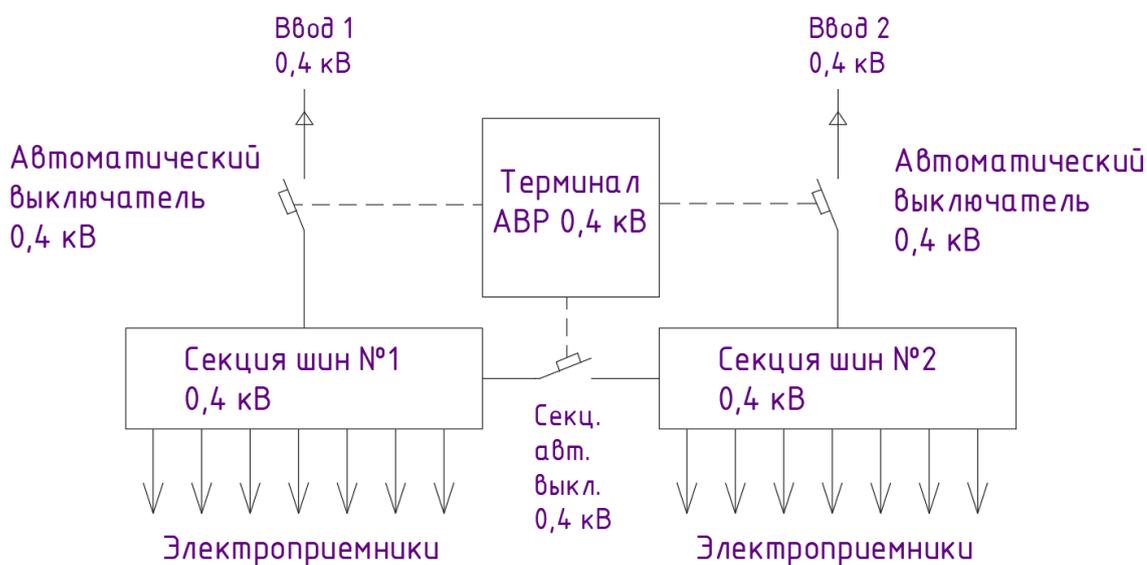


Рисунок 9 – Схема АВР

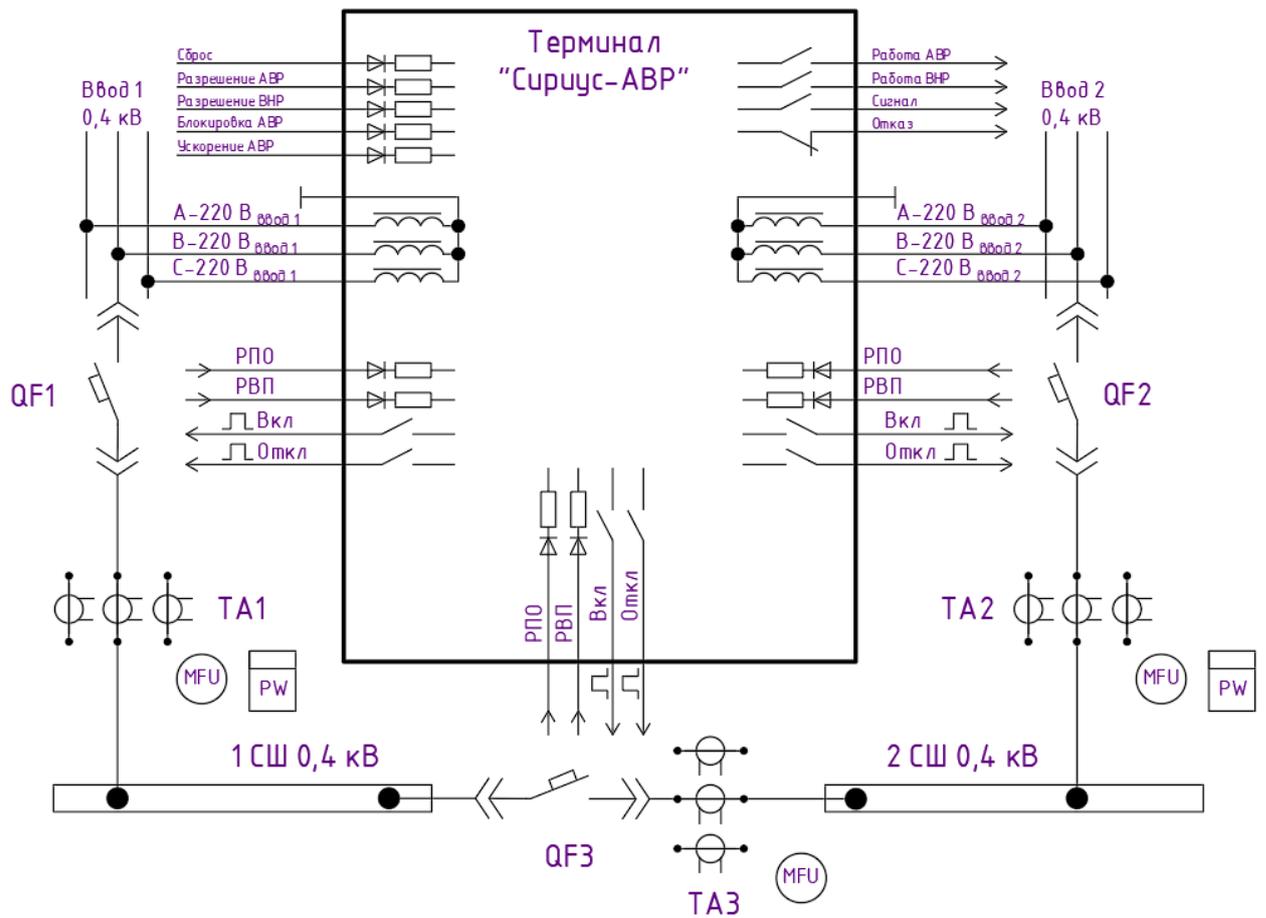
Внешний вид Сириус-АВР – на рисунке 10.



Рисунок 10 – Внешний вид Сириус-АВР

«Для обеспечения дистанционного управления и контроля состояния, вводные и секционный автоматические выключатели на вводе 0,4 кВ и секционной перемычке выбираются с электромагнитным приводом. Терминал Сириус-АВР обеспечивает автоматический ввод резервного источника при пропадании напряжения на одном из питающих вводов и автоматическое восстановление схемы нормального режима питания. При пропадании напряжения на одном из вводов, АВР отключает выключатель этого ввода (QF1 или QF2) и включает секционный выключатель (QF3). После проведения необходимых ремонтно-восстановительных работ и появлении питания на втором вводе 0,4 кВ, терминал АВР автоматически восстанавливает схему нормального режима питания, включая выключатель ввода (QF1 или QF2) и отключая секционный выключатель (QF3).

Схема АВР 0,4 кВ – на рисунке 11.



Зона	Поз. обозн.	Обозначение	Кол.	Примечание
		Автоматические выключатели		
	QF1..QF3	Электрон Э16	3	
		Трансформаторы тока		
	ТА1..ТА3	ТШЛ-0,66-У1	9	

Рисунок 11 – Схема АВР 0,4 кВ

Уставка пускового органа минимального напряжения выбирается по условию:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (51)$$

где $U_{НОМ}$ – номинальное напряжение сети, В» [10].

$$U_{C.P,0,4} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

«Напряжение срабатывания максимального реле напряжения, контролирующего наличие напряжения на другой секции, выбирается по условию» [10]:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (52)$$
$$U_{C.P0,4} = (0,6 \div 0,65) \cdot 380 = 228 \div 247 \text{ В.}$$

«Время срабатывания реле времени пускового органа напряжения АВР выбирается по условию:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (53)$$

где t_1 – наибольшее время срабатывания автоматических выключателей при КЗ на отходящих линиях, с;
 Δt – ступень селективности, с» [10].

$$t_{C.P.ABP} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с.}$$

Выводы по 2 разделу.

В разделе 2 согласно результатам расчетов предполагаемых среднесменных нагрузок участков спроектирована СЭС производственной базы предприятия ООО «БашТехКомплект». Выбрано современное оборудование для обеспечения качественного и надежного электроснабжения.

3.2 Заземление ТП

«Удельное сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных электродов:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (54)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта (известняк), 2000 Ом · м;

K_c – коэффициент сезонности.

$$\rho_{pe} = 2000 \cdot 1,1 = 2200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{pe} = 2000 \cdot 1,4 = 2800 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50х50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50х5 мм» [12],

«Сопротивление растеканию для одного вертикального заземлителя $R_{овэ}$ (Ом):

$$R_{овэ} = \frac{\rho_{pe}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad (55)$$

где l – длина ВЭ, м;

d – диаметр (для угловой стали приведенный диаметр) ВЭ, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (56)$$

где b – ширина уголка, м» [12].

Для одного ВЭ, по (55,56):

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м}$$

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

$$R_{\text{огэ}} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 60,962 \text{ Ом}$$

«Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{\text{огэ}} / R_{\text{н}} \quad (57)$$

где $R_{\text{н}} = 4 \text{ Ом}$ – максимально допустимое сопротивление заземления, Ом» [13].

$$n' = 60,962 / 4 = 15,2 \approx 16 \text{ шт}$$

«Длина горизонтальной полосы:

$$l_z = 1,05 \cdot a \cdot n' \quad (58)$$

где a – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n' \quad (59)$$

где $l_{\text{пер}}$ – периметр здания ТП, м» [12].

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (9,3 + 7) = 32,6 \text{ м}$$

$$a = 32,6 / 16 = 2,04 \text{ м}$$

$$l_z = 1,05 \cdot 2,04 \cdot 16 = 34,27 \text{ м}$$

«Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя:

$$R_{23} = \frac{\rho_{p2}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left(\frac{l^2}{d \cdot t} \right) \quad (60)$$

где l – длина ГЭ, м;

d – расчетный диаметр электрода, м;

t – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (61)$$

где b – ширина полосы, м» [12].

Для ГЭ, по (60,61):

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м}$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м}$$

$$R_{23} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 34,27} \cdot \ln \left(\frac{34,27^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,612 \text{ Ом}$$

«Итого сопротивление заземления:

$$R_{2p} = \frac{R_{063} \cdot R_{23}}{R_{063} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{23} \cdot \eta_2} \quad (62)$$

где η_6 – коэффициент использования ВЭ;

η_2 – коэффициент использования ГЭ.

$$R_{2p} = \frac{60,962 \cdot 2,612}{60,962 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,612 \cdot 0,3} = 3,698 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Схема заземления ТП – на рисунке 13.

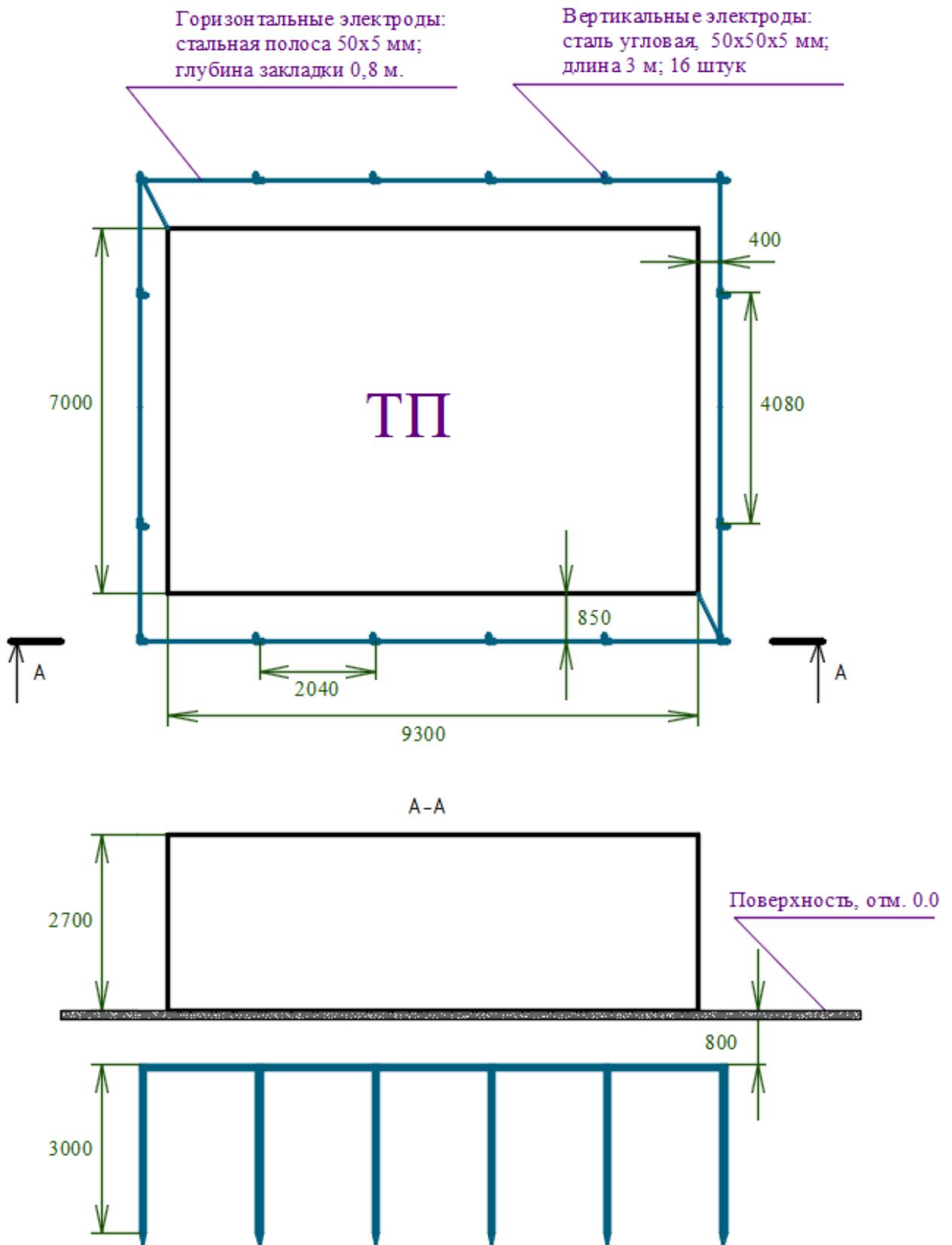


Рисунок 13 – Схема заземления ТП

КТПН не требует дополнительных мер по молниезащите ввиду полностью металлического корпуса, соединенного с контуром заземления» [20].

3.3 Обеспечение экологичности

«ГОСТ Р 54906-2012 устанавливает нормы выбора оборудования и технических решений с условиями причинения наименьшего ущерба окружающей среде.

Современные автоматические выключатели серии ВА изготавливаются с учетом минимализации отходов производства. Корпус выполняется из экологичного пластика с минимальным выделением дыма и токсичных веществ при нагреве. Современные марки кабелей АПвП и АВБШв соответствуют требованиям ГОСТ 31996-2012 по характеристикам в нормальных и аварийных режимах работы и ГОСТ Р 54906-2012 по экологичности эксплуатации. Силовые трансформаторы ТП современной серии ТМГ12 имеют уменьшенные массогабаритные показатели, окрашены современной экологичной акриловой краской, имеющей улучшенные антикоррозийные свойства, не требуют обслуживания и замены масла. Монтаж системы электроснабжения выполняется с помощью современных инструментов и оборудования, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду» [20].

Выводы по 3 разделу.

В разделе 3 рассмотрено обеспечение безопасности и экологичности при эксплуатации разработанной СЭС. Для обеспечения электробезопасности и надежной работы СЭС разработано заземление ТП. Рассмотрена экологичность проекта.

Заключение

Разработана СЭС производственной базы ООО «БашТехКомплект», с. Иглино для обеспечения ее качественного и надежного электроснабжения.

Решены задачи:

- выполнен расчет нагрузок электроприемников по участкам и производственной базе в целом;
- определены нагрузки ТП 10/0,4 кВ, для компенсации излишней реактивной мощности выбраны установки АУКРМ;
- выбрана комплектная ТП марки 2КТПН-630/10/0,4 со штатным комплектным электрооборудованием и энергоэффективными силовыми трансформаторами;
- рассчитаны высоковольтная КЛ 10 кВ до ТП и сеть 0,4 кВ, выбраны кабели современных долговечных и высоконадежных марок с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- рассчитаны токи КЗ, линии проверены по термической стойкости и потерям напряжения;
- выбрано оборудование защиты питающей линии (микропроцессорные терминалы Сириус-2Л-02) и распределительной сети (автоматические выключатели серии ВА и терминал Сириус-АВР на шинах 0,4 кВ ТП для обеспечения бесперебойного питания);
- рассмотрено обеспечение безопасности и экологичности при эксплуатации разработанной СЭС. Для обеспечения электробезопасности и надежной работы СЭС разработано заземление ТП.

Данный проект электроснабжения производственной базы обеспечит качественное и надежное питание потребителей электроэнергии и может быть рекомендован к реализации.

Список используемых источников

1. Андреев М.В. Релейная защита электроэнергетических систем : Учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2018. 167 с.
2. Анчарова, Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т. В. Анчарова, Е. Д. Стебунова, М. А. Рашевская. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. – 416 с.
3. Гуревич, Ю.Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя / Ю.Е. Гуревич. – Москва: Торус Пресс, 2019. 408 с.
4. ГОСТ 14209-85. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. – М.: Энергия, 2021. 39 с.
5. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. – М.: Энергия, 2021. 45 с.
6. Документация. Электроснабжение производственной базы ООО «БашТехКомплект», с. Иглино – Уфа, 2022. 197 с.
7. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие. – М.: МЭИ, 2018. 412 с.
8. Кудрин Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. – М.: Academia, 2019. 352 с.
9. Куско А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии / А. Куско, М. Томпсон. – М.: Додэка XXI, 2018. 336 с.
10. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения / Г.Р. Миллер. – М.: Государственное энергетическое издательство, 2018. 176 с.
11. Охрана труда в энергетике: Учебник для техникумов / под ред. Князевского Б.А. – М.: Энергопромиздат, 2020. 376 с.
12. Полуянович, Н. К. Монтаж и наладка систем электроснабжения / Н.К. Полуянович. – М.: Лань, 2020. 400 с.
13. ПУЭ, издание 7. – М.: Энергия, 2022. 648 с.

14. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания – М.: Энергия, 2022. 69 с.

15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие. – М.: Форум, 2022. 367 с. [Электронный ресурс]. – <https://znanium.com/> (дата обращения: 22.08.2022).

16. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Лань, 2018. 480 с.

17. Хорольский В. Я. Надежность электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М.: Форум, 2019. 128 с.

18. Хорольский В. Я. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М.: Дрофа, 2018. 288 с.

19. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения / В.П. Шеховцов. – М.: Форум, 2019. 216 с.

20. Школа электрика. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 24.08.2022).