

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 группы цехов производства запчастей и комплектующих

Обучающийся

Р.Р. Сулейманов

(Инициалы Фамилия)



(личная подпись)

Руководитель

А.Г. Сорокин

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

Тольятти 2023

Аннотация

Выпускная квалифицированная работа состоит из 46 с., 14 рис., 7 табл., 20 источников.

Ключевые слова: цех, производство, электроснабжение, электроприемник, нагрузка, оборудование, энергоэффективность, надежность, безопасность.

В работе выполнена разработка системы электроснабжения (СЭС) группы цехов предприятия.

Объект исследования: группа цехов производства запчастей и комплектующих.

Предмет исследования: электроснабжение цехов.

Цель работы: разработка предложений по обеспечению качественного и надежного электроснабжения потребителей.

Актуальность разработки: в настоящее время, объем предоставляемых предприятием услуг по ремонту гидротехнических узлов, механизмов и систем постоянно увеличивается, ввиду этого планируется постройка дополнительных цехов, для ввода которых в эксплуатацию необходимо разработать систему электроснабжения. Оборудование производственных цехов будет включать значительное количество потребителей электрической энергии: электродвигатели, различные станки, электросварочное оборудование, ремонтные линии, различные гидроагрегаты и т.д. Очевидно, что без качественного и надежного электроснабжения, ввод в работу и дальнейшая эксплуатация цехов будут невозможны, потому актуальность разработки СЭС является обоснованной и важной.

Содержание работы включает вопросы: характеристика предприятия и цехов, электроснабжение цехов, охрана труда и экологичность.

Annotation

The final qualified work consists of 46 pages, 14 figures, 7 tables, 20 sources.

Key words: workshop, production, power supply, power receiver, load, equipment, energy efficiency, reliability, safety.

In the work, the development of a power supply system (SES) for a group of workshops of an enterprise was carried out.

Object of study: a group of workshops for the production of spare parts and components.

Subject of research: power supply of shops.

Purpose of the work: development of proposals for ensuring high-quality and reliable power supply to consumers.

Relevance of the development: at present, the volume of services provided by the enterprise for the repair of hydraulic units, mechanisms and systems is constantly increasing, in view of this, it is planned to build additional workshops, for the commissioning of which it is necessary to develop a power supply system. The equipment of production shops will include a significant number of consumers of electrical energy: electric motors, various machine tools, electric welding equipment, repair lines, various hydraulic units, etc. It is obvious that without high-quality and reliable power supply, commissioning and further operation of shops will be impossible, therefore the relevance of the development of SES is justified and important.

The content of the work includes questions: characteristics of the enterprise and workshops, power supply of workshops, labor protection and environmental friendliness.

Содержание

Введение	5
1 Характеристика предприятия и группы цехов	7
1.1 Характеристика предприятия	7
1.2 Характеристика группы цехов.....	9
2 Электроснабжение группы цехов.....	11
2.1 Определение нагрузок.....	11
2.2 Выбор компенсирующих устройств.....	13
2.3 Выбор подстанции.....	15
2.4 Расчет внешнего электроснабжения.....	17
2.5 Расчет внутреннего электроснабжения	18
2.6 Токи КЗ	20
2.7 Защита линий.....	29
2.8 АВР 0,4 кВ	34
3 Охрана труда и экологичность	38
3.1 Охрана труда.....	38
3.2 Заземление ТП	39
3.3 Экологичность проекта	43
Заключение	44
Список используемых источников.....	45

Введение

Выполняется разработка системы электроснабжения (СЭС) группы цехов производства запчастей и комплектующих АО «Гидроремонт-ВКК», г. Жигулевск.

Рассматриваемая организация – малое предприятие в г. Жигулевск,

Актуальность разработки: в настоящее время, объем предоставляемых предприятием услуг по ремонту гидротехнических узлов, механизмов и систем постоянно увеличивается, ввиду этого планируется постройка дополнительной группы цехов производства запчастей и комплектующих, для ввода которой в эксплуатацию необходимо разработать систему электроснабжения. Оборудование производственных цехов будет включать значительное количество потребителей электрической энергии: электродвигатели, различные станки, электросварочное оборудование, производственные линии, различные гидроагрегаты и т.д. Очевидно, что без качественного и надежного электроснабжения, ввод в работу и дальнейшая эксплуатация группы цехов будут невозможны, потому актуальность разработки СЭС является обоснованной и важной. Также результаты разработки СЭС могут использоваться при проектировании СЭС различных других промышленных и иных объектов, а также разработке проектов реконструкции и модернизации СЭС.

Объект исследования: группа цехов производства запчастей и комплектующих малого промышленного предприятия.

Предмет исследования: электроснабжение группы цехов АО «Гидроремонт-ВКК».

Цель работы: разработка предложений по электроснабжению группы цехов.

Задачи работы:

- в соответствии с проектно-технической документацией по рассматриваемому ремонтному участку, необходимо определить

ожидаемые электрические нагрузки по отдельным цехам и группы цехов в целом;

- обеспечить достаточную энергоэффективность электроснабжения, предложив соответствующие технические решения (установка автоматических устройств компенсации реактивной мощности, энергоэффективных силовых трансформаторов на понизительной подстанции и т.д.);
- выбрать тип и конкретную марку трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ для электроснабжения производственных участков (цехов и других зданий);
- выбрать марки и сечения жил силовых кабелей для внешнего (от питающей подстанции энергосистемы до ТП предприятия) и внутреннего (от ТП до вводных распределительных пунктов цехов) электроснабжения;
- определить токи КЗ;
- выбрать оборудование защиты питающей высоковольтной линии внешнего электроснабжения (микропроцессорный терминал релейной защиты) и распределительной сети (автоматические выключатели);
- выбрать микропроцессорный терминал для обеспечения автоматического ввода резерва (АВР) питания ответственных потребителей первой категории надежности электроснабжения, для обеспечения их бесперебойного питания;
- рассмотреть охрану труда при монтаже и эксплуатации СЭС, экологичность предлагаемых технических решений по электроснабжению, обеспечение защиты окружающей среды.

1 Характеристика предприятия и группы цехов

1.1 Характеристика предприятия

АО «Гидроремонт-ВКК» – это малое предприятие в г. Жигулевск, основной вид деятельности – ремонт и обслуживание гидротехнических промышленных узлов и механизмов, а также гидротехнических систем объектов гражданской инфраструктуры.

«Дополнительные виды деятельности предприятия:

- ремонт машин и оборудования;
- растениеводство;
- ремонт электрооборудования;
- ремонт судов и лодок;
- монтаж промышленных машин;
- производство электроэнергии;
- распределение электроэнергии;
- сбор и обработка сточных вод;
- сбор отходов;
- обработка отходов;
- строительство зданий;
- строительство водных сооружений;
- строительство гидротехнических сооружений;
- подводные работы;
- строительство инженерных сооружений;
- разборка и снос зданий;
- земляные работы;
- электромонтажные работы;
- санитарно-технические работы;
- монтаж отопительных систем;

- строительно-монтажные работы;
- штукатурные работы;
- работы столярные и плотничные;
- работы по устройству покрытий и облицовке;
- малярные и стекольные работы;
- отделочные и завершающие работы;
- кровельные работы;
- работы строительные специализированные;
- гидроизоляция;
- монтаж стальных конструкций;
- услуги по перевозкам;
- складирование и хранение;
- транспортная обработка грузов» [11].

В настоящее время, объем предоставляемых предприятием услуг по ремонту гидротехнических узлов, механизмов и систем постоянно увеличивается, ввиду этого планируется постройка дополнительной группы цехов, для ввода которых в эксплуатацию необходимо разработать систему электроснабжения (СЭС). Данный цеховой комплекс будет включать несколько производственных цехов и мастерскую (наиболее крупные здания и энергоемкие потребители), несколько вспомогательных производственных участков, склад и хранилище. Также будут иметься гараж и станция технического обслуживания (СТО) автотранспорта.

Качественное электроснабжение цехов и других производственных участков обеспечит надежное питание промышленных и прочих электроприемников, следовательно и производственный процесс рассматриваемого участка группы цехов в целом также будет обеспечен в полном объеме. Предприятие закроет свои потребности в объемах выпуска дополнительных запчастей и комплектующих для увеличения числа выполняемых работ согласно всем выполняемым видам деятельности.

1.2 Характеристика группы цехов

Производственный участок будет представлять собой отдельную огороженную территорию, на которой будут расположены:

- три производственных цеха;
- компрессорная;
- два контрольно-пропускных пункта (КПП);
- СТО;
- гараж;
- мастерская;
- механический цех;
- склад;
- хранилище.

Цеха и производственные участки (ПУ) будут обеспечиваться электроснабжением от ТП 10/0,4 кВ наружной установки, установленной в юго-восточной части участка. Генплан участка – на рисунке 1.

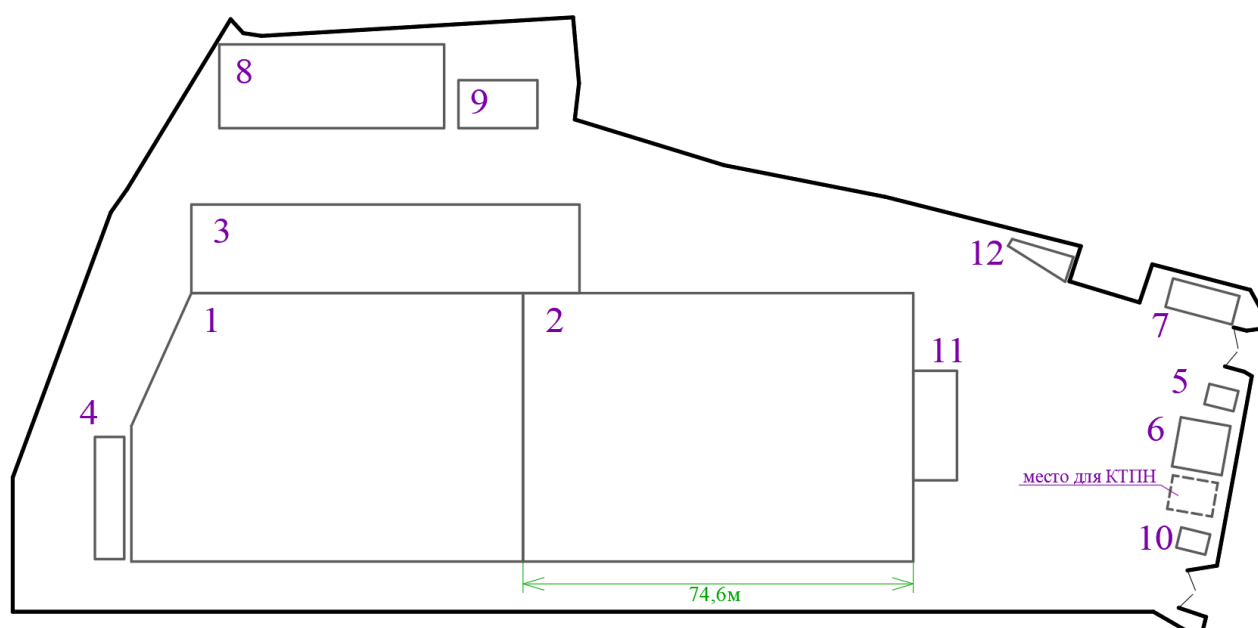


Рисунок 1 – Генплан участка группы цехов

«Характеристики электропотребления по ПУ – в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики электропотребления участков

№	Участки	Рном, кВт	Кс	cosφ
1	Цех №1	207,9	0,82	0,86
2	Цех №2	202,4	0,82	0,86
3	Цех №3	109,5	0,82	0,86
4	Компрессорная	38,7	0,7	0,78
5	КПП №1	7,9	0,25	0,9
6	СТО	69,8	0,25	0,79
7	Гараж	67,4	0,4	0,80
8	Мастерская	120,8	0,4	0,81
9	Механический цех	68,7	0,4	0,84
10	КПП №2	7,9	0,25	0,9
11	Склад	39,1	0,3	0,89
12	Хранилище	19,2	0,3	0,90

Электроснабжение участка будет выполнено по двум вводам КЛ 10 кВ длиной 0,402 км от подстанции ГПП» [11]. Производственные цеха и компрессорная относятся к первой категории надежности электроснабжения (КНЭ), склад и хранилище – к третьей КНЭ. Остальные участки относятся ко второй КНЭ.

Выводы по разделу 1.

Приведена краткая характеристика предприятия и участка группы цехов. Согласно проектно-технической документации систематизированы исходные данные для разработки СЭС группы цехов.

2 Электроснабжение группы цехов

2.1 Определение нагрузок

«Формулы для расчета среднесменных активных, реактивных и полных нагрузок:

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

где K_c – коэффициент спроса активной нагрузки;

$P_{ном}$ – номинальная нагрузка цеха, кВт» [5].

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

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

Для участка №1, по (1,2,3):

$$P_c = 0,82 \cdot 207,9 = 170,48 \text{ кВт}$$

$$Q_c = 170,48 \cdot 0,593 = 101,16 \text{ квар}$$

$$S_c = \sqrt{170,48^2 + 101,16^2} = 198,23 \text{ кВА}$$

Алгоритм и порядок расчета нагрузок для всех производственных участков являются одинаковыми, поэтому расчеты целесообразно свести в таблицу.

Итоговые нагрузки всего рассматриваемого участка группы цехов производства запчастей и комплектующих определяются как суммы нагрузок всех отдельных ПУ.

Нагрузки ПУ рассчитаны в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет нагрузок участков

Участки	P _{ном} , кВт	K _с	cosφ	tgφ	Среднесм. нагрузки		
					P _с , кВА	Q _с , квар	S _с , кВА
Цех №1	207,9	0,82	0,86	0,593	170,48	101,16	198,23
Цех №2	202,4	0,82	0,86	0,593	165,97	98,48	192,99
Цех №3	109,5	0,82	0,86	0,593	89,79	53,28	104,41
Компрессорная	38,7	0,7	0,78	0,802	27,09	21,73	34,73
КПП №1	7,9	0,25	0,9	0,484	1,98	0,96	2,19
СТО	69,8	0,25	0,79	0,776	17,45	13,54	22,09
Гараж	67,4	0,4	0,80	0,750	26,96	20,22	33,70
Мастерская	120,8	0,4	0,81	0,724	48,32	34,98	59,65
Механический цех	68,7	0,4	0,84	0,646	27,48	17,75	32,71
КПП №2	7,9	0,25	0,9	0,484	1,98	0,96	2,19
Склад	39,1	0,3	0,89	0,512	11,73	6,01	13,18
Хранилище	19,2	0,3	0,90	0,484	5,76	2,79	6,40
Итого	959,3	0,62	0,85	0,628	594,98	371,86	702,48

Территория будет освещаться светодиодными светильниками с аккумуляторами и солнечными батареями, то есть система освещения территории будет автономной и нагрузки освещения территории не учитываются в общей нагрузке. Автономность освещения территории также повысит надежность осветительной сети, так как светильники будут работать индивидуально. Далее, для эффективного энергосбережения и снижения рабочих токов электротехнического оборудования ТП и питающей высоковольтной линии, необходимо выполнить компенсацию реактивной мощности (КРМ) на шинах 0,4 кВ ТП.

2.2 Выбор компенсирующих устройств

Для повышения энергоэффективности СЭС и снижения рабочих токов, на стороне 0,4 кВ подстанции выполняется компенсация реактивной мощности (КРМ).

«Требуемая мощность компенсирующих устройств (КУ):

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (4)$$

где P_p – активная нагрузка, кВт;

$tg\varphi$ – тангенс угла φ до КРМ;

$tg\varphi_k$ – нормативный тангенс угла φ » [6].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 594,98 \cdot (0,628 - 0,33) = 159,42 \text{ квар.}$$

Принимается две установки АУКРМ по 80 квар.

«Нагрузки ТП до и после КРМ – в таблице 3.

Таблица 3 – Нагрузки ТП до и после КРМ

Показатели	cosφ	tgφ	Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
∑ на НН	0,85	0,628	594,98	371,86	702,48
КУ, квар	-	-	-	160	-
∑ на НН с КУ	0,94	0,356	594,98	211,86	631,57
Потери	-	-	12,63	63,16	-
∑ на ВН с КУ	-	-	607,61	275,01	666,95

Потери в трансформаторах:

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

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 631,57 = 12,63 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot S_p; \tag{6}$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 631,57 = 63,16 \text{ квар.}$$

Нагрузка ТП по стороне ВН, по (3)» [7]:

$$S'_p = \sqrt{(594,98 + 12,63)^2 + (211,86 + 63,16)^2} = 666,95 \text{ кВА.}$$

«Внешний вид АУКРМ – на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид АУКРМ

Применение АУКРМ позволит обеспечить точный уровень КРМ при

изменении нагрузок» [3].

2.3 Выбор подстанции

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

Требуемая мощность трансформаторов:

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

где $K_{з.н.}$ – нормативный коэффициент загрузки, по ГОСТ 14209-85,

$$K_{з.н.} = 0,7;$$

$S_{р.к.}$ – расчетная нагрузка, кВА» [14].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 631,57 = 442,1 \text{ кВА.}$$

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, кВА» [2].

$$K_{з.ав.} = \frac{631,57}{630} = 1,002 \leq 1,4.$$

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

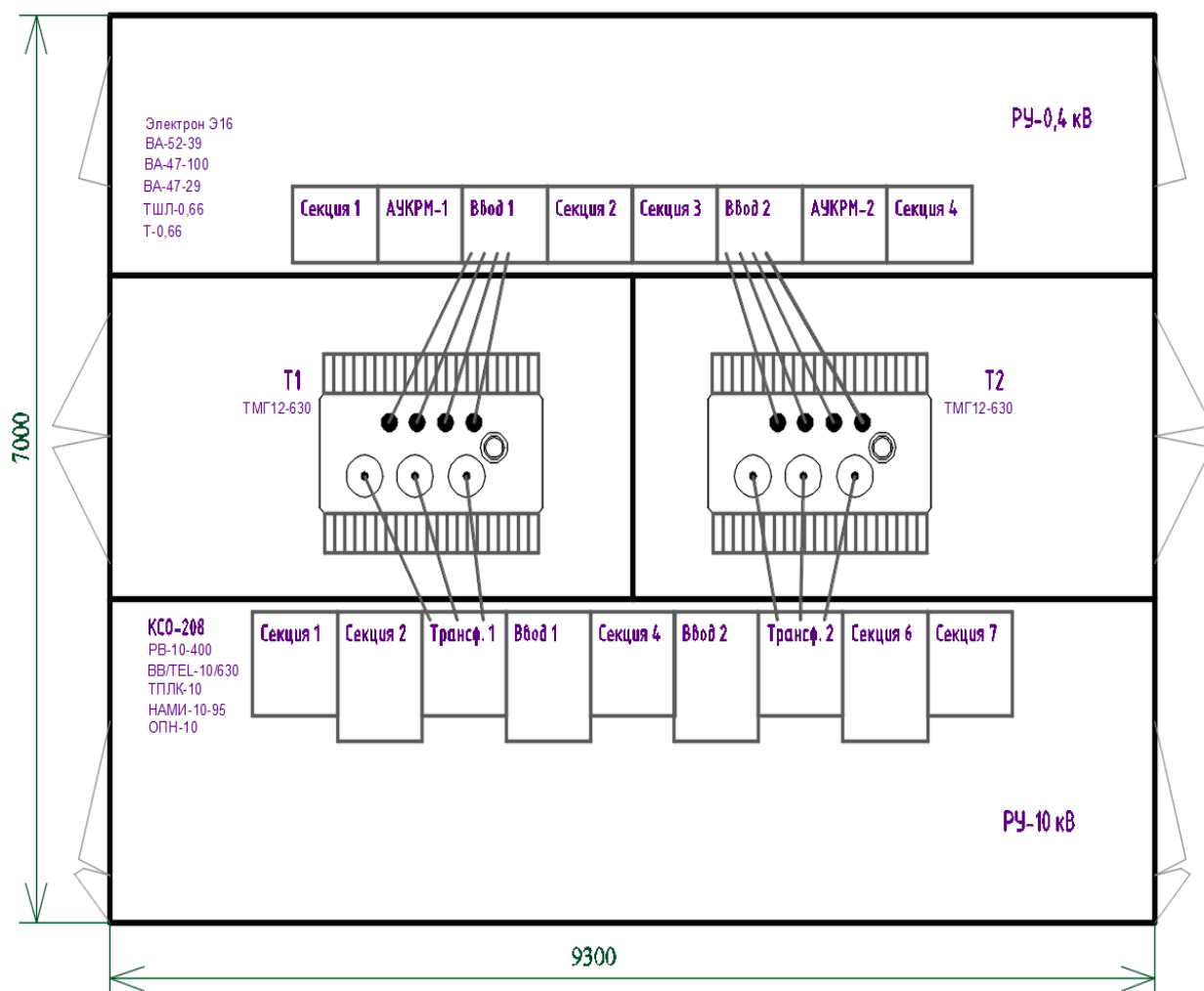


Рисунок 3 – Компоновка ТП

В комплект ТП входит электрооборудование:

- выключатели ВВ/ТЕЛ-10;
- разъединители РВ-10;
- трансформаторы тока ТПЛК-10;
- трансформаторы напряжения НАМИ-10;
- ограничители перенапряжения ОПН-10;
- выключатели Электрон Э16;
- трансформаторы тока ТШЛ-0,66.

Установка силовых трансформаторов осуществляется после размещения КТПН» [19].

2.4 Расчет внешнего электроснабжения

«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, кВА;

U_n – напряжение линии, кВ;

n – число цепей, шт» [15].

$$I_p = \frac{666,95}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 19,25 \text{ А.}$$

«Экономическое сечение жил:

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

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [18].

$$F_{\text{эк}} = \frac{19,25}{1,4} = 13,8 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АПвП-3х16 мм².

$$I_{\text{ав}} = \frac{666,95}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 38,51 \text{ А.}$$

«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, А;

$K_{\text{нов}}$, $K_{\text{ср}}$, $K_{\text{нон}}$ – 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:

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

где $I_{\text{п}}$ – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

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

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 38,51 \cdot 0,402 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,911 + 0,102 \cdot 0,402) = 0,24 \% < 5 \%$$

Потери не превышают допустимые.

2.5 Расчет внутреннего электроснабжения

«Необходимо обеспечить возможность индивидуального отключения цехов для удобства обслуживания и вывода оборудования в ремонт, обеспечения надежной и селективной работы аппаратов защиты линий. Выбирается радиальная схема, каждый цех запитывается от ТП по отдельной КЛ 0,4 кВ, которые выполняются кабелем АВБШв» [11].

Схема электрической сети – на рисунке 4.

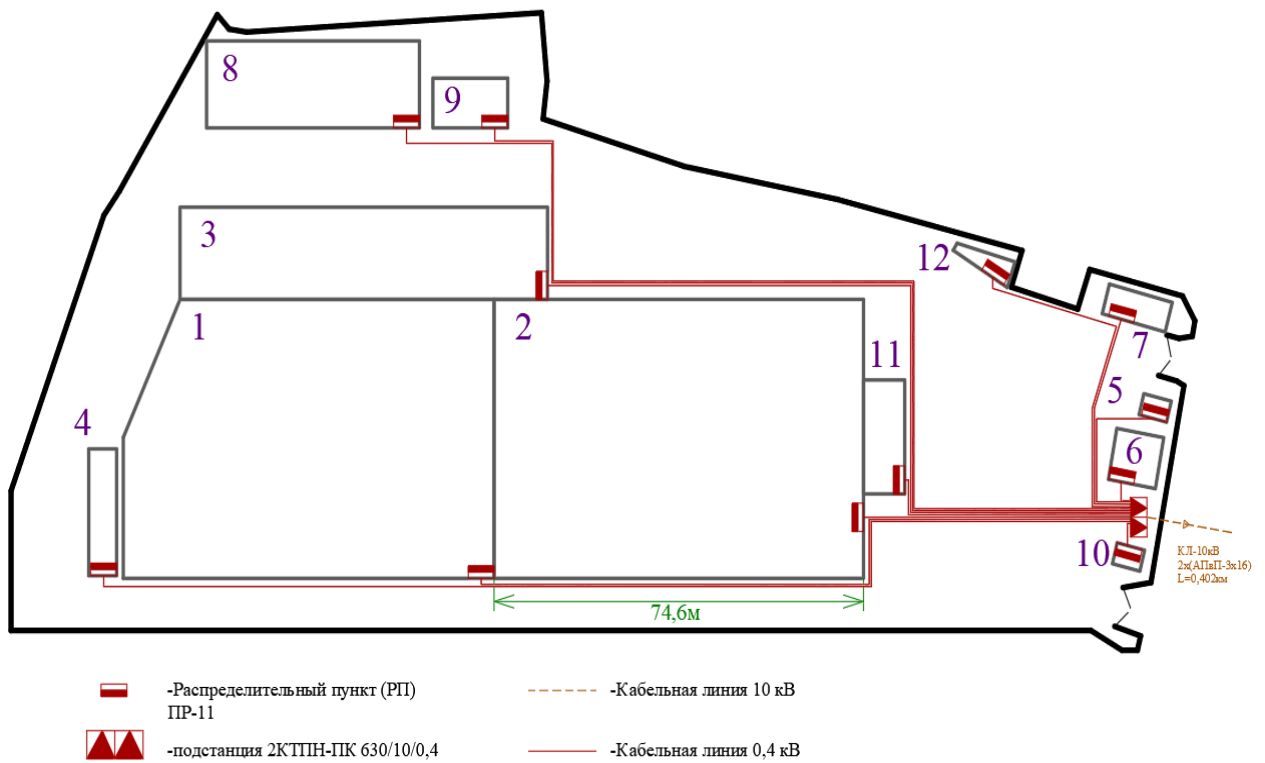


Рисунок 4 – Сеть внутреннего электроснабжения

Расчет для КЛ до ПУ №1.

«Наибольший ток линии:

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

где S_p – нагрузка, кВА» [17].

$$I_p = \frac{241,74}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 367,3 \text{ A}$$

Выбирается кабель АВБШВ-5х185, $I_{доп} = 380 \text{ A}$ [12].

«Индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь. По формуле (12)» [10]:

$$\Delta U_{\lambda} = \frac{\sqrt{3} \cdot 367,3 \cdot 141,8 \cdot 100}{0,38} (0,00016 \cdot 0,86 + 0 \cdot 0,51) = 0,82 \% < 5 \%$$

Выбор кабелей – в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор кабелей

Участок, №	Ip, А	АВБШв, сечение	Идоп, А	ΔU, %
1	367,3	5x185	380	0,82
2	357,6			0,69
3	193,5	5x70	210	0,84
4	75,4	5x16	80	1,01
5	13,3	5x4	35	0,22
6	134,2	5x50	170	0,03
7	128,0			0,22
8	226,6	5x95	255	1,02
9	124,3	5x35	125	1,36
10	13,3	5x4	35	0,03
11	66,8	5x16	80	0,42
12	32,4	5x4	35	1,09

Кабели подходят по допустимому току и проверке потерь напряжения. Кабельные линии не будут перегреваться и будет поддерживаться достаточный уровень напряжения.

2.6 Токи КЗ

Расчет на стороне 10 кВ ТП.

Расчетные схемы – на рисунке 5.

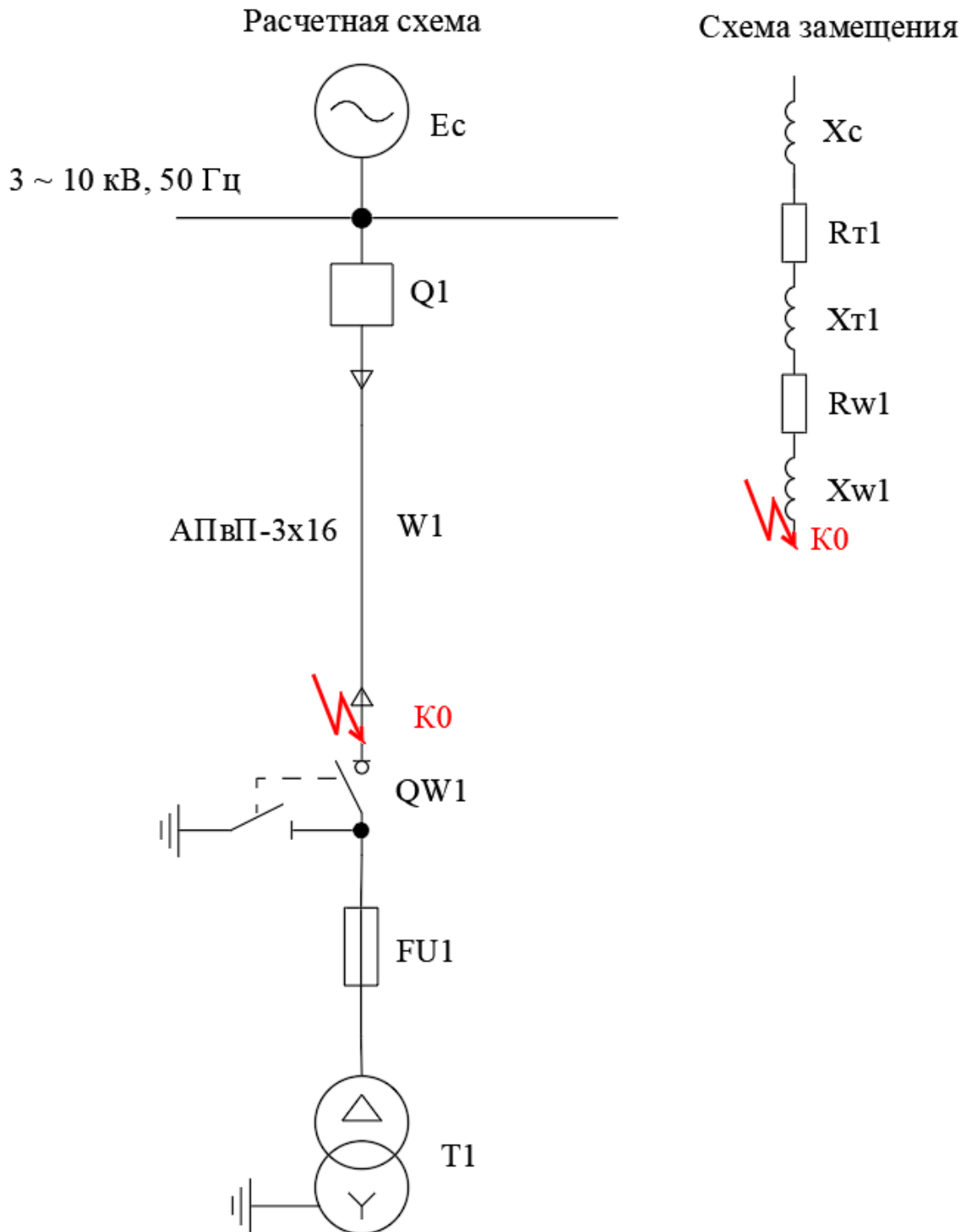


Рисунок 5 – Расчетные схемы

Находятся сопротивления участков.

«Значение трехфазного тока КЗ в начале КЛ 10 кВ (выключатель фидера 10 кВ питающей районной подстанции энергосистемы): $I_{к.з.ПС}^{(3)} = 9,387$ кА» [11].

«Сопротивление системы:

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

где U_k – напряжение КЗ, кВ» [13].

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

«Сопротивления КЛ 10 кВ:

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

где L_{w1} – длина КЛ, км» [13].

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

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

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

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» [13].

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

«Ударный ток КЗ:

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

где K_y – ударный коэффициент» [13].

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

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 на стороне 0,4 кВ.

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

Расчетные схемы – на рисунке 6.

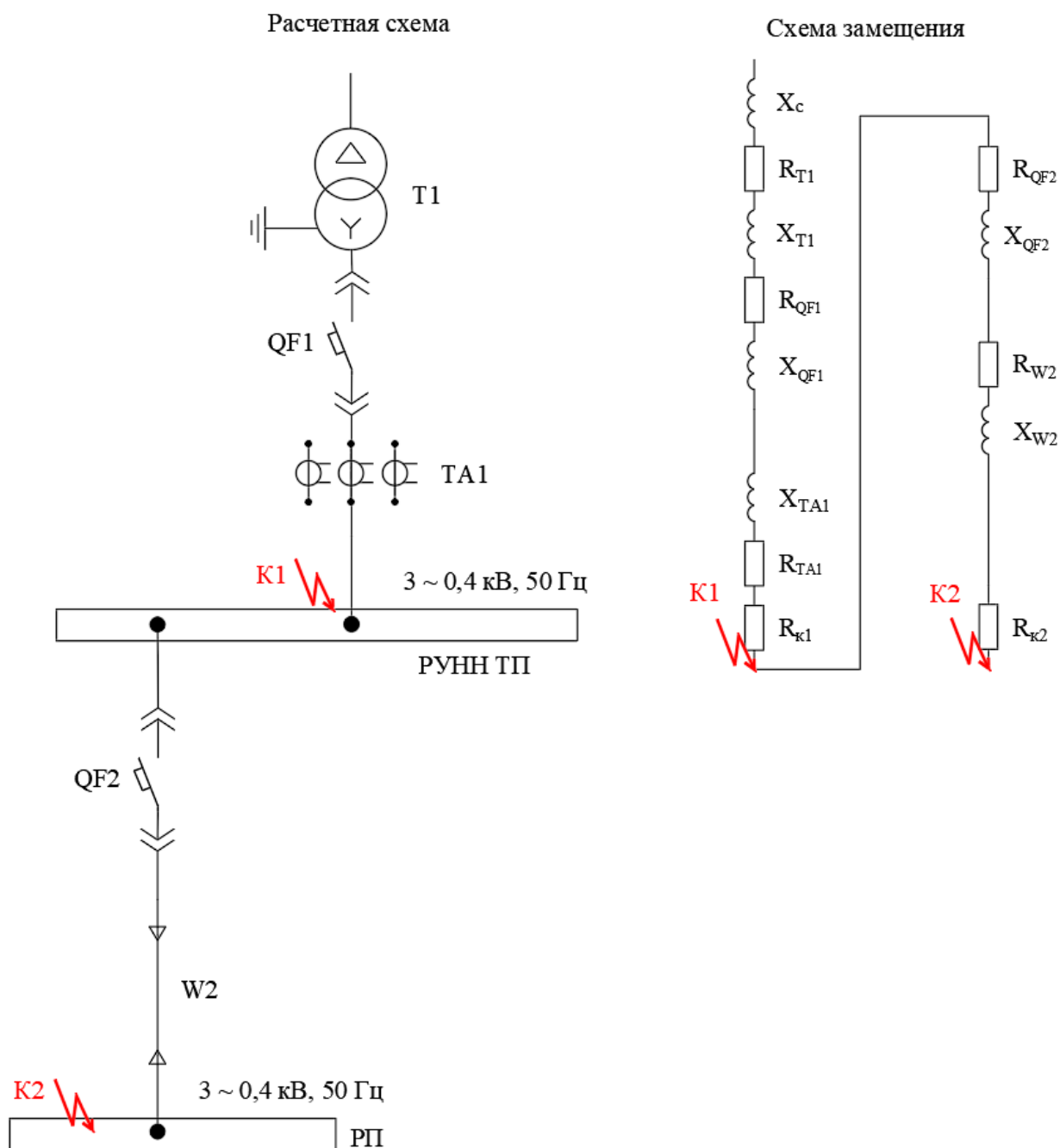


Рисунок 6 – Расчетные схемы

«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»
[13].

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

Сопротивление приводится к 0,4 кВ:

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

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

«Сопротивления линии W2:

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

где $L_{\text{кЛ1}}$ – длина КЛ, м» [13].

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

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

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

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

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

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

$$X_{\text{э1}} = X_{\text{Т}} + X_{\text{QF1}} + X_{\text{ТА1}}, \quad (26)$$

$$X_{\text{э1}} = 27,2 + 0,07 + 0,07 = 27,34 \text{ мОм;}$$

$$R_{\vartheta 2} = R_{QF2} + R_{W2} + R_{K2}, \quad (27)$$

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

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

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

Сопротивления до точек КЗ:

$$R_{K1} = R_{\vartheta 1}, \quad (29)$$

$$R_{K1} = 9,58 \text{ мОм};$$

$$X_{K1} = X_c + X_{\vartheta 1}, \quad (30)$$

$$X_{K1} = 39,589 + 27,34 = 66,929 \text{ мОм};$$

$$Z_{K1} = \sqrt{9,58^2 + 66,929^2} = 67,611 \text{ мОм};$$

$$R_{K2} = R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2}, \quad (31)$$

$$R_{K2} = 24,58 + 4,096 = 28,676 \text{ мОм};$$

$$X_{K2} = X_c + X_{\vartheta 1} + X_{\vartheta 2}, \quad (32)$$

$$X_{K2} = 39,589 + 27,34 + 1,32 = 68,249 \text{ мОм};$$

$$Z_{K2} = \sqrt{28,676^2 + 68,249^2} = 74,106 \text{ мОм};$$

«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» [18].

Трёхфазный ток КЗ в точке К1:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 97,611} = 4,86 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

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

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

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:

$$R_{\pi 1} = R_{\kappa 1}, \quad (37)$$

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

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

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

$$R_{\pi 2} = R_{\kappa 1} + R_{\pi W2} + R_{\kappa 2}, \quad (39)$$

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

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

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

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

«Однофазный ток КЗ в точке К1:

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

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

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

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

Результаты расчетов – в таблице 5.

Таблица 5 – Токи КЗ в сети 0,4 кВ

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

«Термически стойкое сечение жил:

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

где $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ, кА;

$t_{\text{п}}$ – время действия защит, с;

K_T – температурный коэффициент» [3].

Для КЛ до цеха №1, по (42):

$$F_T = 4480 \cdot \sqrt{0,03} / 95 = 12,52 \text{ мм}^2 < 185 \text{ мм}^2.$$

Проверка КЛ – в таблице 6.

Таблица 6 – Проверка КЛ

Участок, №	АВБШв, сечение	Степ, мм ²
1	5x185	12,52
2		11,02
3	5x70	5,95
4	5x16	1,54
5	5x4	2,36
6	5x50	11,84
7		8,78
8	5x95	5,84
9	5x35	4,03
10	5x4	7,67
11	5x16	4,77
12	5x4	1,25
КЛ 10 кВ	АПВП-3x16	14,1

КЛ термически устойчивы.

2.7 Защита линий

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:

$$I_{m.p.} > 1,1 \cdot 367,3 = 404 \text{ А.}$$

Устанавливается ВА-52-39/500. Выбор АВ – в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор АВ

Участок, №	$1,1 \cdot I_p$, А	Авт. выкл.	$I_{ном}$, А
1	404	ВА-52-39	500
2	393,3		
3	212,8		250
4	82,9	ВА-47-100	100
5	14,7	ВА-47-29	16
6	147,7	ВА-52-39	160
7	140,8		
8	249,3		250
9	136,7		160
10	14,7	ВА-47-29	16
11	73,4	ВА-47-100	100
12	35,7	ВА-47-29	40

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

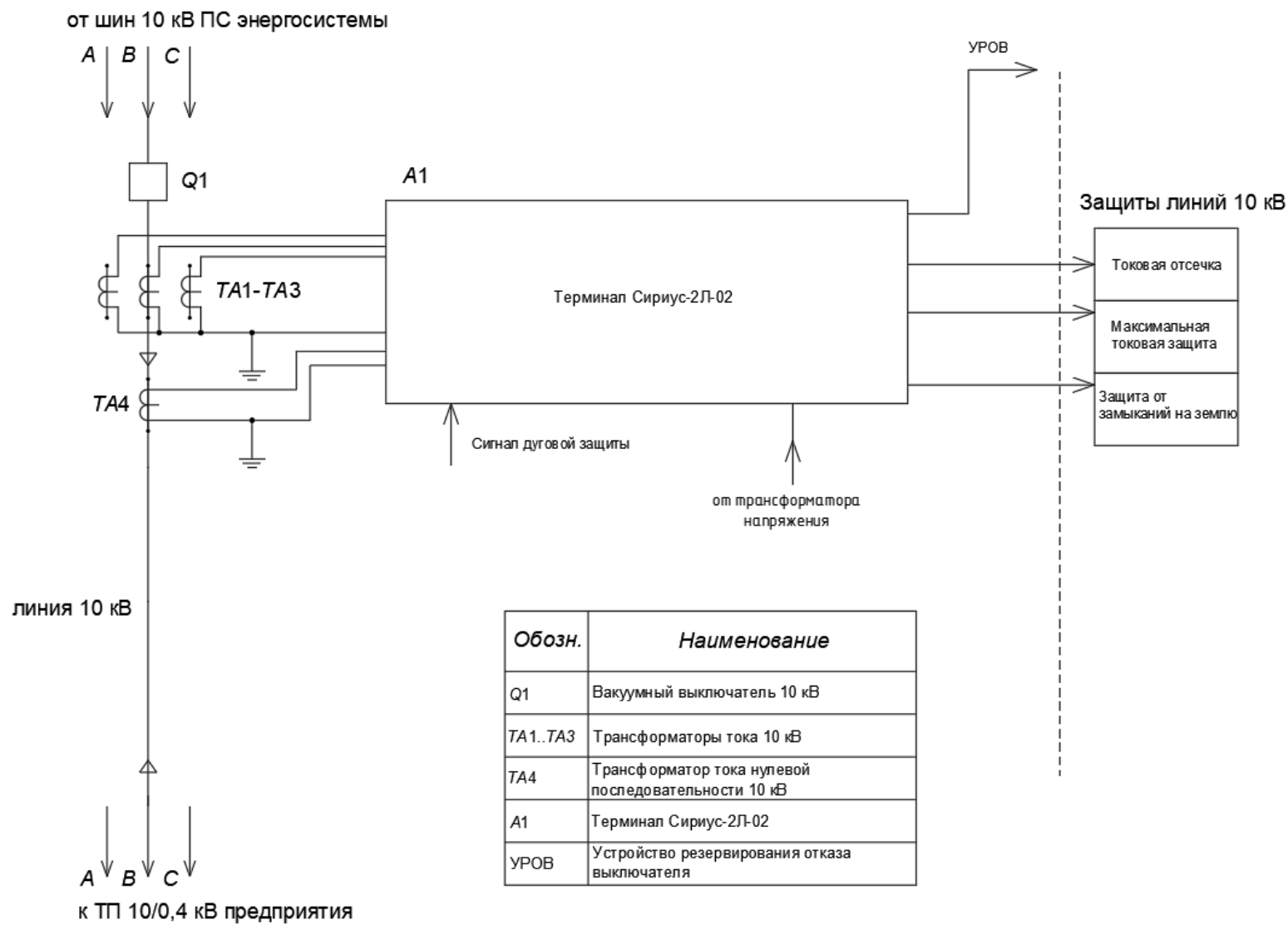


Рисунок 7 – Схема защиты КЛ 10 кВ

Внешний вид терминала – на рисунке 8.



Рисунок 8 – Терминал 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:

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

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 реле:

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

где k_{cx} – коэффициент схемы;

n_T – коэффициент трансформации» [8].

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

«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» [8].

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

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

2.8 АВР 0,4 кВ

«АВР предназначен для автоматического переключения питания потребителей на резервный источник. Упрощенная схема АВР показана на рисунке 9» [19].

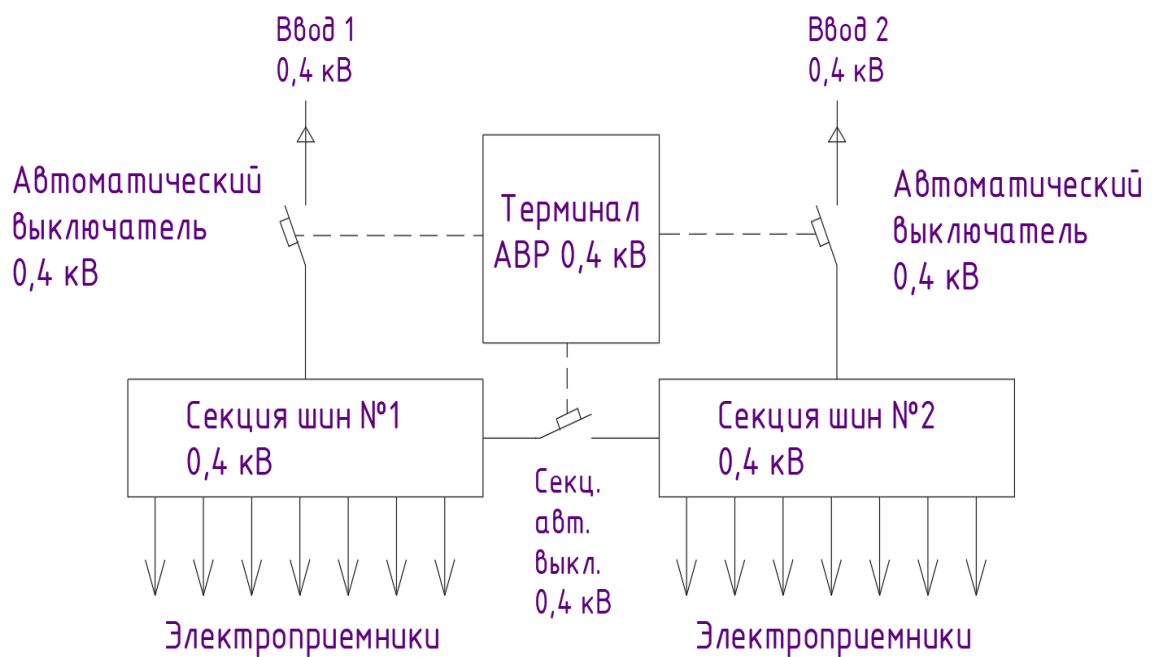


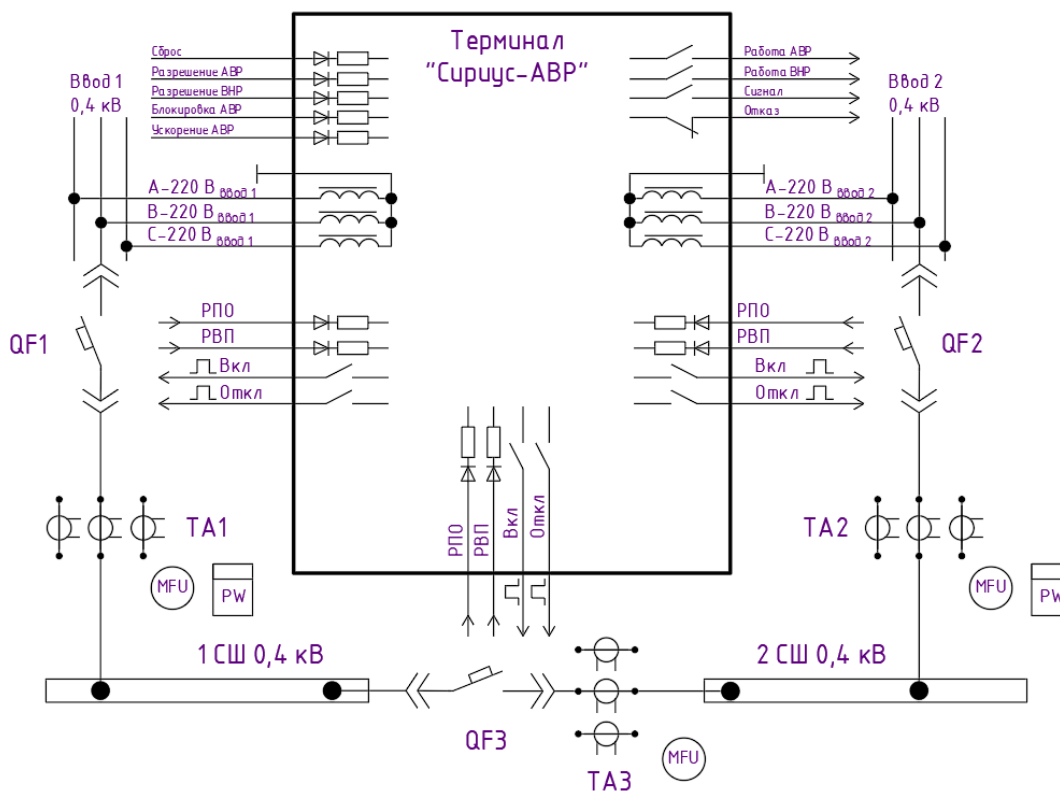
Рисунок 9 – Схема АВР

Лицевая панель Сириус-АВР – на рисунке 10.



Рисунок 10 – Лицевая панель Сириус-АВР

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

«Вид терминала сверху и контактные клеммы – на рисунке 12.

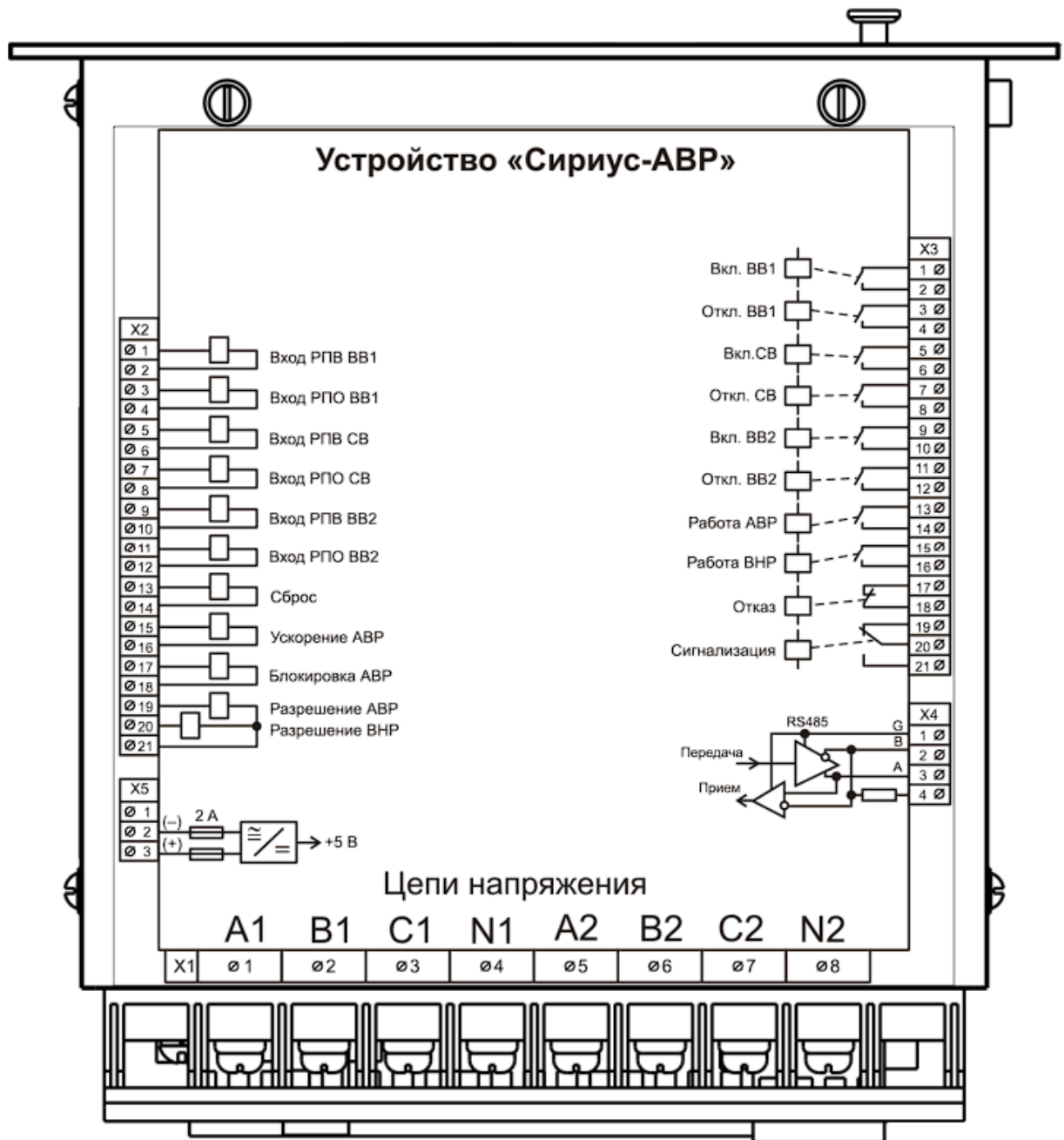


Рисунок 12 – Вид терминала сверху

Первая уставка АВР:

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

где $U_{НОМ}$ – напряжение сети, В» [8].

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

«Вторая уставка АВР:

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

Время срабатывания реле:

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

где t_1 – время срабатывания выключателей, с;

Δt – ступень селективности, с» [8].

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

Выводы по разделу 2.

Определены электрические нагрузки цехов и других зданий рассматриваемой группы цехов АО «Гидроремонт-ВКК». Разработана СЭС группы цехов с учетом энергоэффективности и требований по надежности электроснабжения. Производственные участки будут получать питание от КТПН 10/0,4 кВ с двумя энергоэффективными трансформаторами марки ТМГ12-630. Используется радиальная схема внутреннего электроснабжения, что обеспечивает повышенную надежность и удобство эксплуатации СЭС, По допустимому току выбраны кабели питающей (марки АПвП-3·16) и распределительной (марки АВБШв) сетей, линии проверены по потерям напряжения. Релейная защита и автоматика будут обеспечены современными микропроцессорными терминалами серии Сириус. Все электроприемники, обеспечивающие технологические процессы, получают надежное и качественное электроснабжение.

3.2 Заземление ТП

«Удельное сопротивление грунта для вертикальных (ВЭ) и горизонтального (ГЭ) электродов:

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

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом · м;

K_c – коэффициент сезонности.

Для ВЭ:

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

Для ГЭ:

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

Для ВЭ используем угловую сталь 50x50 мм, для ГЭ – полосовую сталь 50x5 мм» [10].

«Сопротивление одного ВЭ:

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

где l – длина ВЭ, м;

d – приведенный диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

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

где b – ширина уголка, м» [10].

Для одного ВЭ, по (55,56):

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

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

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

«Расчетное число ВЭ:

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

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

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

«Длина ГЭ:

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

где a – расстояние между ВЭ, м.

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

где $l_{\text{пер}}$ – периметр здания ТП, м» [10].

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

$$a = 32,6 / 16 = 2,04 \text{ м}$$

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

«Сопротивление ГЭ:

$$R_{z3} = \frac{\rho_{p2}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left(\frac{l^2}{d \cdot t} \right) \quad (60)$$

где l – длина ГЭ, м;

d – расчетный диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

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

где b – ширина полосы, м» [10].

Для ГЭ, по (60,61):

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

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

$$R_{z3} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 34,27} \cdot \ln \left(\frac{34,27^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,612 \text{ Ом}$$

«Итого сопротивление заземления:

$$R_{zp} = \frac{R_{063} \cdot R_{z3}}{R_{063} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{z3} \cdot \eta_z} \quad (62)$$

где η_6 – коэффициент использования ВЭ;

η_z – коэффициент использования ГЭ.

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

Схема заземления ТП – на рисунке 14.

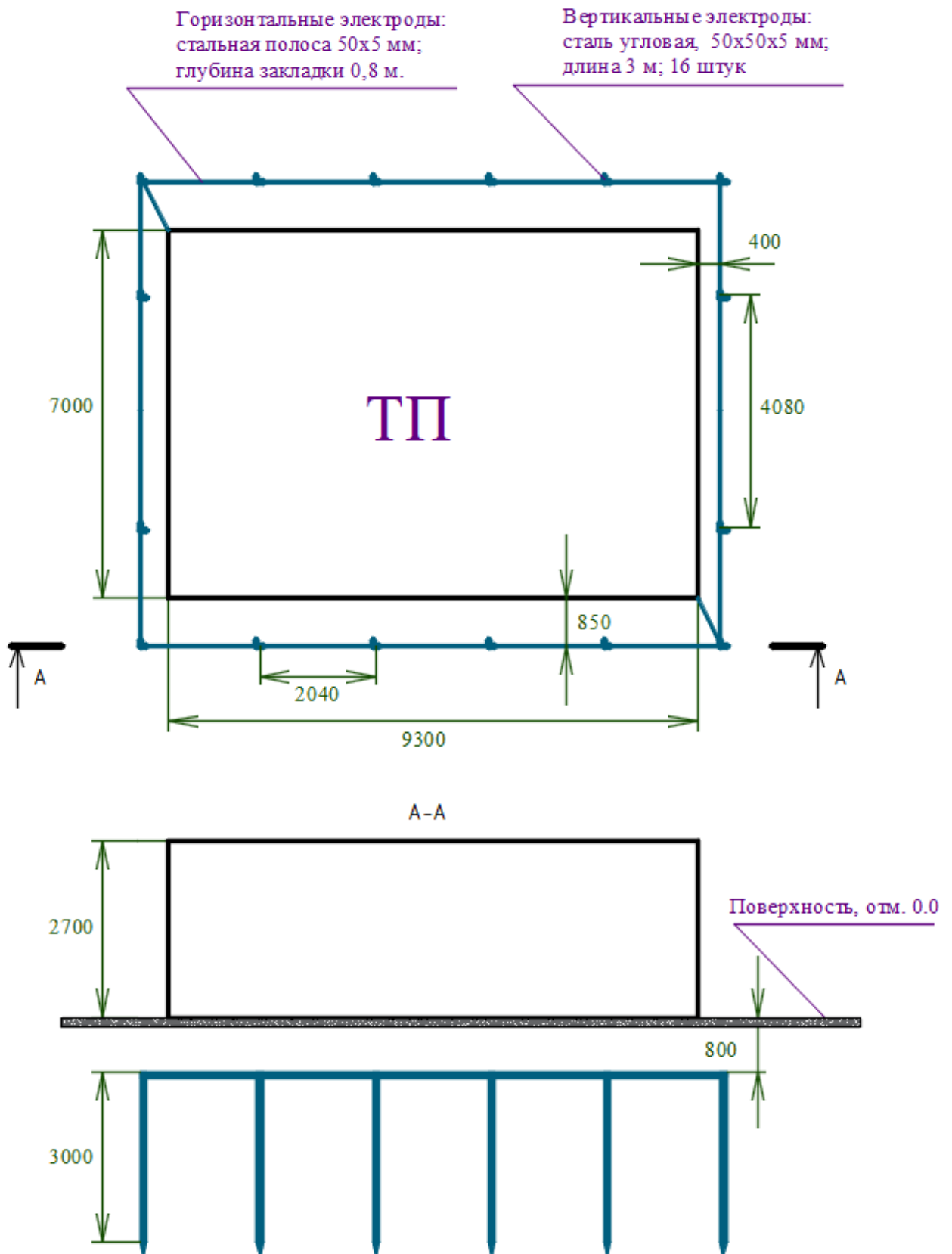


Рисунок 14 – Контур заземления ТП

КТПН не требует дополнительных мер по молниезащите ввиду полностью металлического корпуса, соединенного с контуром заземления» [19].

3.3 Экологичность проекта

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

Автоматические выключатели серии ВА изготавливаются с учетом минимализации отходов производства. Корпус выполняется из экологичного пластика с минимальным выделением дыма и токсичных веществ при нагреве. 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. Монтаж системы электроснабжения выполняется с помощью современных инструментов и оборудования, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду» [20].

Выводы по разделу 3.

Охрана труда и безопасность при монтаже и эксплуатации СЭС будут обеспечиваться согласно актуальным нормативным документам. С рабочими и персоналом предприятия будут проводиться инструктажи и проверки знаний по охране труда и безопасности, оказанию первичной помощи при электротравмах. Монтаж системы электроснабжения будет выполняться профессиональными бригадами рабочих от предприятия-подрядчика, электромонтажные работы будут проводиться по нарядам-допускам. Рассчитан контур заземления ТП, обеспечивающий электробезопасность и надежную работу СЭС. Предлагаемые технические решения и электрооборудование СЭС обеспечивают высокий уровень экологической безопасности и защиту окружающей среды.

Заключение

Разработано электроснабжение группы цехов производства запчастей и комплектующих АО «Гидроремонт-ВКК» в г. Жигулевск.

Решены задачи:

- согласно проектно-технической документации определены ожидаемые электрические нагрузки;
- обеспечена энергоэффективность электроснабжения, путем установки эффективных автоматических установок КРМ и энергоэффективных трансформаторов марки ТМГ12 на ТП);
- выбрана комплектная ТП марки 2КТПН-630/10/0,4;
- выбраны марки и сечения жил кабелей для внешнего и внутреннего электроснабжения;
- определены токи КЗ;
- выбрано оборудование защиты питающей линии (терминал Сириус-2Л-02) и распределительной сети (автоматические выключатели серии ВА);
- выбран терминал Сириус-АВР для обеспечения АВР питания ответственных потребителей первой категории надежности электроснабжения, для обеспечения их бесперебойного питания;
- рассмотрены охрана труда при монтаже и эксплуатации СЭС, экологичность предлагаемых технических решений по электроснабжению, обеспечение защиты окружающей среды. Рассчитан контур заземления ТП, обеспечивающий электробезопасность и надежную работу СЭС.

Разработанная СЭС группы цехов обеспечит надежное электроснабжение потребителей и рекомендуется к реализации.

Список используемых источников

1. Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. М.: ЁЁ Медиа, 2020. 797 с.
2. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 416 с.
3. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения промышленного потребителя. – Москва: Лань, 2019. 408 с.
4. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. – М.: Энергия, 2023. 45 с.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие. – М.: МЭИ, 2020. 412 с.
6. Кудрин Б. И. Электроснабжение. – М.: Academia, 2019. 352 с.
7. Куско А. Сети электроснабжения. – М.: Додэка XXI, 2021. 336 с.
8. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения. – М.: Лань, 2020. 176 с.
9. Охрана труда в энергетике: Учебник для техникумов / под ред. Князевского Б.А. – М.: Лань, 2020. 376 с.
10. Полуянович Н. К. Монтаж и наладка систем электроснабжения. – М.: Лань, 2020. 400 с.
11. Проектно-техническая документация. Электроснабжение группы цехов. – Жигулевск, 2023. 205 с.
12. ПУЭ, издание 7. – М.: Энергия, 2023. 648 с.
13. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов КЗ. – М.: Энергия, 2022. 69 с.
14. Biegelmeier G. Electro supply system. – Bulletin. Int. 2020. 428 p.
15. Dalziel C.F., Lee W. Electricity and power supply. 2018, №2. p. 44-50.
16. Discussion on construction of green power grid enterprises. Guizhou Electric Power Technolog. 2020-06. P 87–91.

17. European Technology Platform Smart Grids. Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future. April, 2020. 305 p.
18. Smart Grid System Report. U. S. Department of Energy. July 2021.
19. Школа электрика. Сайт. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 21.03.2023).
20. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 22.02.2023).