

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 цехов АО «СПО Арктика» г. Северодвинск

Обучающийся

А.В. Савин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Выпускная квалифицированная работа состоит из 45 с., 10 рис., 9 табл., 21 источник.

Ключевые слова: электроснабжение, цех, мощность, нагрузка, электроприемник, питание, линия, кабель, параметры, заземление, безопасность.

В работе проектируется электроснабжение цехов промышленного предприятия.

Объект исследования: группа цехов.

Предмет исследования: система электроснабжения цехов.

Цель работы: разработка надежного и безопасного электроснабжения цехов.

Актуальность разработки: технологические процессы любого промышленного предприятия включают в себя производственное электрооборудование и невозможны без обеспечения электроснабжения. Ввод в эксплуатацию новых производственных цехов требует обеспечения качественного и надежного электроснабжения, таким образом требуется разработать систему электроснабжения, выбрать современные марки электрооборудования, использовать передовые технические решения.

Содержание работы включает вопросы: характеристика предприятия, систематизация исходных данных, разработка системы электроснабжения цехов, охрана труда, обеспечение безопасности, расчет заземляющего устройства подстанции, охрана окружающей среды.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика предприятия, исходные данные .....	5
1.1 Характеристика предприятия .....	5
1.2 Исходные данные на проектирование .....	6
2 Разработка системы электроснабжения цехов.....	9
2.1 Определение электрических нагрузок .....	9
2.2 Компенсация реактивной мощности на ТП 10/0,4 кВ.....	11
2.3 Выбор силовых трансформаторов и типа ТП 10/0,4 кВ.....	12
2.4 Расчет питающей линии 10 кВ .....	14
2.5 Расчет распределительной сети.....	16
2.6 Расчет токов КЗ, проверка кабелей на термическую стойкость .....	17
2.7 Выбор автоматических выключателей .....	27
2.8 Релейная защита и автоматика .....	28
3 Охрана труда, обеспечение безопасности .....	35
3.1 Обеспечение охраны труда .....	35
3.2 Заземление и молниезащита ТП.....	35
3.3 Охрана окружающей среды .....	40
Заключение .....	41
Список используемых источников.....	42
Приложение А. План прокладки КЛ.....	44
Приложение Б. Схема релейной защиты КЛ 10 кВ.....	45

## Введение

Производится разработка СЭС цехов АО «СПО Арктика» г. Северодвинск.

Актуальность разработки: «технологические процессы почти любого современного промышленного предприятия осуществляются с применением различного электрооборудования (расположенного в производственных цехах)» [21]. Использование новых производственных цехов АО «СПО Арктика» г. Северодвинск требует обеспечения качественного и надежного электроснабжения.

Объект исследования: группа цехов.

Предмет исследования: СЭС цехов.

Цель работы: разработка надежной и безопасной СЭС цехов.

Задачи работы:

- определить электрические нагрузки;
- рассмотреть компенсацию реактивной мощности, выбрать компенсирующие устройства;
- выбрать силовые трансформаторы и тип ТП 10/0,4 кВ;
- рассчитать питающую линию 10 кВ до ТП 10/0,4 кВ, выбрать кабели и проверить их по допустимому току, проверить линию по потерям напряжения;
- рассчитать распределительную сеть 0,4 кВ от ТП 10/0,4 кВ до производственных цехов, выбрать кабели и проверить их по допустимому току, проверить линии по потерям напряжения;
- рассчитать токи КЗ, проверить кабели на термическую стойкость;
- выбрать автоматические выключатели для обеспечения защиты линий распределительной сети;
- выбрать терминалы РЗА, рассчитать уставки;
- рассмотреть охрану труда и безопасность.

# **1 Характеристика предприятия, исходные данные**

## **1.1 Характеристика предприятия**

АО «СПО Арктика» входит в состав АО «ОСК».

«Данное предприятие:

- выполняет электромонтажные работы на судах и кораблях военного и гражданского назначения; на морских ледостойких буровых платформах для добычи нефти и газа на месторождениях шельфа северных морей; на объектах нефтегазовых месторождений;

- разрабатывает, изготавливает и производит монтаж уникальных по конструкции и сложности волоконно-оптических кабельных судовых линий;

- производит регулировку, сервисное обслуживание и ремонт сложнейших систем: радиосвязи, радиолокации и радиоразведки, телевидения, навигации, гидроакустики и гидролокации, вычислительной техники, автоматики управления торпедным и ракетным оружием, корабельных механизмов защиты и управления ядерными реакторами;

- выполняет любые операции среднего ремонта электродвигателей, генераторов, преобразователей, распределительных устройств, станций управления и других видов электроаппаратов и устройств;

- проектирует и изготавливает электротехнические изделия морского и общепромышленного назначения: щиты и пульты управления, сигнализации для электросетей и электроустановок, герметичные силовые и слаботочные соединители, светотехнические устройства судовые;

- обладает высококвалифицированным персоналом и оснащено современной компьютерной техникой, оборудованием, испытательными стендами, приборами по самой передовой технологии» [15].

На предприятии планируется введение в эксплуатации нового производственного участка с группой цехов для расширения производства.

## 1.2 Исходные данные на проектирование

Генплан производственного участка (ПУ) – на рисунке 1.

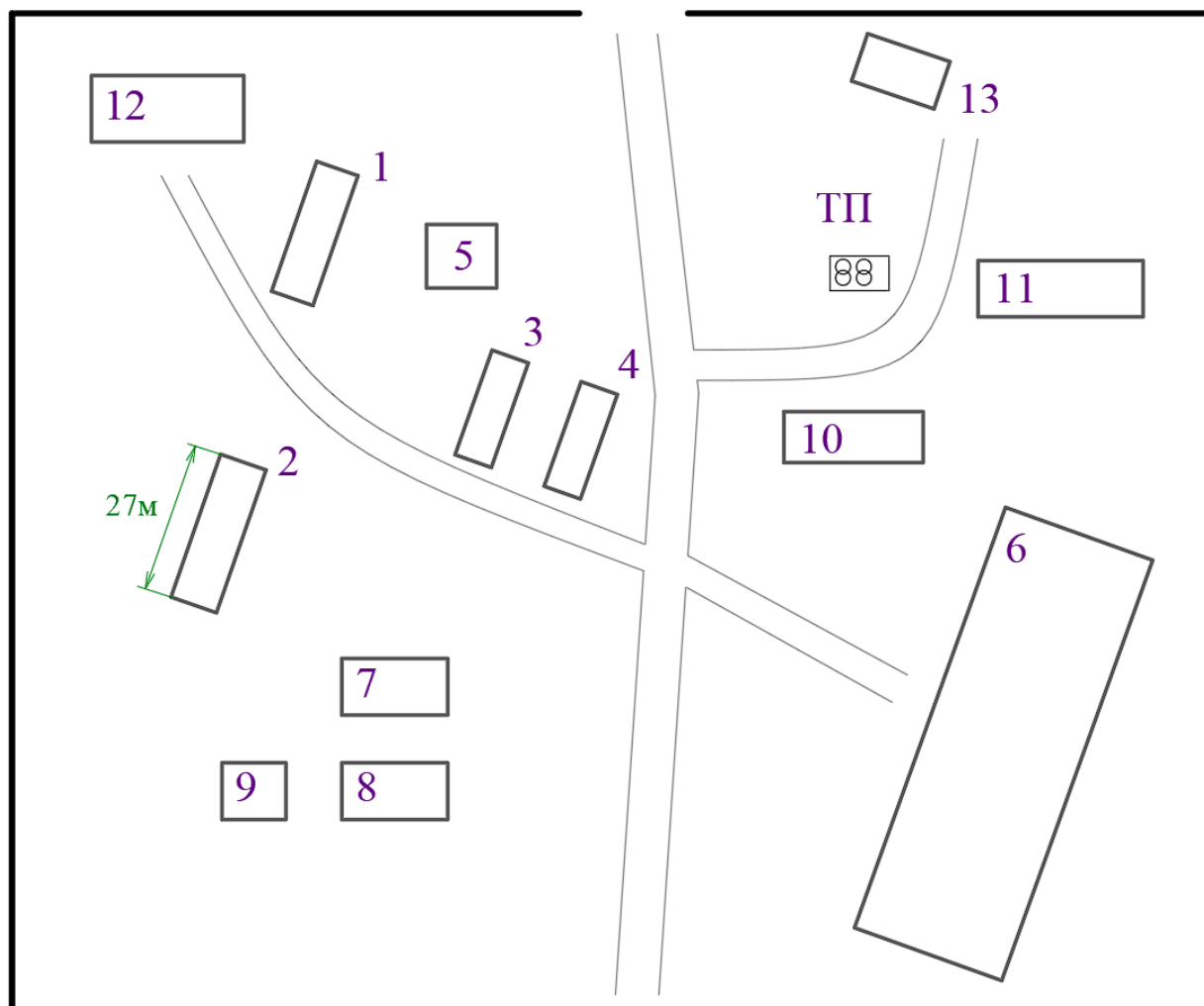


Рисунок 1 – Генплан производственного участка

На территории ПУ расположено 13 зданий, питание которых необходимо выполнить от ТП 10/0,4 кВ (требуемое местоположение с учетом инфраструктуры и производственного процесса указано на генплане).

Характеристики зданий как электроприемников (ЭП) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики зданий как электроприемников

Вид здания	Рном, кВт	Категория надежности	Кс	cosφ
Цех электрических машин	211,9	2	0,79	0,87
Цех волоконно-оптического оборудования	79,1	2	0,84	0,92
Склад №1	17,1	3	0,4	0,90
Склад №2	17,1	3	0,4	0,90
Цех электроаппаратов	57,6	2	0,89	0,88
Цех ремонта электрооборудования силовых установок	73,1	2	0,67	0,87
Цех радиоаппаратуры	54,9	2	0,66	0,85
Цех электроники	66,5	2	0,54	0,86
Насосная	64,9	1	0,7	0,86
Компрессорная	110,1	1	0,6	0,85
Гараж	43,2	3	0,3	0,93
Администрация	39,1	3	0,5	0,80
Склад №3	36,2	3	0,4	0,90

«Электроснабжение ПУ будет выполнено по двум вводам КЛ 10 кВ от подстанции ГПП предприятия, расположенной на расстоянии 0,402 км» [15].

Категорийность электроснабжения и производственная среда зданий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Категорийность электроснабжения и производственная среда зданий

Здания	Категория надежности	Произв. среда
Цех электрических машин	2	Нормальная
Цех волоконно-оптического оборудования	2	Нормальная
Склад №1	3	Пыльная
Склад №2	3	Пыльная
Цех электроаппаратов	2	Нормальная
Цех ремонта электрооборудования силовых установок	2	Нормальная
Цех радиоаппаратуры	2	Нормальная
Цех электроники	2	Нормальная
Насосная	1	Влажная
Компрессорная	1	Влажная
Гараж	3	Пыльная, пожароопасная
Администрация	3	Нормальная
Склад №3	3	Пыльная

Выводы по разделу 1.

Приведена характеристика предприятия. Приведены исходные данные для разработки системы электроснабжения (СЭС). Составлен генеральный план производственного участка, приведены характеристики зданий как электроприемников.



## 2 Разработка системы электроснабжения цехов

### 2.1 Определение электрических нагрузок

«Для расчета актуальных электрических нагрузок цехов используется метод коэффициента спроса активной мощности нагрузок.

Формула для расчета среднесменных активных мощностей по цехам:

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

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

$P_{ном}$  – номинальная активная мощность электроприемников данного цеха, кВт» [6].

Среднесменные реактивные и полные мощности:

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

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

Пример расчета нагрузок (цех №1), по (1, 2, 3):

$$P_c = 0,79 \cdot 211,9 = 167,401 \text{ кВт}$$

$$Q_c = 167,401 \cdot 0,567 = 94,871 \text{ квар}$$

$$S_c = \sqrt{167,401^2 + 94,871^2} = 192,415 \text{ кВА}$$

Расчет нагрузок цехов – в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет нагрузок цехов

Вид здания	P <sub>ном</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	cosφ	tgφ	Ср. мощности		
					P <sub>с</sub> , кВт	Q <sub>с</sub> , квар	S <sub>с</sub> , кВА
Цех электрических машин	211,9	0,79	0,87	0,567	167,401	94,871	192,415
Цех волоконно-оптического оборудования	79,1	0,84	0,92	0,426	66,444	28,305	72,222
Склад №1	17,1	0,4	0,90	0,484	6,840	3,313	7,600
Склад №2	17,1	0,4	0,90	0,484	6,840	3,313	7,600
Цех электроаппаратов	57,6	0,89	0,88	0,540	51,264	27,67	58,25
Цех ремонта электрооборудования силовых установок	73,1	0,67	0,87	0,567	48,977	27,76	56,30
Цех радиоаппаратуры	54,9	0,66	0,85	0,620	36,234	22,46	42,63
Цех электроники	66,5	0,54	0,86	0,593	35,91	21,31	41,76
Насосная	64,9	0,7	0,86	0,593	45,43	26,96	52,83
Компрессорная	110,1	0,6	0,85	0,620	66,060	40,94	77,72
Гараж	43,2	0,3	0,93	0,395	12,96	5,12	13,94
Администрация	39,1	0,5	0,80	0,750	19,55	14,66	24,44
Склад №3	36,2	0,4	0,90	0,484	14,48	7,01	16,09
Итого	870,8	0,664	0,87	0,560	578,390	323,685	662,802

«Освещение территории будет обеспечиваться автоматическими автономными светодиодными светильниками с солнечными панелями и аккумуляторными батареями, поэтому нагрузка освещения территории не учитывается» [15].

## 2.2 Компенсация реактивной мощности

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

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

где  $\alpha$  – коэффициент учитывающий повышение  $\cos \varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$P_p$  – активная расчетная мощность нагрузки, кВт;

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

$tg\varphi_k$  – нормативный тангенс угла  $\varphi$  после компенсации (соответствует нормативному значению  $\cos \varphi = 0,95$ )» [8].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 578,39 \cdot (0,56 - 0,33) = 119,53 \text{ квар.}$$

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

Расчет КРМ показан в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет КРМ

Показатели	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
$\Sigma$ на НН	0,873	0,560	578,390	323,685	662,802
КУ, квар	-	-	-	120	-
$\Sigma$ на НН с КУ	0,943	0,352	578,390	203,685	613,207
Потери	-	-	12,264	61,321	-
$\Sigma$ на ВН с КУ	-	-	590,654	265,006	647,380

Приближенные потери мощности в трансформаторах:

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

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 613,207 = 12,264 \text{ кВт};$$

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

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 613,207 = 61,321 \text{ квар.}$$

Итого мощность с учетом потерь в ТП, по (3):

$$S'_p = \sqrt{(578,39 + 12,264)^2 + (203,685 + 61,321)^2} = 647,38 \text{ кВА.}$$

### 2.3 Выбор силовых трансформаторов и типа ТП

«Если в состав нагрузок ТП входят потребители 1 и/или 2 категорий надежности электроснабжения, устанавливается два силовых трансформатора» [12].

«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 для двухтрансформаторной ТП, согласно ГОСТ 14209-85,  $K_{з.н.} = 0,7$ ;

$S_{р.к.}$  – расчетная мощность потребителей с учетом КРМ, кВА» [7].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 613,207 = 429,24 \text{ кВА.}$$

Выбираются трансформаторы ТМГ12-630.

«Проводится проверка по коэффициенту загрузки в аварийном режиме:

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

где  $S_m$  – номинальная мощность силового трансформатора, кВА» [7].

$$K_{з.ав.} = \frac{613,207}{630} = 0,973 \leq 1,4.$$

Выбирается ТП марки 2КТПН-630/10/0,4.

«Комплектные трансформаторные подстанции 2КТПН-10/0,4 с коридорами обслуживания, мощностью 100-2500 кВА предназначены для приема электрической энергии трехфазного переменного тока частоты 50 Гц напряжением 6 или 10 кВ, преобразования в электрическую энергию 0,4 кВ и снабжения ею потребителей. Подстанции с коридорами обслуживания предназначены для энергоснабжения промышленных объектов, жилых комплексов, общественных зданий, населенных пунктов, сельскохозяйственных предприятий, стройплощадок, кустов скважин газовых и нефтяных месторождений. Подстанция КТПН имеет двери с каждой обслуживаемой стороны. Все двери подстанции снабжены внутренними реечными замками и петлями под навесной замок. Для вентиляции и охлаждения блоков трансформаторов в дверях имеются жалюзи, исключающие попадание осадков в корпус подстанции.

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 - 0,5; контрольный кабель КВВГнг-LS-5x2,5 мм<sup>2</sup>;
- 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 питающей линии 10 кВ

«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» [17].

$$I_p = \frac{647,38}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 18,688 \text{ A.}$$

«Экономическое сечение жилы кабеля:

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

где  $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [14].

$$F_{\text{эк}} = \frac{18,688}{1,4} = 13,349 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АПвП-3х16 мм<sup>2</sup>.

Ток аварийного режима, по (9):

$$I_{ав} = \frac{647,38}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 37,376 \text{ А.}$$

«Допустимый ток кабеля с учетом условий прокладки:

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

где  $I_{дон}$  – паспортный допустимый ток кабеля, А;

$K_{нов}$ ,  $K_{ср}$ ,  $K_{пон}$  – коэффициенты, учитывающие недогруженность КЛ, среду и групповую прокладку» [17].

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

«Потери напряжения в КЛ:

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

где  $I_p$  – максимальный расчетный ток КЛ, А;

$L$  – длина КЛ, км;

$r_0$ ,  $x_0$  – удельные сопротивления кабеля, Ом/км» [19].

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot 35,736 \cdot 0,805 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,915 + 0,102 \cdot 0,404) = 0,23 \% < 5 \%$$

Схема прокладки КЛ 10 кВ показана на рисунке 2.

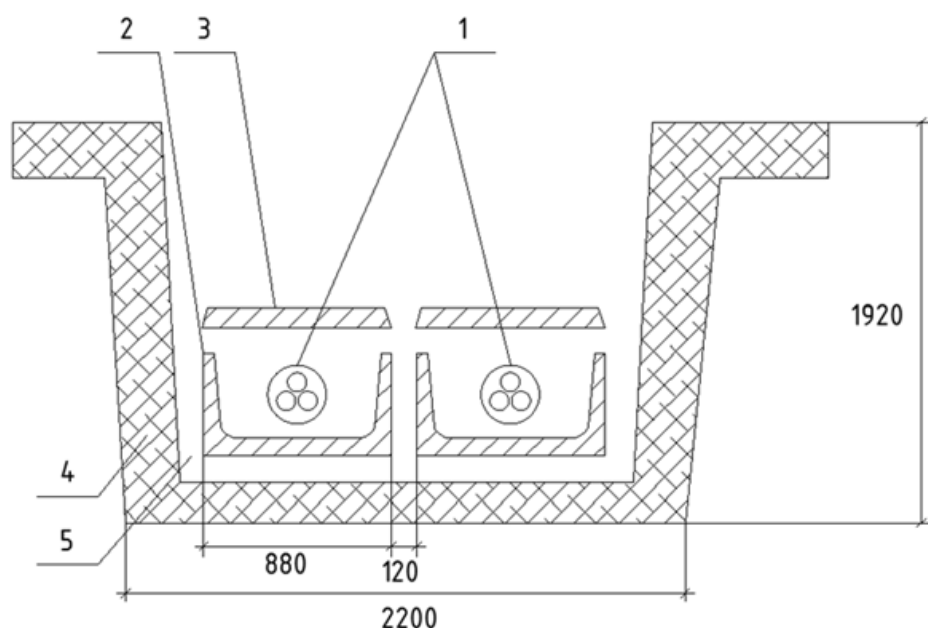


Рисунок 2 – Схема прокладки КЛ 10 кВ

На рисунке 2 обозначены: 1 – кабель, 2 – лоток, 3 – плита ж/б, 4 – песок/гравий, 5 – песок.

## 2.5 Расчет распределительной сети

«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 АПвБбШп. Кабели прокладываются в траншеях под землей» [15]. План прокладки КЛ – в Приложении А.

Расчет для КЛ до цеха №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» [16].

$$I_p = \frac{243,563}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 370,07 \text{ A}$$

Выбирается кабель АПвзБбШп-4х185+1х95, допустимый 380 А [20].

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь» [21]. Потери напряжения в КЛ, по формуле (12):

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot 370,07 \cdot 52,24 \cdot 100}{0,38} (0,00016 \cdot 0,87 + 0 \cdot 0,315) = 1,226 \% < 5 \%$$

Выбор кабелей – в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор кабелей

Участок	$I_p$ , А	АПвзБбШп, сечение	$I_{доп}$ , А	$\Delta U$ , %
1	370,07	4х185+1х95	380	1,226
2	130,63	4х35+1х25	155	1,267
3	28,87	5х4	34	1,306
4	28,87	5х4	34	1,007
5	99,45	4х25+1х16	125	0,582
6	127,66	4х35+1х25	155	0,488
7	98,13	4х25+1х16	125	0,863
8	117,49	4х25+1х16	125	1,251
9	114,66	4х25+1х16	125	1,504
10	196,81	4х70+1х35	220	0,133
11	70,58	5х16	90	0,203
12	74,26	5х16	90	1,222
13	61,11	5х10	70	0,396

Кабели удовлетворяют условиям выбора.

## 2.6 Расчет токов КЗ

Расчет токов КЗ на вводе 10 кВ ТП.

Схемы для расчета – на рисунке 3.

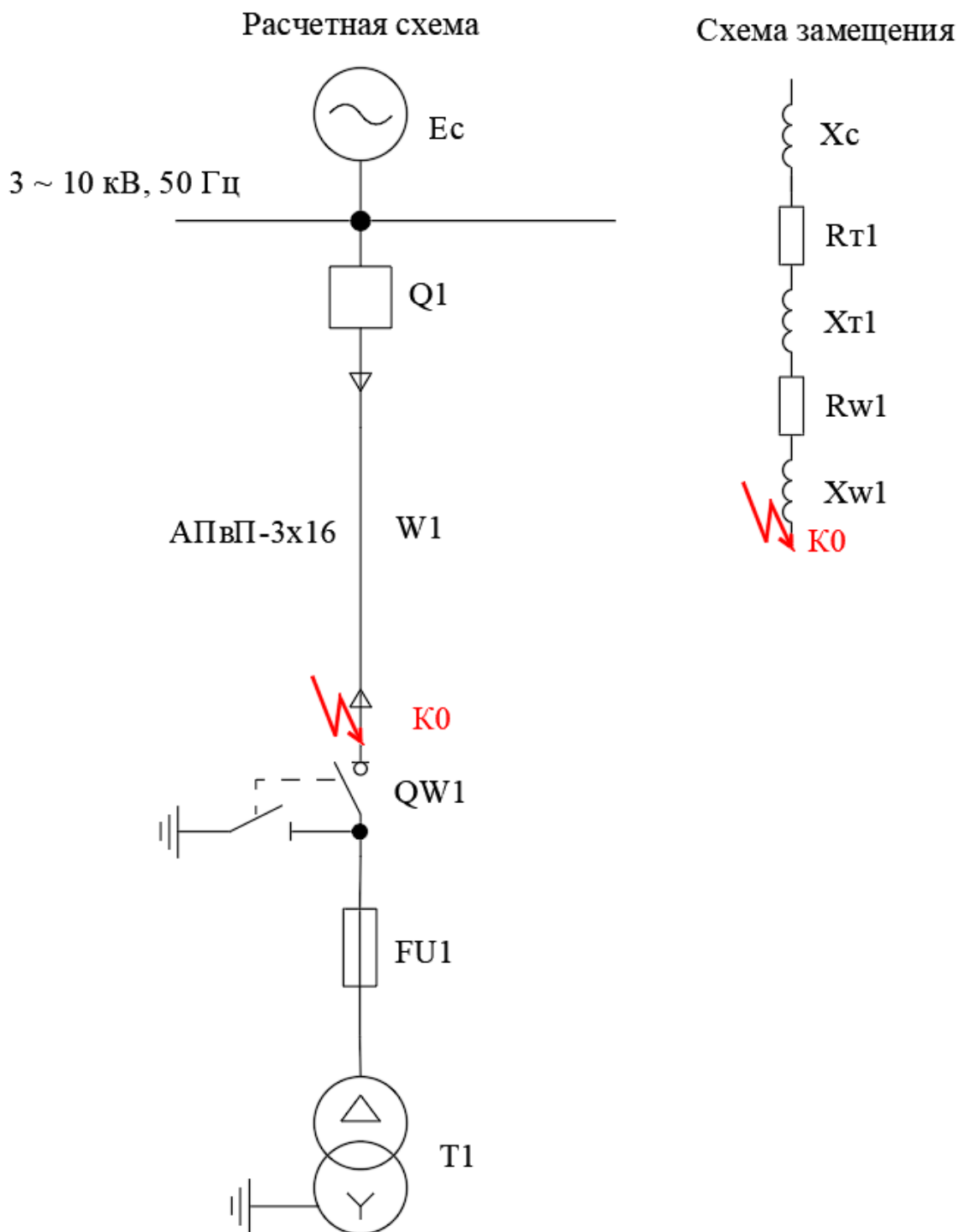


Рисунок 3 – Схемы для расчета токов КЗ

«Значение трехфазного тока КЗ в начале КЛ 10 кВ (выключатель 10 кВ ГПП), согласно данным по предприятию:  $I_{к.з.ГПП}^{(3)} = 9,387$  кА» [15].

«Сопротивление системы определяется по формуле:

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

где  $U_k$  – напряжение КЗ, кВ» [19].

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

«Сопротивления КЛ 10 кВ:

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

где  $L_{w1}$  – длина КЛ, км» [19].

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

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

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

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» [19].

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

«Ударный ток КЗ:

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

где  $K_y$  – ударный коэффициент» [19].

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

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.

Расчет токов КЗ рассмотрим на примере КЗ на вводе РП цеха №1.

Расчетные схемы – на рисунке 4.

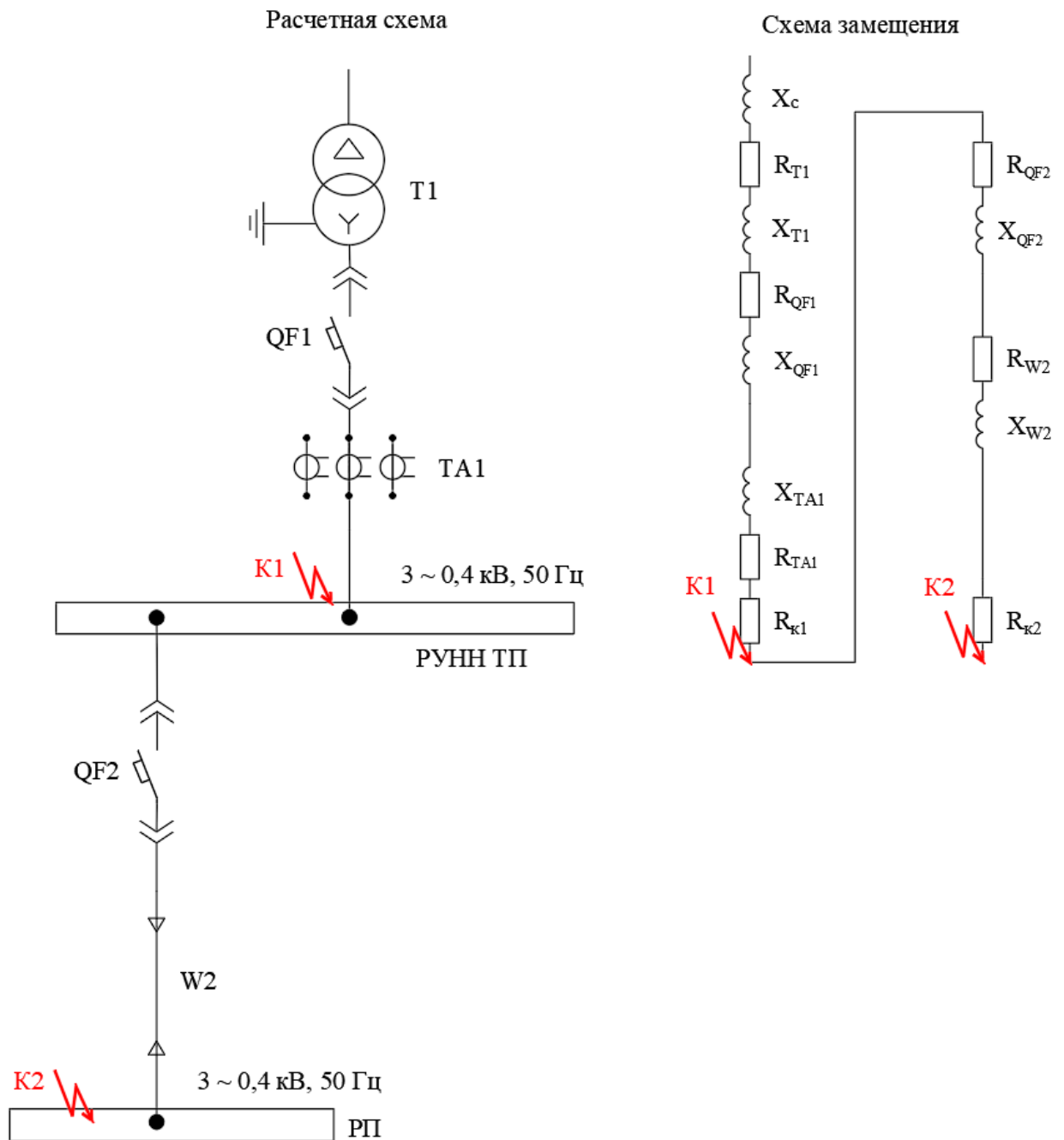


Рисунок 4 – Расчетная схема и схема замещения

«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»  
[19].

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

Сопротивление системы приводится к стороне 0,4 кВ:

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

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

Сопротивления трансформатора ТП и автоматов принимаются согласно справочным данным [20].

«Сопротивления линии W2:

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

где  $L_{кЛ1}$  – длина КЛ, м» [19].

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

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

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

«Переходные сопротивления:  $R_{к1} = 0,0034 \text{ мОм; } R_{к2} = 0,85 \text{ мОм}$ » [19].

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

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

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

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

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

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

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

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

Сопротивления до точек КЗ:

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

$$R_{\kappa 1} = 9,58 \text{ мОм};$$

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

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

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

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

$$R_{\kappa 2} = 24,58 + 4,096 = 28,676 \text{ мОм};$$

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

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

$$Z_{\kappa 2} = \sqrt{28,676^2 + 68,249^2} = 74,106 \text{ мОм};$$

«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» [19].

Трехфазный ток КЗ в точке К1:

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

Ударный ток КЗ в точке К1:

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

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

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:

$$R_{\pi 1} = R_{к1}, \quad (37)$$

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

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

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

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

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

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



$$X_{п2} = 4,52 + 2 \cdot 39,539 = 83,697 \text{ мОм};$$

$$Z_{п2} = \sqrt{7,12^2 + 83,697^2} = 83,999 \text{ мОм};$$

«Однофазный ток КЗ в точке К1:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot (Z_{п} + \frac{Z_{т}^{(1)}}{3})}, \quad (41)$$

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

$Z_{т}^{(1)}$  – сопротивление трансформатора, мОм» [19].

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (79,18 + \frac{312}{3})} = 2,37 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов токов КЗ приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Токи КЗ на вводе РУНН ТП и РП цеха №1

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

Расчет токов КЗ на вводах РП цехов – в таблице 7.

Таблица 7 – Токи КЗ в сети 0,4 кВ

№ цеха	$I_{к^{(3)}}$ , кА	$i_y$ , кА	$I_{к^{(1)}}$ , кА
1	4,48	8,23	2,12

Продолжение таблицы 7

№ цеха	$I_{к^{(3)}}$ , кА	$i_y$ , кА	$I_{к^{(1)}}$ , кА
2	2,69	4,96	1,68
3	0,90	1,65	0,77
4	1,11	2,04	0,91
5	3,08	5,67	1,81
6	3,92	7,20	2,06
7	3,35	6,17	1,90
8	3,18	5,84	1,84
9	2,96	5,45	1,77
10	4,25	7,81	2,14
11	3,68	6,77	1,99
12	1,89	3,48	1,34
13	3,95	7,26	1,77

Проверка термической стойкости КЛ.

«Термически стойкое к токам КЗ сечение жил кабелей:

$$F_T = I_{кЗ}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{II}} / K_T, \quad (42)$$

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

$t_{II}$  – приведенное время КЗ (время срабатывания релейной защиты для КЛ 10 кВ и автоматических выключателей для КЛ 0,4 кВ), с;

$K_T$  – температурный коэффициент. Для кабеля с алюминиевыми жилами  $K_T = 95$ » [2].

Для КЛ до цеха №1, по (42):

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

Кабель АПвзББШп-4х185+1х95 мм<sup>2</sup> термически устойчив.

Проверка КЛ – в таблице 8.

Таблица 8 – Проверка термической стойкости КЛ

Участок	АПвзББШп, сечение	$I_k^{(3)}$ , кА	Стер, мм <sup>2</sup>	t, с
1	4х185+1х95	4,48	8,17	0,03
2	4х35+1х25	2,69	4,90	0,03
3	5х4	0,9	1,64	0,03
4	5х4	1,11	2,02	0,03
5	4х25+1х16	3,08	5,62	0,03
6	4х35+1х25	3,92	7,15	0,03
7	4х25+1х16	3,35	6,11	0,03
8	4х25+1х16	3,18	5,80	0,03
9	4х25+1х16	2,96	5,40	0,03
10	4х70+1х35	4,25	7,75	0,03
11	5х16	3,68	6,71	0,03
12	5х16	1,89	3,45	0,03
13	5х10	3,95	7,20	0,03
КЛ 10 кВ	АПВП-3х16	5,83	13,72	0,05

КЛ термически устойчивы.

## 2.7 Выбор автоматических выключателей

«Выбор автоматических выключателей (АВ) для защиты КЛ 0,4 кВ производится по условиям:

- по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (43)$$

- по току теплового расцепителя (ТР):

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

Пример выбора АВ для защиты КЛ к цеху №1, по (44):

$$I_{m.p.} > 1,1 \cdot 370,067 = 407,1 \text{ A.}$$

Выбирается ВА-52-39/500, уставка ТР 450 А. Выбор АВ сведен в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор автоматических выключателей

№ цеха	$1,1 \cdot I_p, \text{A}$	Авт. выкл.	$I_{ном}, \text{A}$
1	407,1	ВА-52-39	500
2	143,7	ВА-52-39	160
3	31,8	ВА-47-29	32
4	31,8	ВА-47-29	32
5	109,4	ВА-52-39	160
6	140,4	ВА-52-39	160
7	107,9	ВА-52-39	160
8	129,2	ВА-52-39	160
9	126,1	ВА-52-39	160
10	216,5	ВА-52-39	250
11	77,6	ВА-47-100	80
12	81,7	ВА-47-100	100
13	67,2	ВА-47-100	80

АВ соответствуют условиям выбора.

## 2.8 Релейная защита и автоматика

Для защиты КЛ 10 кВ используются терминалы Сириус-2Л-02, схема – в Приложении Б.

Внешний вид терминала – на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид Сириус-2Л-02

«Токовая отсечка (ТО):

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

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки, равен 5,0 для МУ РЗА» [1].

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

«МТЗ:

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

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

Чувствительность защиты» [1]:

$$k_u = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}} , \quad (48)$$

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 37,376 = 51,887 \text{ А}$$

$$k_u = \frac{5050}{51,887} = 97,4 \geq 1,5$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T} , \quad (47)$$

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

$n_T$  – коэффициент трансформации ТТ» [1].

$$I_{CP} = 51,887 \cdot \frac{1}{50/5} = 5,189 \text{ А}$$

«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, равен 1,2 для МУ РЗА;

$k_B$  – коэффициент броска ёмкостного тока, равен 2,5 для МУ РЗА;

$I_C$  – 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» [1].

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

$$I_{C.3.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,221 = 0,663 \text{ А}$$

Автоматический ввод резерва (АВР) 0,4 кВ.

«АВР предназначен для автоматического переключения питания ответственных потребителей на резервный источник при пропадании либо несоответствии норм показателей качества питания с основного источника. Упрощенная схема АВР 0,4 кВ – на рисунке 6» [1].

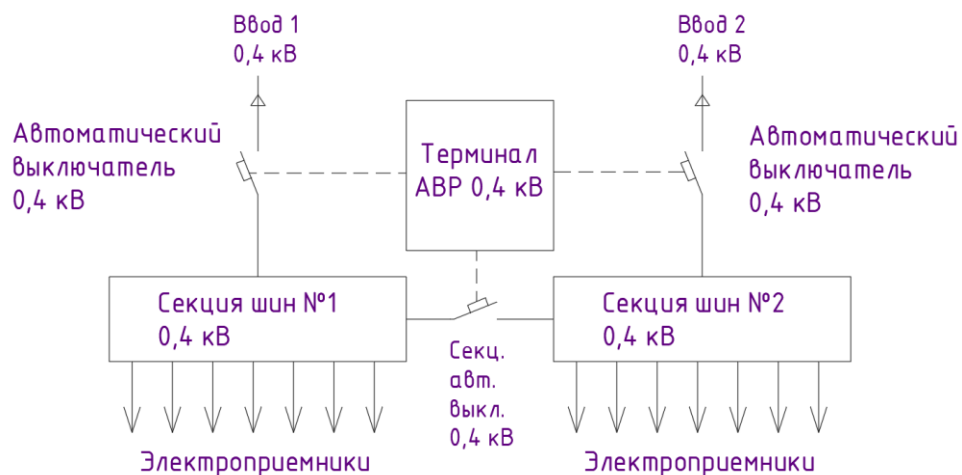


Рисунок 6 – Схема АВР 0,4 кВ

Внешний вид Сириус-АВР – на рисунке 7.

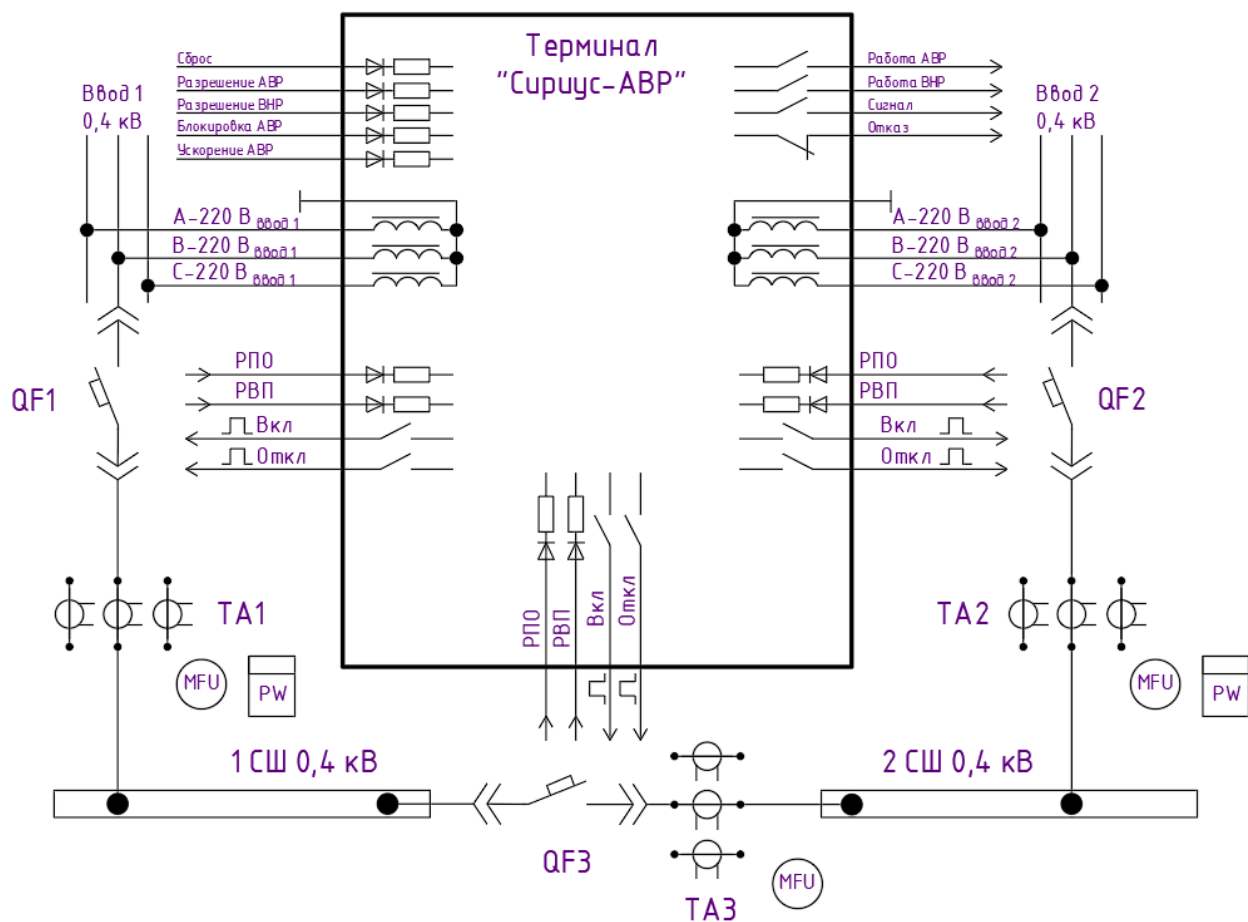


Рисунок 7 – Внешний вид Сириус-АВР

«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. В нормальном режиме работы питание подается на оба ввода 0,4 кВ, секционный выключатель отключен. 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)» [18].

Схема АВР 0,4 кВ – на рисунке 8.





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

Рисунок 8 – 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» [1].

$$U_{C.P0,4} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

«Напряжение срабатывания максимального реле напряжения, контролирующего наличие напряжения на другой секции, выбирается по условию» [1]:

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

«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;  
 $\Delta t$  – ступень селективности, с» [1].

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

Выводы по разделу 2.

Разработана СЭС цехов. Определены электрические нагрузки, выбрано электрооборудование СЭС. Для обеспечения функций РЗА выбраны современные микропроцессорные терминалы, рассчитаны уставки РЗА.

## 3 Охрана труда, обеспечение безопасности

### 3.1 Обеспечение охраны труда

«В целом охрана труда (ОТ) и техника безопасности (ТБ) при монтаже, эксплуатации, обслуживании, ремонте системы электроснабжения обеспечиваются согласно действующему ГОСТ 12.0.004-2015» [5].

«Для обеспечения безопасности технологического процесса в первую очередь необходимо проводить инструктажи и проверки по работе с оборудованием и использованию СИЗ. На всех производственных участках предусмотрена установка плакатов по ТБ, ОТ и СИЗ, пример плаката приведен на рисунке 9» [11].



Рисунок 9 – Плакат по использованию СИЗ

«Обеспечение ОТ на предприятии осуществляется организационными и техническими мероприятиями. В целом за организацию и обеспечение охраны труда отвечает специальная служба охраны труда (СОТ), являющаяся самостоятельным структурным подразделением предприятия. Персонал СОТ включает штат специалистов по ОТ во главе с руководителем службы» [10].

### 3.2 Заземление и молниезащита ТП

«Максимально допустимое сопротивление со стороны 0,4 кВ  $R_3=4$  Ом» [12]. «Удельное сопротивление грунта  $\rho_p$  для вертикальных и горизонтальных электродов с учетом коэффициента сезонности определяется по формуле:

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

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта (известняк), 2000 Ом · м;  
 $K_c$  – коэффициент сезонности» [12].

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

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

«Используем контурное заземление. Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50x50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50x5 мм» [11],

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

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

где  $l$  – длина ВЭ, м;

$d$  – диаметр (для угловой стали приведенный диаметр) вертикального электрода, м;

$t$  – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

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

где  $b$  – ширина уголка, мм» [11].

Для одного ВЭ, по (55,56):

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

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м},$$

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

«Расчетное число вертикальных электродов определяется по формуле:

$$n' = R_{\text{овэ}} / R_n, \quad (57)$$

где  $R_n = 4$  Ом – максимально допустимое сопротивление заземления, Ом» [12].

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

«Длина горизонтальной полосы определяется по формуле:

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

где  $a$  – расстояние между ВЭ, м.

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

где  $l_{\text{пер}}$  – периметр здания ТП, м» [11].

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (9,97 + 7,62) = 35,18 \text{ м},$$

$$a = 35,18 / 16 = 2,2 \text{ м},$$

$$l_z = 1,05 \cdot 2,2 \cdot 16 = 36,96 \text{ м}.$$

«Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя  $R_{23}$  (Ом) определяется по формуле:

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{пз}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{d \cdot t} \right), \quad (60)$$

где  $l$  – длина горизонтального электрода, м;

$d$  – диаметр (для полосы расчетный диаметр) электрода, м;

$t$  – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

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

где  $b$  – ширина полосы, м» [11].

Для ГЭ, по формулам 60 и 61:

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

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

$$R_{\text{э}} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 36,96} \cdot \ln \left( \frac{36,96^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,757 \text{ Ом}.$$

«Эквивалентное сопротивление группового заземлителя:

$$R_{\text{зп}} = \frac{R_{\text{обэ}} \cdot R_{\text{э}}}{R_{\text{обэ}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n + R_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{г}}}, \quad (62)$$

где  $\eta_{\text{в}}$  – коэффициент использования вертикальных электродов;

$\eta_{\text{г}}$  – коэффициент использования горизонтальных электродов» [11].

$$R_{\text{зп}} = \frac{60,962 \cdot 2,757}{60,962 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,757 \cdot 0,3} = 3,792 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

Схема заземления ТП – на рисунке 10.

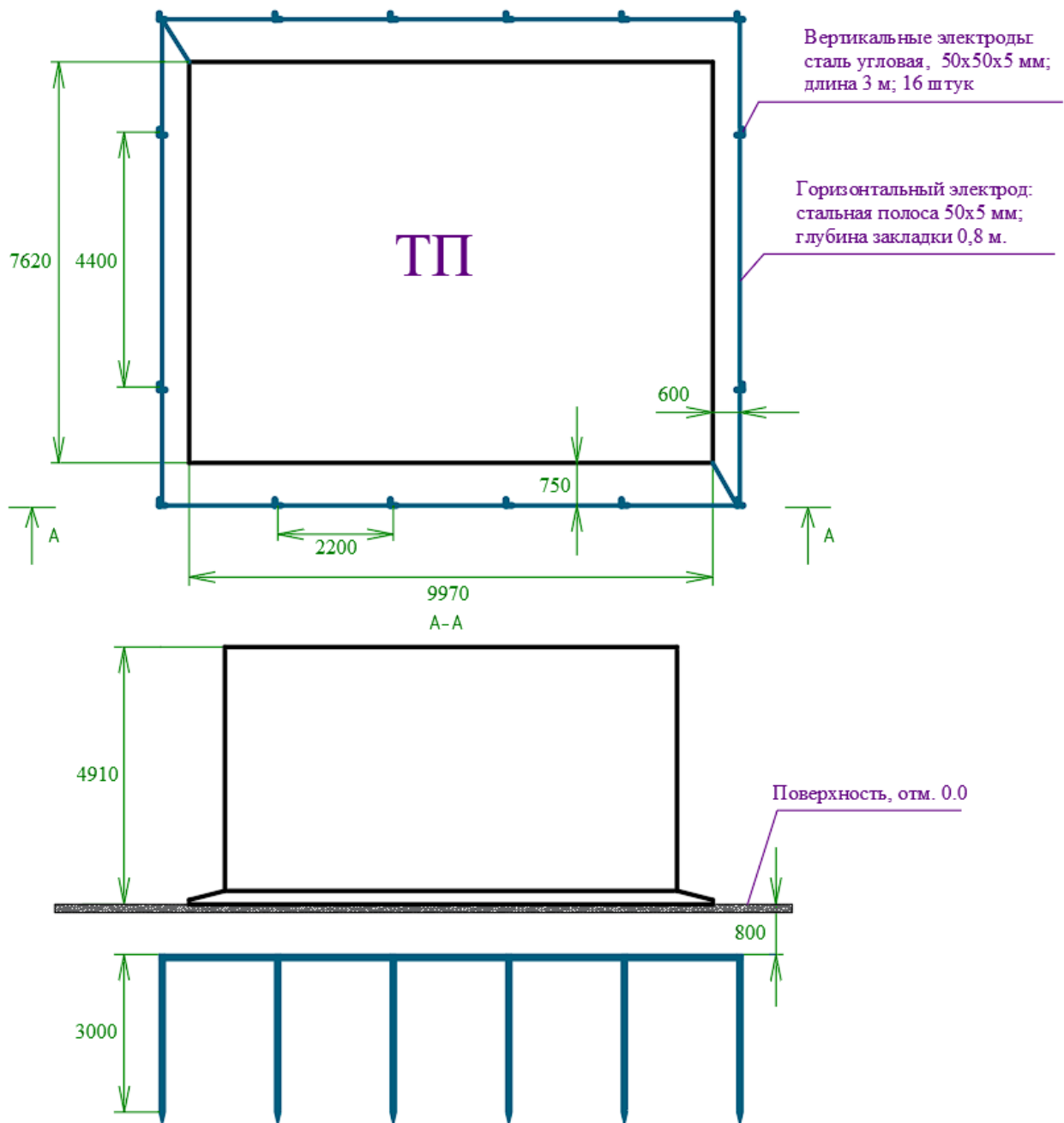


Рисунок 10 – Схема заземления ТП

Молниезащита ТП.

«Используемая КТПН в металлическом корпусе не требует дополнительных мер по молниезащите ввиду полностью металлического корпуса, соединенного с контуром заземления» [21].

### 3.3 Охрана окружающей среды

ГОСТ Р 54906-2012 «устанавливает нормы выбора оборудования и технических решений с условиями причинения наименьшего ущерба окружающей среде» [21].

«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 АПвзББШп 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 антикоррозионные свойства, не требуют обслуживания и замены масла» [21].

«Монтаж системы электроснабжения выполняется с помощью современных инструментов и оборудования, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду: при приготовлении траншей под кабельные линии до ТП и РП используется микроэкскаватор; при нагреве термоусадки применяется экологичная газовая горелка; применяется пылеотсос при штроблении стен и т.д.» [11].

Надлежащий уровень экологической безопасности обеспечивается проектированием СЭС согласно актуальным нормативным документам.

Выводы по разделу 3.

Рассмотрена охрана труда и безопасность. Спроектировано заземляющее устройство ТП согласно требованиям ПУЭ. Рассмотрено обеспечение охраны окружающей среды.



## Заключение

Проведена разработка СЭС производственных цехов АО «СПО Арктика» г. Северодвинск. Выполнены задачи:

- определены электрические нагрузки;
- рассмотрена компенсация реактивной мощности, выбраны компенсирующие устройства;
- выбраны силовые трансформаторы и тип ТП 10/0,4 кВ;
- рассчитана питающая линия 10 кВ до ТП 10/0,4 кВ, выбраны кабели и проверены по допустимому току, проверена линия по потерям напряжения;
- рассчитана распределительная сеть 0,4 кВ от ТП 10/0,4 кВ до производственных цехов, выбраны кабели и проверены по допустимому току, проверены линии по потерям напряжения;
- рассчитаны токи КЗ, проверены кабели на термическую стойкость;
- выбраны автоматические выключатели для обеспечения защиты линий распределительной сети;
- для обеспечения функций РЗА выбраны современные микропроцессорные терминалы, рассчитаны уставки РЗА;
- рассмотрены охрана труда и безопасность. Спроектировано заземляющее устройство ТП согласно требованиям ПУЭ. Рассмотрено обеспечение охраны окружающей среды.

Предлагаемая СЭС обеспечит надежное электроснабжение и безопасную эксплуатацию оборудования. Новое современное оборудование обеспечит надежную работу СЭС, ее безопасную эксплуатацию, исключит перерывы электроснабжения технологического производственного оборудования и сопутствующий экономический ущерб. Результаты работы также можно использовать при вводе в эксплуатацию новых подобных производственных участков, которые планируется к постройке при дальнейшем расширении предприятия.

## Список используемых источников

1. Андреев М.В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие. Томск: ТПУ, 2018. 167 с.
2. Анчарова Т. В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. 415 с.
3. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя : учебник. М.: 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. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. М.: МЭИ, 2018. 412 с.
7. Кудрин Б. И. Электроснабжение. учебник. М.: Academia, 2019. 352 с.
8. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. М.: Додэка XXI, 2018. 336 с.
9. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения. Учебное пособие. М.: Государственное энергетическое издательство, 2018. 176 с.
10. Охрана труда в энергетике: Учебник для техникумов / под ред. Князевского Б.А. М.: Энергопромиздат, 2020. 376 с.
11. Полуянович Н. К. Монтаж и наладка систем электроснабжения. Учебное пособие для СПО. М.: Лань, 2020. 400 с.
12. Правила устройства электроустановок. Издание 7. М.: Энергия, 2022. 648 с.
13. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания. М.: Энергия, 2022. 69 с.

14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие. М.: Форум, 2022. 367 с. [Электронный ресурс]. – <https://znanium.com/> (дата обращения: 16.03.2022).
15. Техническая документация. Электроснабжение цехов АО «СПО Арктика» г. Северодвинск: - Северодвинск, 2022. 205 с.
16. Фролов Ю. М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. Учебное пособие. М.: Лань, 2018. 480 с.
17. Хорольский В. Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения. Учебное пособие. М.: Форум, 2019. 128 с.
18. Хорольский В. Я., Таранов М.А. Эксплуатация систем электроснабжения. Учебное пособие для СПО. М.: Дрофа, 2018. 288 с.
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. 3-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 136 с.
20. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие. М.: Форум, 2022. 495 с. [Электронный ресурс]. – <https://znanium.com/> (дата обращения: 16.03.2022).
21. Школа электрика. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 12.02.2022).

Приложение А  
План прокладки КЛ

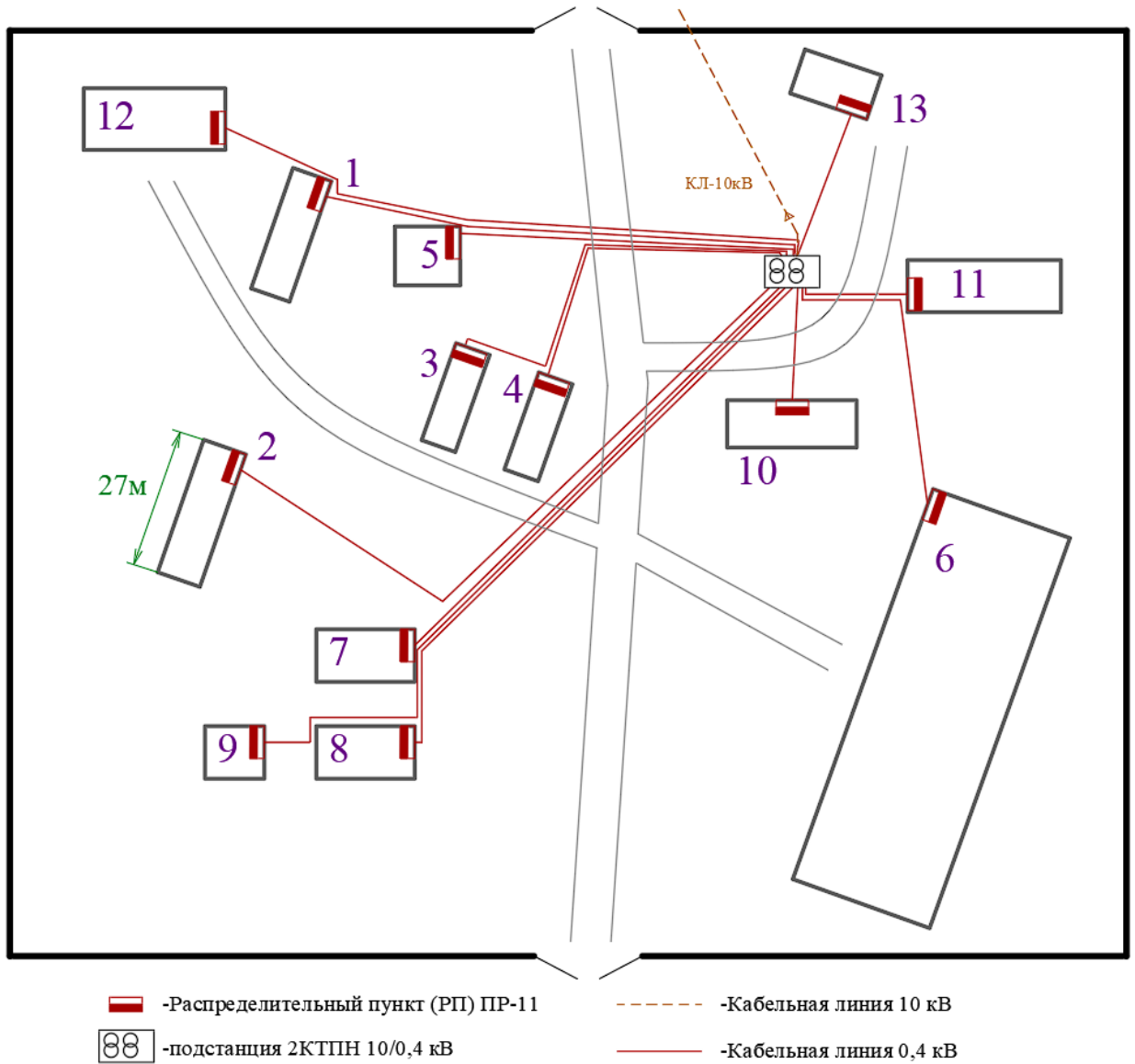


Рисунок А.1 – План прокладки КЛ

# Приложение Б

## Схема релейной защиты КЛ 10 кВ

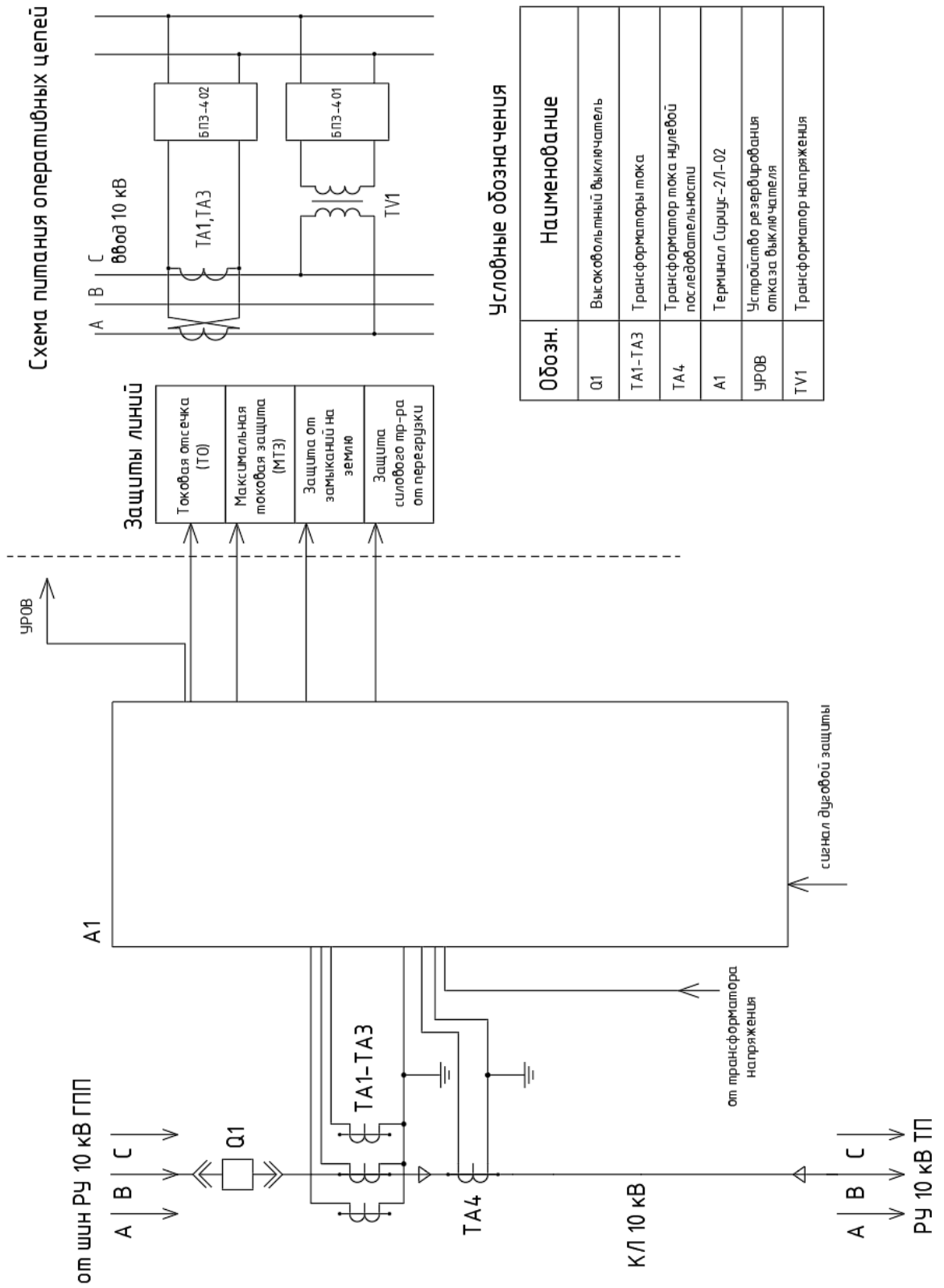


Рисунок Б.1 – Схема релейной защиты КЛ 10 кВ