

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 Разработка системы электроснабжения базы по производству электрического и электронного оборудования ООО «Стан», г. Тольятти

Обучающийся

В.А. Рыбин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Выпускная квалифицированная работа состоит из 51 страницы, 18 рисунков, 5 таблиц, 21 источника.

Ключевые слова: электроснабжение, база, производственный участок, электрическая нагрузка, потребитель, питание, надежность.

Выполняется разработка системы электроснабжения базы по производству электрического и электронного оборудования ООО «Стан», г. Тольятти.

Объект исследования: база по производству электрического и электронного оборудования ООО «Стан», г. Тольятти.

Предмет исследования: система электроснабжения базы.

Цель работы: обеспечение качественного и надежного электроснабжения производственной базы.

Актуальность работы: в связи с успешной экономической и производственной деятельностью, а также ростом числа заказов и требуемых объемов выпускаемой продукции, производственных мощностей действующей базы по выпуску электрического и электронного оборудования становится недостаточно. Предприятие планирует построить в ближайшее время аналогичную по инфраструктуре и используемому производственному оборудованию дополнительную базу, для которой необходимо разработать систему электроснабжения, с учетом применения современного оборудования и технических решений. Также технические решения, согласно предложенной системы электроснабжения, могут быть применены при плановой реконструкции системы электроснабжения существующей базы по производству электрического и электронного оборудования.

Содержание работы включает вопросы: характеристика предприятия и базы по производству электрического и электронного оборудования; разработка системы электроснабжения базы; обеспечение охраны труда и окружающей среды.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика предприятия и базы по производству электрического и электронного оборудования.....	7
1.1 Характеристика предприятия .....	7
1.2 Характеристика базы и потребителей электроэнергии.....	8
2 Разработка системы электроснабжения базы.....	12
2.1 Расчет электрических нагрузок .....	12
2.2 Выбор силовых трансформаторов и марки подстанции .....	13
2.3 Выбор кабелей высоковольтной линии до подстанции .....	19
2.4 Расчет распределительной сети, выбор кабелей.....	21
2.5 Расчет токов короткого замыкания .....	24
2.6 Релейная защита и автоматика .....	30
3 Обеспечение охраны труда и окружающей среды .....	43
3.1 Обеспечение охраны труда .....	43
3.2 Расчет заземляющего устройства подстанции.....	44
3.3 Обеспечение охраны окружающей среды .....	48
Заключение .....	49
Список используемых источников.....	50

## Введение

В современном мире промышленные предприятия (ПП) продолжают играть ключевую роль, обеспечивая рабочие места и производя товары и услуги. Однако, с развитием технологий и изменением потребительских предпочтений, необходимо адаптироваться к новым условиям. Одним из основных вызовов является необходимость снижения затрат на производство и улучшение энергоэффективности. Это связано с ростом цен на энергоносители и экологическими требованиями. Требуется искать новые источники энергии и разрабатывать инновационные технологии, чтобы снизить затраты на энергию и уменьшить выбросы вредных веществ. Кроме того, присутствует конкуренция со стороны других отраслей, таких как информационные технологии и сфера услуг. Чтобы оставаться конкурентоспособными, необходимо разрабатывать новые продукты и услуги, которые будут востребованы на рынке. В целом, ПП сталкиваются с рядом вызовов и возможностей. Они должны адаптироваться к изменяющимся условиям рынка, разрабатывать новые продукты и технологии, улучшать энергоэффективность и снижать затраты на производство, а также учитывать требования потребителей и экологические стандарты.

По мере своего развития и успешной деятельности, предприятия стремятся увеличивать объемы производства, что требует ввода в эксплуатацию новых промышленных мощностей, таких как новые заводы, фабрики, производственные базы и другие объекты по массовому выпуску продукции. С учетом того, что в настоящее время почти все производственное оборудование требует питания от электрической сети, то для вводимых в эксплуатацию новых производственных объектов требуется обеспечить качественное электроснабжение, реализация которого начинается с правильной и грамотной разработки системы электроснабжения (СЭС). СЭС производственных объектов являются сложными многоуровневыми

объектами с разветвленной структурой. Основным источником питания, как правило, являются объекты энергосистемы (понижительные подстанции переменного тока, высоковольтные распределительные пункты, высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП) и другие источники питания), от которых далее запитывается по отдельным выделенным ЛЭП главная понижительная подстанция (ГПП) или главный распределительный пункт (ГРП) предприятия. Далее от ГПП либо ГРП осуществляется внутреннее электроснабжение объектов, по радиальным, магистральным или смешанным схемам электроснабжения, кабельные линии прокладываются в траншеях под землей до вводных распределительных пунктов (РП) зданий. От РП выполняется внутренняя разводка электрической сети в зданиях.

Электроснабжение ПП является сложной и ответственной задачей, поскольку оно должно удовлетворять разнообразные и специфические требования производства, такие как высокая мощность, надежность и стабильность, а также возможность быстрого реагирования на изменения. Также должна обеспечиваться безопасность и защита окружающей среды от вредных воздействий, могут использоваться альтернативные источники энергии, такие как солнечные панели, ветрогенераторы и гидроэлектростанции. Качественная реализация СЭС имеет огромное значение для экономики и развития страны и требует комплексного подхода и использования современных технологий для обеспечения надежного и стабильного питания производственных мощностей. Только при условии качественной и грамотно спроектированной СЭС предприятия смогут успешно развиваться и вносить свой вклад в экономическое благополучие государства. Нормы и правила разработки систем электроснабжения регламентируются соответствующими нормативно-техническими документами, основным из которых являются Правила устройства электроустановок (ПУЭ).

Актуальность темы ВКР. В настоящее время в состав производственного хозяйства предприятия входит база по производству

электрического и электронного оборудования для различных видов автотранспорта и спецтехники. В связи с успешной экономической и производственной деятельностью, а также ростом числа заказов и требуемых объемов выпускаемой продукции, производственных мощностей действующей базы по выпуску электрического и электронного оборудования становится недостаточно. Предприятие планирует построить в ближайшее время аналогичную по инфраструктуре и используемому производственному оборудованию дополнительную базу по производству электрического и электронного оборудования, для которой необходимо разработать СЭС, с учетом применения современного оборудования и технических решений. Также технические решения, согласно предложенной системы электроснабжения, могут быть применены при плановой реконструкции СЭС существующей базы по производству электрического и электронного оборудования.

Объект исследования: база по производству электрического и электронного оборудования ООО «Стан», г. Тольятти.

Предмет исследования: система электроснабжения базы.

Цель работы: обеспечение качественного и надежного электроснабжения производственной базы.

Задачи работы:

- рассмотреть характеристики предприятия и базы по производству электрического и электронного оборудования;
- провести разработку технических решений по электроснабжению базы;
- рассмотреть обеспечение безопасности и экологичности проекта.

Практическая значимость работы заключается в будущей реализации электроснабжения базы по производству электрического и электронного оборудования, что позволит ввести ее в эксплуатацию. Предприятие повысит объемы производства, снизит себестоимость продукции и увеличит свою прибыльность.

# **1 Характеристика предприятия и базы по производству электрического и электронного оборудования**

## **1.1 Характеристика предприятия**

Общество с ограниченной ответственностью (ООО) «Стан» расположено в г. Тольятти и представляет собой малое предприятие, специализирующееся на выпуске электрического и электронного оборудования для различных видов автотранспорта и спецтехники. Заказчиками и покупателями продукции предприятия являются различные производители автоспецтехники и автомобилей, включая АО «АвтоВАЗ», а также предприятия и индивидуальные предприниматели, выполняющие работы по ремонту и наладке автомобилей и спецтехники.

В настоящее время автомобильный рынок развивается очень быстро. Постоянно появляются новые модели автомобилей, оснащенные самыми современными системами и оборудованием. Это требует от производителей электрического и электронного оборудования высокой степени гибкости и оперативности в разработке и производстве новых изделий. Важным направлением деятельности ООО «Стан», является разработка и производство компонентов для электромобилей и гибридных автомобилей. Это включает в себя разработку и производство электрических двигателей, аккумуляторов, зарядных устройств, систем управления и других компонентов. Другим важным направлением является разработка и производство систем безопасности для автомобилей. Это включает системы активной безопасности, такие как системы курсовой устойчивости, антиблокировочные системы тормозов, системы контроля давления в шинах и другие, а также системы пассивной безопасности, такие как подушки безопасности, ремни безопасности и т.д. Важным направлением является производство мультимедийных систем для автомобилей, включая навигационные системы, системы громкой связи, аудиосистемы и т.д.

Наконец, ООО «Стан» выпускает электронное оборудование для спецтехники, такой как строительные машины, сельскохозяйственная техника, грузовые автомобили и т. д.

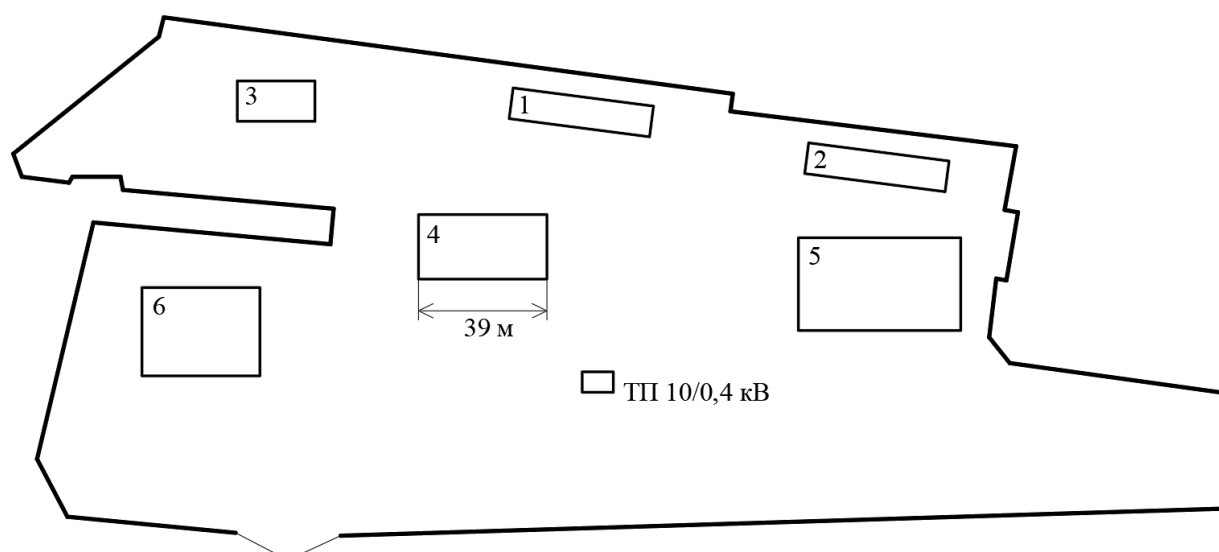
В состав производственного хозяйства предприятия входит база по производству электрического и электронного оборудования для различных видов автотранспорта и спецтехники. Ввиду с успешной экономической и производственной деятельностью, а также ростом числа заказов и требуемых объемов выпускаемой продукции, производственных мощностей действующей базы по выпуску электрического и электронного оборудования становится недостаточно. ООО «Стан» планирует построить в ближайшее время аналогичную по инфраструктуре и используемому производственному оборудованию дополнительную базу по производству электрического и электронного оборудования, для которой необходимо разработать систему электроснабжения с учетом применения современного оборудования и технических решений.

## **1.2 Характеристика базы и потребителей электроэнергии**

Планируемая к постройке база по производству электрического и электронного оборудования будет расположена на закрытой огороженной железобетонным забором территории, на которой будет расположено четыре промышленных цеха, хозяйственный корпус и склад. Электроснабжение производственных участков будет выполнено кабельными линиями (КЛ) 0,4 кВ с кабелями в траншеях под землей. Питание производственных участков будет осуществляться от трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, расположенной на территории базы. В целом, электроснабжение базы будет обеспечиваться по высоковольтной КЛ 10 кВ от распределительного пункта (РП) 10 кВ энергосистемы, расположенного на расстоянии 402 м.



Генеральный план базы, с расположением производственных участков (ПУ) и требуемым местоположением ТП показан на рисунке 1.



1 – цех силового электрооборудования; 2 – цех электронного оборудования;  
3 – ремонтный цех; 4 – хозяйственный корпус; 5 – сборочный цех; 6 – склад.

Рисунок 1 – Генеральный план базы

Цеха силового электрооборудования и электронного оборудования, согласно проектной документации, будут включать в состав производственного оборудования, в том числе, высокотехнологичные автоматизированные производственные линии под электронным и микропроцессорным управлением, перерывы электроснабжения которых недопустимы ввиду массового брака продукции, возможной порчи оборудования и очень значительного экономического ущерба. Данные цеха относятся к производственным участкам первой категории надежности электроснабжения, согласно ПУЭ [15].

Ремонтный цех – это здание, где производится ремонт различных видов техники и оборудования. Он выполняет различные виды работ, такие как замена деталей, покраска, сварка, шлифовка и другие виды работ. Основными задачами являются поддержание работоспособности

оборудования, сокращение простоев и повышение эффективности работы базы в целом.

Сборочный цех – это подразделение предприятия, где происходит сборка готовых изделий из деталей и комплектующих, полученных от других подразделений предприятия или от поставщиков.

Основная специализация технологического процесса – выпуск электронных изделий и их компонентов.

Перерывы электроснабжения ремонтного и сборочного цехов допустимы только на кратковременный период оперативных ручных переключений питания на резервный источник. Данные цеха относятся к производственным участкам второй категории надежности электроснабжения.

Хозяйственный корпус предприятия – это здание, в которых располагаются административные, бытовые и хозяйственные помещения. Данный участок обеспечивает комфортные условия для работы и отдыха работников, а также позволяет эффективно организовать работу предприятия. Склад обеспечивает хранение комплектующих, сырья и готовой продукции.

Перерывы электроснабжения хозяйственного корпуса и склада допустимы на период устранения неисправности в системе электроснабжения, они относятся к производственным участкам третьей категории надежности электроснабжения.

В целом, в состав электрических нагрузок базы по производству электрического и электронного оборудования входят:

- автоматизированные производственные линии под электронным и микропроцессорным управлением;
- станки с ЧПУ;
- комплексные сборочные линии;
- металлообрабатывающие станки;
- кран-балки и мостовые краны;

- экструдеры и оборудование для производства пластмассовых изделий;
- электроприводы систем вентиляции, водоснабжения и водоотведения;
- паяльные станции;
- установки лазерной резки;
- электрогальваническое оборудование;
- оборудование для производства печатных плат;
- сварочное оборудование;
- освещение внутри зданий и территории;
- ручной электроинструмент;
- зарядные станции;
- коммунально-бытовое оборудование и приборы.

Выводы.

Приведена характеристика предприятия и базы по производству электрического и электронного оборудования. Рассмотрены производственные участки и их функциональная принадлежность, назначение. Составлен генеральный план базы, на котором отмечено расположение производственных участков и понизительной трансформаторной подстанции. Основная специализация технологического процесса – выпуск электронных изделий и их компонентов. Рассмотрены типы электрических нагрузок и состав электроприемников. Определены требования по обеспечению надежности электроснабжения производственных цехов и других зданий. В целом, объект, ввиду наличия большого числа сложного высокотехнологичного оборудования, требующего надежного бесперебойного питания, относится к первой категории надежности электроснабжения, согласно Правилам устройства электроустановок.

## 2 Разработка системы электроснабжения базы

### 2.1 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок – это важный этап при проектировании системы электроснабжения любого объекта. Это необходимо для определения требуемой мощности, выбора соответствующего оборудования и кабеля, а также для оптимизации потребления электроэнергии и минимизации затрат.

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

Формулы для расчета среднесменных нагрузок:

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

где  $K_c$  – коэффициент спроса активной нагрузки;

$P_{ном}$  – номинальная нагрузка электроприемников, кВт» [10].

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

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

Для цеха №1, по (1,2,3):

$$P_c = 0,59 \cdot 150 = 88,5 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 88,5 \cdot 0,59 = 52,51 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{88,5^2 + 52,51^2} = 102,91 \text{ кВА}.$$

Нагрузки ПУ по базе рассчитаны в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет нагрузок участков

Здания	Номер на генплане	P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	cosφ	tgφ	Средние нагрузки		
						P <sub>с</sub> , кВт	Q <sub>с</sub> , квар	S <sub>с</sub> , кВА
Цех силового электрооборудования	1	150	0,59	0,86	0,59	88,50	52,51	102,91
Цех электронного оборудования	2	139	0,6	0,83	0,67	83,40	56,05	100,48
Ремонтный цех	3	40	0,71	0,75	0,88	28,40	25,05	37,87
Хозяйственный корпус	4	202	0,6	0,92	0,43	121,20	51,63	131,74
Сборочный цех	5	190	0,78	0,85	0,62	148,20	91,85	174,35
Склад	6	30	0,51	0,90	0,48	15,30	7,41	17,00
Σ		751	0,65	0,86	0,59	485,00	284,49	562,28

Освещение территории, согласно проектной документации, предполагается выполнить автономными светодиодными светильниками на солнечных батареях, которые не будут подключены к общей электрической сети. Поэтому нагрузка освещения территории не учитывается в общей нагрузке.

## 2.2 Выбор силовых трансформаторов и марки подстанции

Выбор силовых трансформаторов является важным этапом при проектировании системы электроснабжения объекта. «От правильного выбора трансформатора зависит надежность и экономичность работы всей системы. Следует выбирать трансформаторы с запасом мощности, чтобы обеспечить надежность и долговечность его работы» [2]. Трансформатор должен быть выбран с учетом напряжения в сети и требуемого напряжения нагрузки, ток холостого хода и потери короткого замыкания определяют потери энергии в трансформаторе и должны быть минимальными. Выбор трансформаторов должен осуществляться на основе комплексного анализа всех указанных параметров и с учетом требований заказчика [1].

Выбор силовых трансформаторов по номинальной мощности проводится с учетом компенсации реактивной мощности (КРМ) на шинах 0,4 кВ подстанции.

КРМ является важным аспектом в электроснабжения и позволяет снизить потери электроэнергии, повысить качество напряжения, а также уменьшить нагрузку на оборудование. Реактивная мощность (РМ) необходима для создания магнитных полей в электродвигателях, трансформаторах и других устройствах. Однако, избыток РМ может привести к перегрузке системы и увеличению потерь электроэнергии. КРМ осуществляется, чаще всего, с помощью конденсаторных установок (КУ). Они подключаются параллельно нагрузке и компенсируют реактивную составляющую тока. Это позволяет снизить ток в проводниках и уменьшить потери электроэнергии. Расчет КРМ производится на основе параметров нагрузки и требуемой эффективности системы. После расчета выбирается необходимая мощность КУ установки и ее тип. КРМ позволяет повысить эффективность системы электроснабжения и снизить затраты на электроэнергию [4].

«Требуемая мощность компенсирующих устройств (КУ):

$$Q_{к.у.} = 0.9 \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (4)$$

где  $P_p$  – нагрузка, кВт;

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

$tg\varphi_k$  – нормативный тангенс угла  $\varphi$ » [11].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 491,6 \cdot (0,59 - 0,33) = 115,54 \text{ квар.}$$

Устанавливается 2×АУКРМ-0,4-60 по 60 квар.

Нагрузки ТП до и после КРМ – в таблице 2.

Таблица 2 – Нагрузки ТП до и после КРМ

Показатели	cosφ	tgφ	Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
Всего на НН	0,86	0,59	491,60	290,30	571,07
КРМ, квар	-	-	-	120	-
Всего на НН после КРМ	0,94	0,35	491,60	170,30	520,26
Потери	-	-	10,41	52,03	-
Итого на ВН	-	-	502,01	222,33	549,03

Потери в трансформаторах:

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

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 520,26 = 10,41 \text{ кВт},$$

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

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 520,26 = 52,03 \text{ квар}.$$

Полная нагрузка предприятия, по (3):

$$S'_p = \sqrt{(491,6 + 10,41)^2 + (170,3 + 52,03)^2} = 549,03 \text{ кВА}.$$

АУКРМ – это автоматическая установка компенсации реактивной мощности. Она предназначена для автоматического регулирования мощности конденсаторной батареи в зависимости от нагрузки в системе электроснабжения. АУКРМ позволяет поддерживать оптимальное значение коэффициента мощности и снижает потери электроэнергии. Одним из главных преимуществ АУКРМ является возможность оптимизации энергосистемы в режиме реального времени. Это позволяет учесть различные факторы, такие как изменение нагрузки, погодные условия и время суток, чтобы выбрать наиболее подходящую стратегию компенсации. Кроме того, автоматическая КРМ может помочь снизить затраты на электроэнергию за

счет уменьшения потерь и улучшения коэффициента мощности.

«Внешний вид АУКРМ – на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид АУКРМ

Требуемая мощность трансформаторов:

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

где  $K_{з.н.}$  – нормативный коэффициент загрузки;

$S_{р.к.}$  – нагрузка, кВА» [2].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 520,26 = 364,18 \text{ кВА.}$$

Устанавливается 2×ТМГ12-400 по 400 кВА.

«Коэффициент загрузки в аварийном режиме:



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

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

$$K_{з.ав.} = \frac{520,26}{400} = 1,3 \leq 1,4.$$

Выбирается ТП марки 2КТПН-400/10/0,4, компоновка показана на рисунке 3.

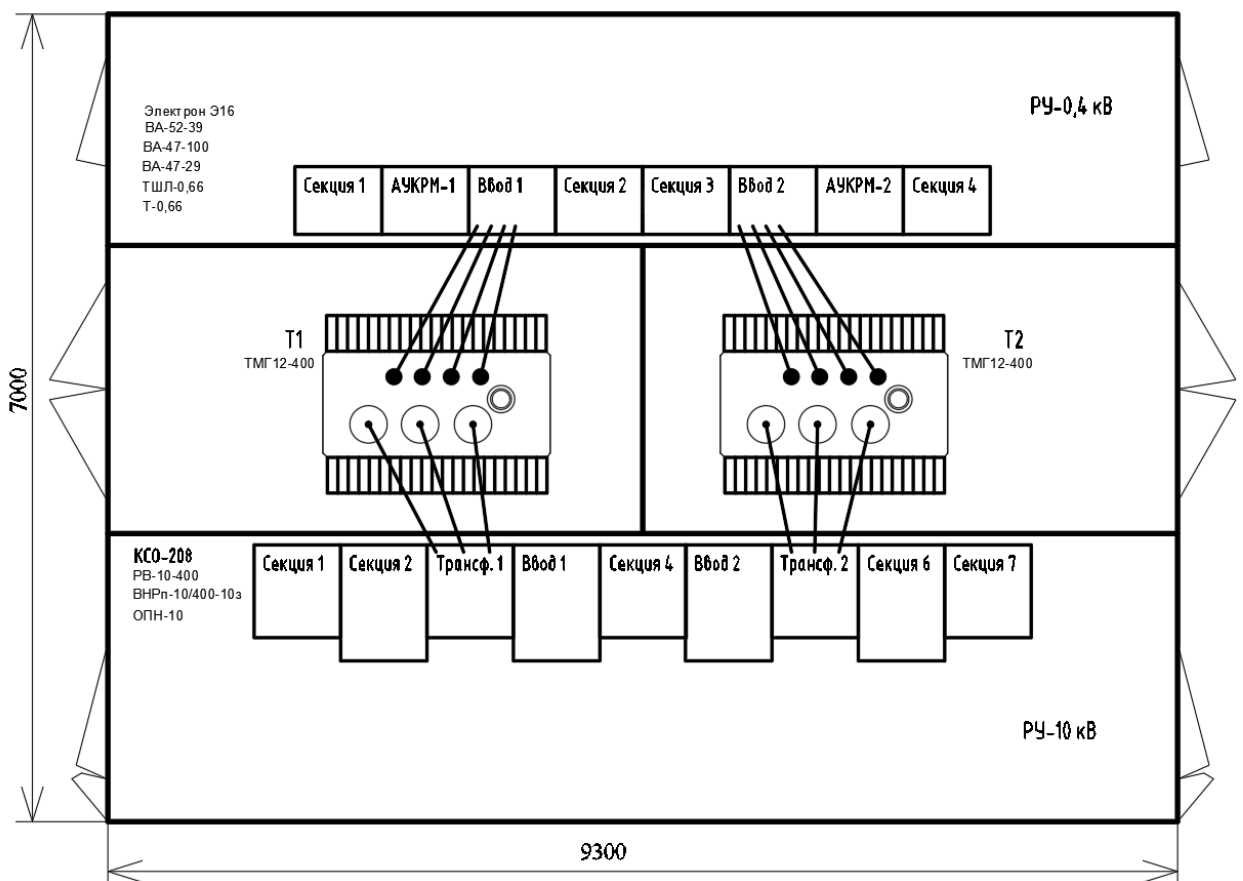


Рисунок 3 – Компоновка ТП

«Подстанция комплектована электрооборудованием (ЭО):

- выключатели нагрузки ВНРп-10/400-10з;
- разъединители РВ-10;

- трансформаторы тока ТШЛ-0,66;
- ограничители перенапряжения ОПН-10;
- предохранители ПКТ-103;
- автоматы Электрон Э16.

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

Внешний вид силового трансформатора серии ТМГ12 показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Силовой трансформатор серии ТМГ12

Благодаря современным технологиям и материалам, энергоэффективные трансформаторы серии ТМГ12 имеют высокий КПД, что позволяет снизить потери электроэнергии при передаче и преобразовании. Трансформаторы с низким уровнем потерь холостого хода потребляют меньше электроэнергии, когда они не нагружены или работают на низкой нагрузке, что также способствует снижению энергопотребления.

### 2.3 Выбор кабелей высоковольтной линии до подстанции

Выбор кабелей для высоковольтной линии должен учитывать различные факторы: материал проводника, напряжение, ток, длину линии, тип изоляции, экономическую эффективность и т.д. Наиболее часто используемыми материалами для высоковольтных кабелей являются медь и алюминий. Медь имеет более высокую проводимость, но и более высокую стоимость. Алюминий дешевле, но имеет более низкую проводимость. Выбор материала зависит от конкретных требований и условий использования. Выбор кабеля должен соответствовать рабочему напряжению линии. Ток в кабеле определяет его сечение и размер. Чем больше ток, тем больше должно быть сечение жил кабеля. Длинные линии требуют большего сечения кабеля для снижения потерь мощности. Кабели высоковольтных линий могут иметь различные типы изоляции, такие как бумажная изоляция, изоляция из сшитого полиэтилена (XLPE) и изоляция из поливинилхлорида (PVC). Выбор типа изоляции зависит от условий эксплуатации и требований к безопасности [21].

«Рабочий ток КЛ 10 кВ:

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

где  $S'_p$  – нагрузка, кВА;

$U_n$  – напряжение, кВ;

$n$  – число цепей, шт» [13].

$$I_p = \frac{549,03}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 15,8 \text{ А.}$$

«Экономическое сечение жилы:

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

где  $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [18].

$$F_{\text{эк}} = \frac{15,8}{1,6} = 9,9 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АПВП-3×16 мм<sup>2</sup> (наименьшее сечение на 10 кВ), внешний вид кабеля показан на рисунке 5.



Рисунок 5 – Кабель марки АПВП

Ток аварийного режима, по (9):

$$I_{\text{ав}} = \frac{549,03}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 31,7 \text{ А.}$$

«Допустимый ток кабеля:

$$I'_{\text{дон}} = I_{\text{дон}} \cdot K_{\text{нов}} \cdot K_{\text{сп}} \cdot K_{\text{нон}}, \quad (11)$$

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

$K_{\text{нов}}$ ,  $K_{\text{сп}}$ ,  $K_{\text{нон}}$  – коэффициенты недогруженности КЛ, среды и групповой прокладки» [14].

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

«Потери напряжения в КЛ:

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

где  $I_p$  – максимальный ток КЛ, А;

$L$  – длина КЛ, км;

$r_0, x_0$  – удельные сопротивления кабеля, Ом/км» [10].

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 31,7 \cdot 0,402 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,92 + 0,102 \cdot 0,392) = 0,12 \% < 5 \%$$

Потери не превысят допустимые.

## 2.4 Расчет распределительной сети, выбор кабелей

Радиальная схема электроснабжения является одной из наиболее распространенных и эффективных схем в электроэнергетике. Она обеспечивает надежность и безопасность электроснабжения потребителей, а также позволяет легко модифицировать и расширять систему электроснабжения. Основным преимуществом радиальной схемы является возможность отключения любого участка сети без отключения всей системы. Это делает ее идеальной для использования в промышленных объектах, где необходимы высокая надежность и безопасность. В целом, радиальная схема является оптимальным решением для многих объектов, обеспечивая надежность и безопасность электроснабжения при минимальных затратах на эксплуатацию и обслуживание [8].

Для распределительной сети выбирается радиальная схема электроснабжения, при которой производственные участки будут питаться независимо от ТП по отдельным кабельным линиям, с современными кабелями марки АВБШв с пластиковой изоляцией.

План прокладки кабелей показан на рисунке 6.

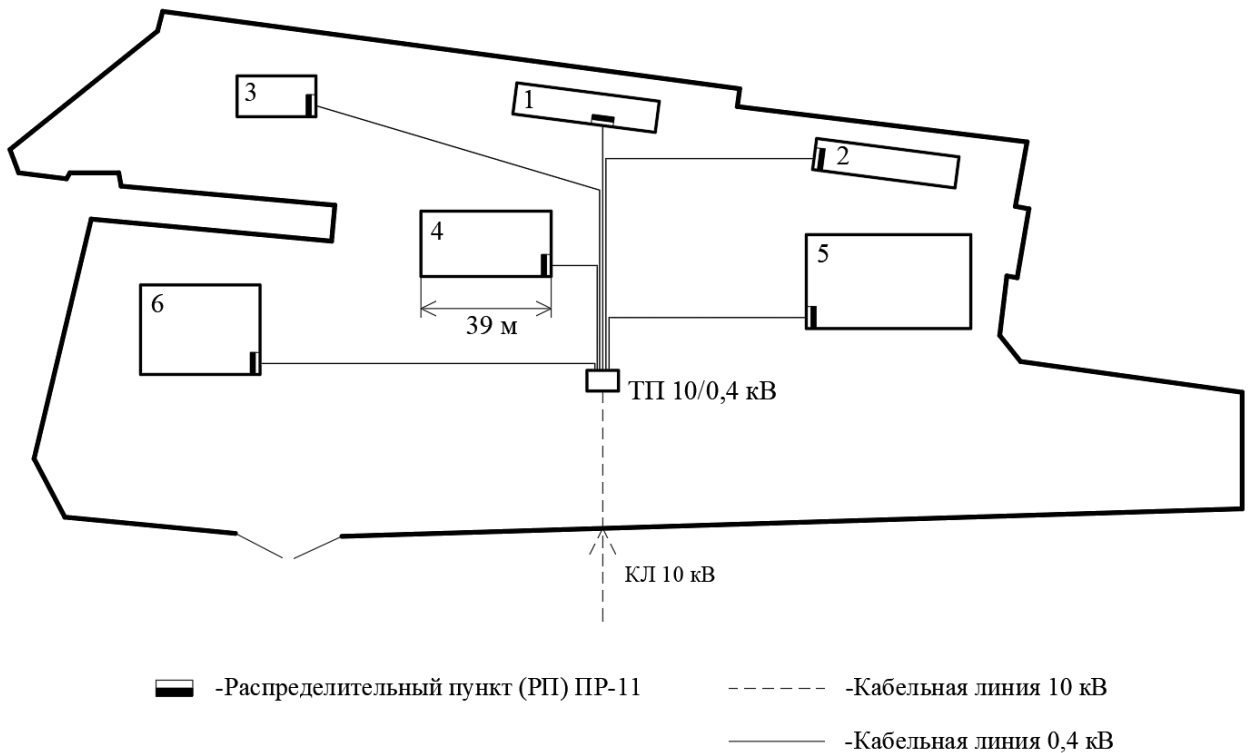


Рисунок 6 – План прокладки кабелей

Выбор кабелей на участке ТП – цех №1.

«Наибольший ток линии:

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

где  $S_p$  – нагрузка, кВА;

$U_n$  – напряжение, кВ» [13].

$$I_p = \frac{105,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 160 \text{ A}$$

Выбирается кабель АВБШв-4×50+1×25, I<sub>доп</sub> = 165 А [19].

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь» [13]. По (12):

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot 160 \cdot 75 \cdot 100}{0,38} (0,00062 \cdot 0,84 + 0 \cdot 0,318) = 0,7 \% < 5 \%$$

Выбор кабелей – в таблице 3.

Таблица 3 – Выбор кабелей

Участок, №	I <sub>p</sub> , А	АВБШв, сечение	I <sub>доп</sub> , А	ΔU, %
1	156,4	3×50+1×25	165	1,4
2	152,7	3×50+1×25	165	1,6
3	57,5	4×10	65	1,2
4	200,2	3×70+1×35	220	0,8
5	264,9	3×120+1×70	270	1,1
6	25,8	4×4	34	0,9

Кабель АВБШв – это силовой кабель с алюминиевыми жилами, изоляцией из ПВХ, «бронированный стальными лентами и покрытый защитным шлангом из ПВХ. Он предназначен для передачи и распределения электроэнергии в стационарных установках на номинальное напряжение до 1 кВ частотой 50 Гц» [19]. Кабель используется для прокладки в земле, в траншеях с различной степенью коррозионной активности, а также для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях и помещениях. Он обладает высокой механической прочностью, устойчивостью к коррозии и воздействию агрессивных сред, а также не распространяет горение.

## 2.5 Расчет токов короткого замыкания

Схемы для расчета на вводе 10 кВ ТП – на рисунке 7.

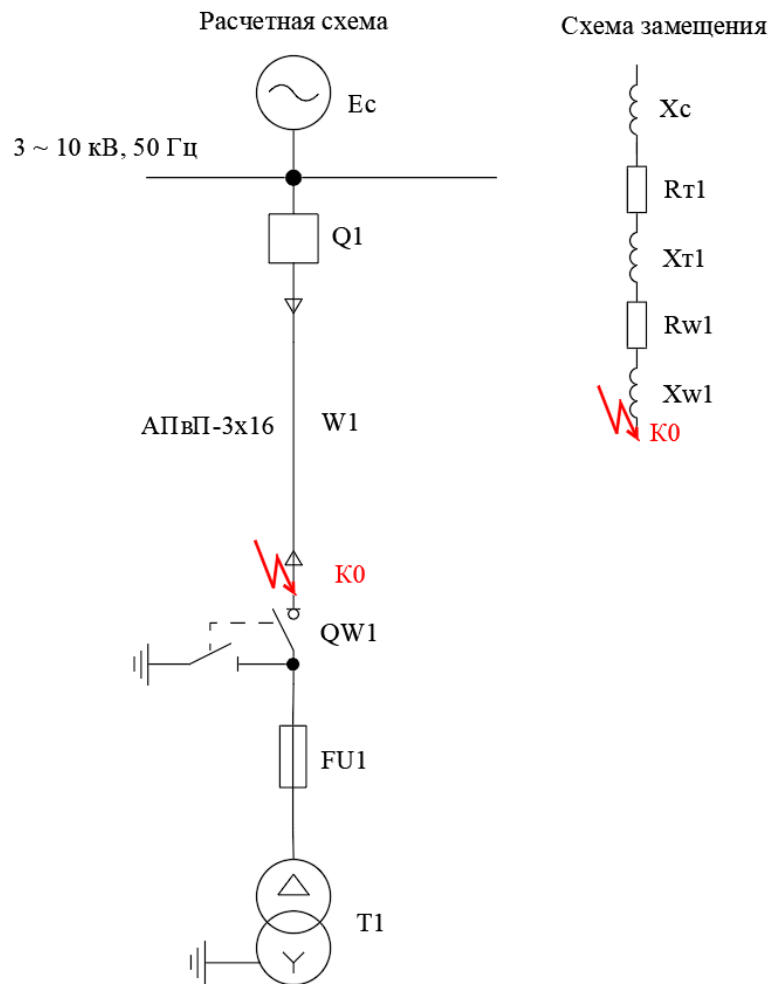


Рисунок 7 – Схемы для расчета токов КЗ

Трехфазный ток КЗ в начале КЛ 10 кВ:  $I_{к.з.РП}^{(3)} = 9,387$  кА.

«Сопротивление системы:

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

где  $U_k$  – напряжение КЗ, кВ.



Сопротивления КЛ 10 кВ:

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

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

где  $L_{w1}$  – длина КЛ, км» [13].

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

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

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

Полное сопротивление до точки К0:

$$Z_{k0} = \sqrt{R_{k0}^2 + X_{k0}^2}, \quad (17)$$

$$Z_{k0} = \sqrt{0,78^2 + (0,646 + 0,041)^2} = 1,039 \text{ Ом}.$$

«Трехфазный ток КЗ:

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

где  $Z_k$  – сопротивление цепи, Ом.

Двухфазный и ударный токи КЗ:

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

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

где  $K_y$  – ударный коэффициент» [16].

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

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

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

Расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ рассмотрим на примере КЗ на вводе РП цеха №1. Расчетные схемы – на рисунке 8.

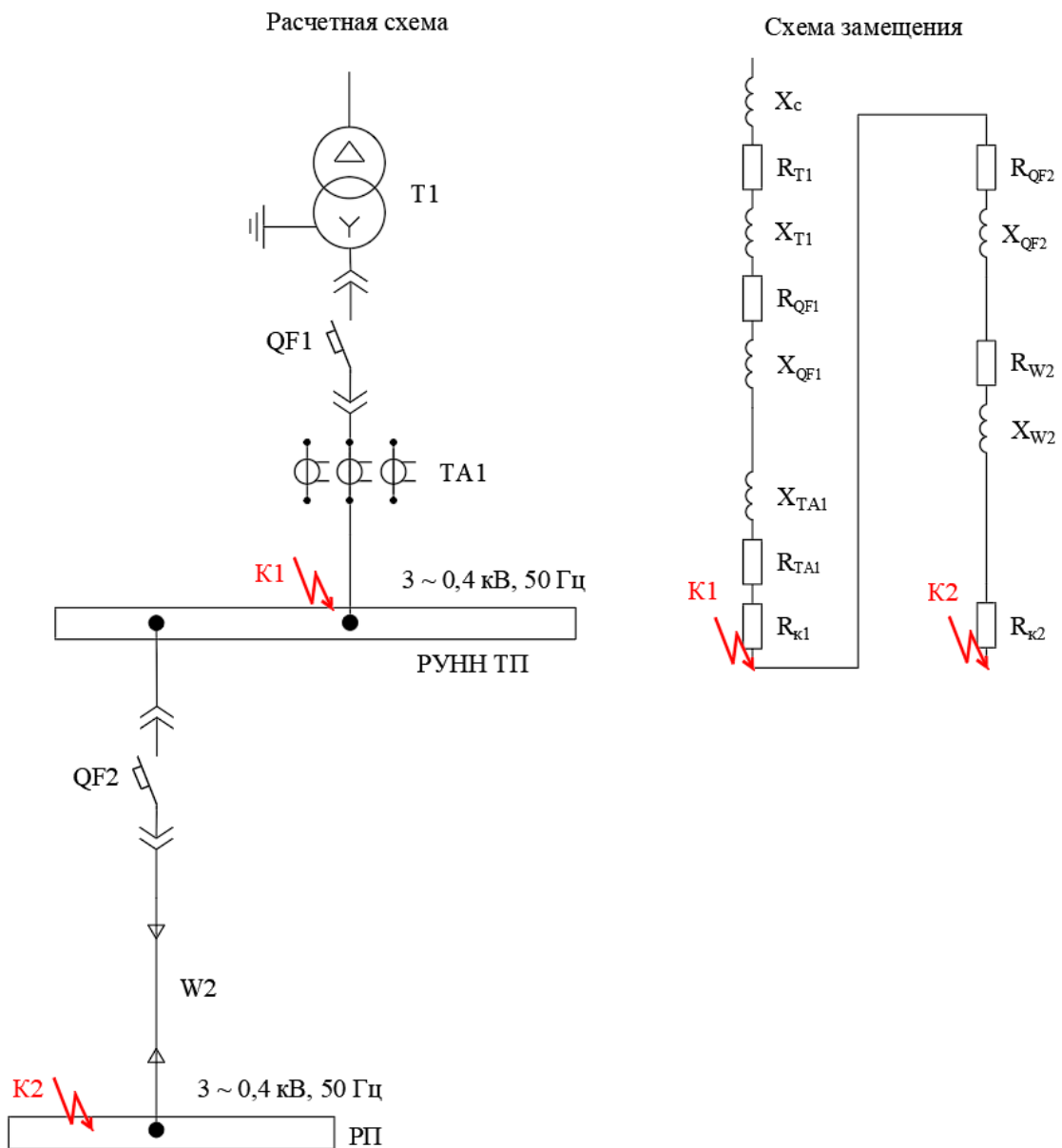


Рисунок 8 – Схемы для расчета токов КЗ

«Сопротивление системы:

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

где  $I_{к.з.К0}^{(3)}$  – трехфазный ток КЗ в точке К0, кА.

Сопротивление приводится к 0,4 кВ» [16]:

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

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

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

«Сопротивления трансформатора ТП и автоматов принимаются согласно справочным данным.

Сопротивления линии W2:

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

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

где L – длина КЛ, м» [16].

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

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

«Переходные сопротивления:  $R_{к1} = 0,0034 \text{ мОм}$ ;  $R_{к2} = 0,85 \text{ мОм}$ » [16].

$$R_{\vartheta 1} = R_{T1} + R_{QF1} + R_{TA1} + R_{K1}, \quad (25)$$

$$R_{\vartheta 1} = 9,4 + 0,06 + 0,07 + 0,0034 = 9,58 \text{ МОМ};$$

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

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

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

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

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

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

Сопротивления до точек КЗ:

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

$$R_{K1} = 9,58 \text{ МОМ};$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Трехфазный ток КЗ в точке К1, по (18):

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 67,611} = 4,86 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k^{(3)}, \quad (33)$$

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

Сопротивления петли «фаза-ноль»:

– для линии W2:

$$R_{\pi W2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{W2}, \quad (34)$$

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

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

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

– до точек К1, К2:

$$R_{\pi 1} = R_{\kappa 1}, \quad (35)$$

$$X_{\pi 1} = 2 \cdot X_c, \quad (36)$$

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

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

$$R_{\pi 2} = R_{\kappa 1} + R_{\pi W2} + R_{\kappa 2}, \quad (37)$$

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

$$X_{\pi 2} = X_{\pi W2} + 2 \cdot X_c, \quad (38)$$

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

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

«Однофазный ток КЗ в точке К1:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot (Z_{\text{п}} + \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3})}, \quad (39)$$

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

$Z_{\text{т}}^{(1)}$  – сопротивление трансформатора, мОм» [10].

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

Результаты расчетов сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов токов КЗ

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

Далее выбирается оборудование релейной защиты и автоматики (РЗА).

## 2.6 Релейная защита и автоматика

Релейная защита и автоматизация являются важными компонентами в обеспечении безопасности и надежности электроэнергетических систем, выполняя функции защиты, контроля и управления оборудованием. «Без этих систем невозможно представить современную электроэнергетику, так как они обеспечивают быстрое отключение поврежденных участков сети, предотвращая распространение аварии и минимизируя ущерб, контролируют ток и напряжение, отключая оборудование при превышении параметров» [3]. Данные системы автоматически включают питание после определенного

периода времени и контролируют работу оборудования, осуществляя мониторинг параметров сети. Применение РЗА позволяет повысить надежность и безопасность электроэнергетической системы, а также снизить затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию оборудования.

РЗА также играет важную роль в управлении и контроле, позволяя контролировать и управлять оборудованием, а также в самодиагностике и мониторинге, осуществляя постоянный контроль за состоянием оборудования и выявляя возможные неисправности. Это позволяет проводить своевременное техническое обслуживание и ремонт, что в свою очередь повышает надежность и безопасность системы, снижает затраты на эксплуатацию и обслуживание. В целом, РЗА является неотъемлемой частью современной электроэнергетики, обеспечивающей надежность, безопасность и эффективность работы оборудования [3].

«Выбор автоматических выключателей (АВ) проводится:

– по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (40)$$

– по току теплового расцепителя (ТР)» [7]:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (41)$$

Для КЛ к цеху №1:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 156,4 = 172 \text{ А.}$$

Выбирается ВА-52-39/250, уставка ТР 200 А. Выбор АВ – в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор аппаратов защиты КЛ 0,4 кВ

№ участка	$1,1 \cdot I_p, A$	Авт. выкл.	$I_{ном}, A$
1	172,0	ВА-52-39	250
2	167,9	ВА-52-39	250
3	63,3	ВА-51-35	80
4	220,2	ВА-52-39	250
5	291,4	ВА-52-39	320
6	28,4	ВА-51-35	32

Существует несколько типов автоматических выключателей, различающихся по своим характеристикам и назначению. Некоторые из них предназначены для защиты от короткого замыкания, другие – от перегрузки, а третьи – от пониженного напряжения. Выбор типа автоматического выключателя зависит от характеристик электрической системы и требований к безопасности. В данном случае выбраны надежные и проверенные в эксплуатации на предприятиях РФ автоматические выключатели серии ВА.

Внешний вид автоматов показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Автоматические выключатели



«Автоматические выключатели являются важным элементом электрической системы, обеспечивая защиту от короткого замыкания, перегрузки и других аварийных ситуаций» [18]. Они предназначены для автоматического отключения электрической цепи при возникновении аварийной ситуации, предотвращая повреждение оборудования и возможные травмы людей.

АВ состоят из нескольких основных компонентов, таких как контакты, расцепители, механизм управления и корпус. «Контакты служат для соединения и разъединения электрической цепи, расцепители обеспечивают автоматическое отключение при возникновении аварийной ситуации, механизм управления позволяет управлять выключателем вручную или автоматически, а корпус защищает все компоненты от внешних воздействий» [18].

Установка и эксплуатация АВ требует определенных знаний и навыков, поскольку ошибки могут привести к нежелательным последствиям, таким как отказ выключателя или возникновение аварийной ситуации. Поэтому рекомендуется обращаться к специалистам для установки и обслуживания автоматических выключателей.

Микропроцессорная РЗА представляет собой систему, в которой все функции релейной защиты и автоматизации выполняются с помощью микропроцессорных устройств. Это позволяет значительно повысить точность и быстродействие системы, а также расширить ее функциональные возможности. Например, микропроцессорные устройства могут обрабатывать большие объемы данных, выполнять сложные расчеты и анализировать состояние системы в реальном времени. Одним из главных преимуществ микропроцессорной РЗА является ее высокая точность и быстродействие, система может обрабатывать данные с высокой скоростью и точностью, что позволяет быстро реагировать на аварийные ситуации и предотвращать их распространение. «Защита КЛ 10 кВ и трансформаторов ТП реализуется на терминалах Сириус-2Л-02, схема защиты – на рисунке 10.

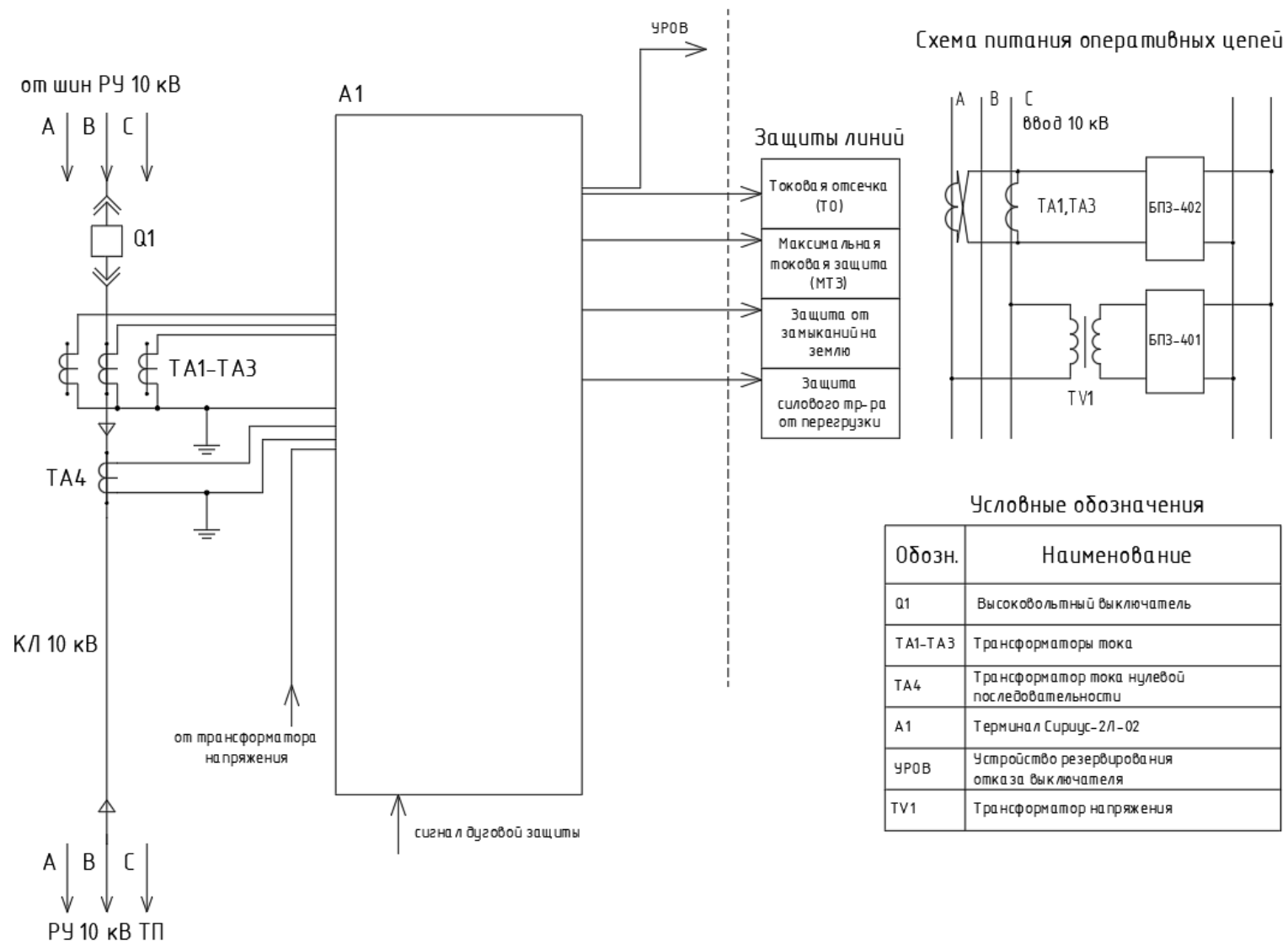


Рисунок 10 – Схема защиты КЛ 10 кВ и трансформаторов ТП

Внешний вид терминала – на рисунке 11.



Рисунок 11 – Терминал Сириус-2Л-02

Токовая отсечка (ТО):

$$I_{C3} \geq K_{omc} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (42)$$

где  $K_{omc}$  – коэффициент отстройки» [6].

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,0317 = 0,1585 \text{ кА}$$

«МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{p.макс}, \quad (43)$$

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

Чувствительность защиты:

$$k_u = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}}, \quad (44)$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T}, \quad (45)$$

где  $k_{cx}$ ,  $n_T$  – коэффициенты схемы и трансформации для ТТ» [9].

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 31,7 = 44,01 \text{ А}$$

$$k_u = \frac{5050}{44,01} = 114,7 \geq 1,5$$

$$I_{CP} = 44,01 \cdot \frac{1}{50/5} = 4,401 \text{ А}$$

«Ток срабатывания защиты от замыканий на землю:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C, \quad (46)$$

где  $k_{отс}$ ,  $k_B$  – коэффициенты отстройки и броска ёмкостного тока;

$I_C$  – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (47)$$

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

$L$  – длина КЛ, км» [3].

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

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

Автоматический ввод резерва (АВР) является важной системой обеспечения надежности электроснабжения. Он предназначен для автоматического переключения нагрузки с одного источника питания на другой в случае возникновения аварийной ситуации или отказа основного источника. «АВР обеспечивает непрерывность электроснабжения потребителей, что является одним из основных требований к системам электроснабжения. АВР позволяет снизить потери электроэнергии, связанные с простоем оборудования, и уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций. 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 12.

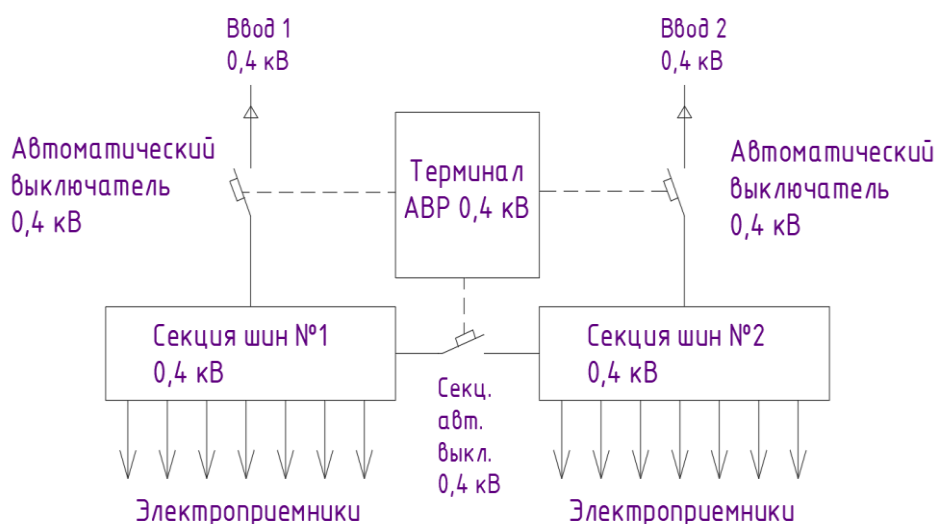


Рисунок 12 – Схема АВР

Система АВР может быть реализована различными способами, включая использование релейной защиты, микропроцессорных систем управления и других технологий» [8]. Выбор конкретной реализации зависит от требований к системе электроснабжения, характеристик нагрузки и других факторов. Автоматический ввод резерва является важным элементом системы электроснабжения, который обеспечивает надежность и непрерывность электроснабжения потребителей. При правильной настройке и эксплуатации АВР позволяет существенно повысить качество электроснабжения и снизить вероятность аварийных ситуаций.

«АВР реализуется на шинах 0,4 кВ подстанции с помощью микропроцессорного терминала Сириус-АВР, внешний вид терминала показан на рисунке 13.

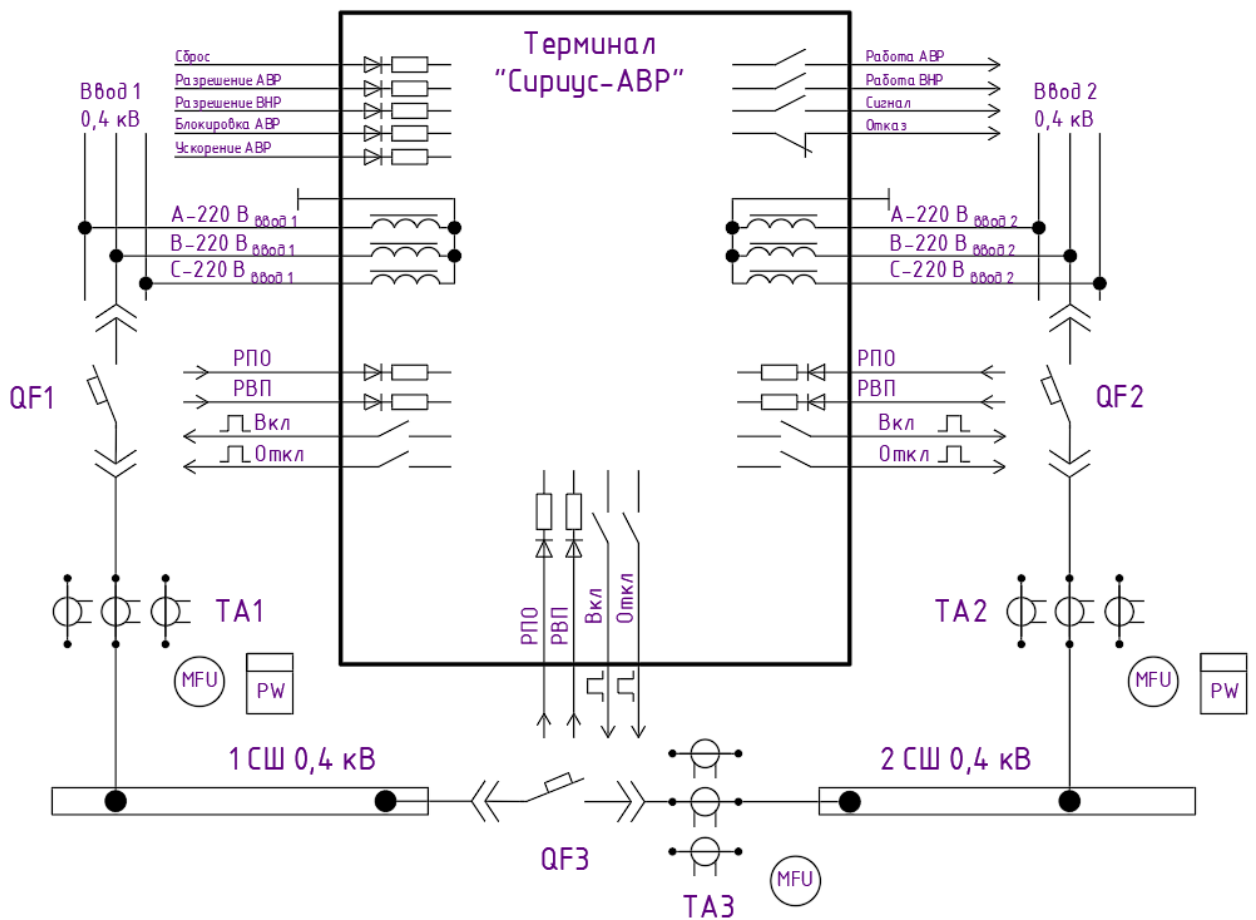


Рисунок 13 – Терминал АВР

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 14.



Элемент	Поз. обозн.	Обозначение	Кол.	Примечание
		Автоматические выключатели		
	QF1..QF3	Электрон Э16	3	
		Трансформаторы тока		
	TA1..TA3	ТШЛ-0,66-У1	9	

Рисунок 14 – Схема АВР 0,4 кВ

Первая уставка АВР:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (48)$$

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

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

Вторая уставка АВР:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (49)$$

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

«Время срабатывания АВР:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (50)$$

где  $t_1$  – время срабатывания выключателей, с;

$\Delta t$  – ступень селективности, с» [8].

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

Важно отметить, что правильная настройка и эксплуатация системы АВР требует определенных знаний и опыта. Неправильная настройка может привести к нарушению работы системы электроснабжения и даже к аварийным ситуациям. Поэтому для установки и настройки АВР рекомендуется обращаться к профессионалам.

«Поставщиком терминалов РЗ также предоставляется специализированное ПО для контроля параметров режима работы терминалов и электрических сетей в целом. Например, на рисунке 15 показано главное окно ПО МиКРА.



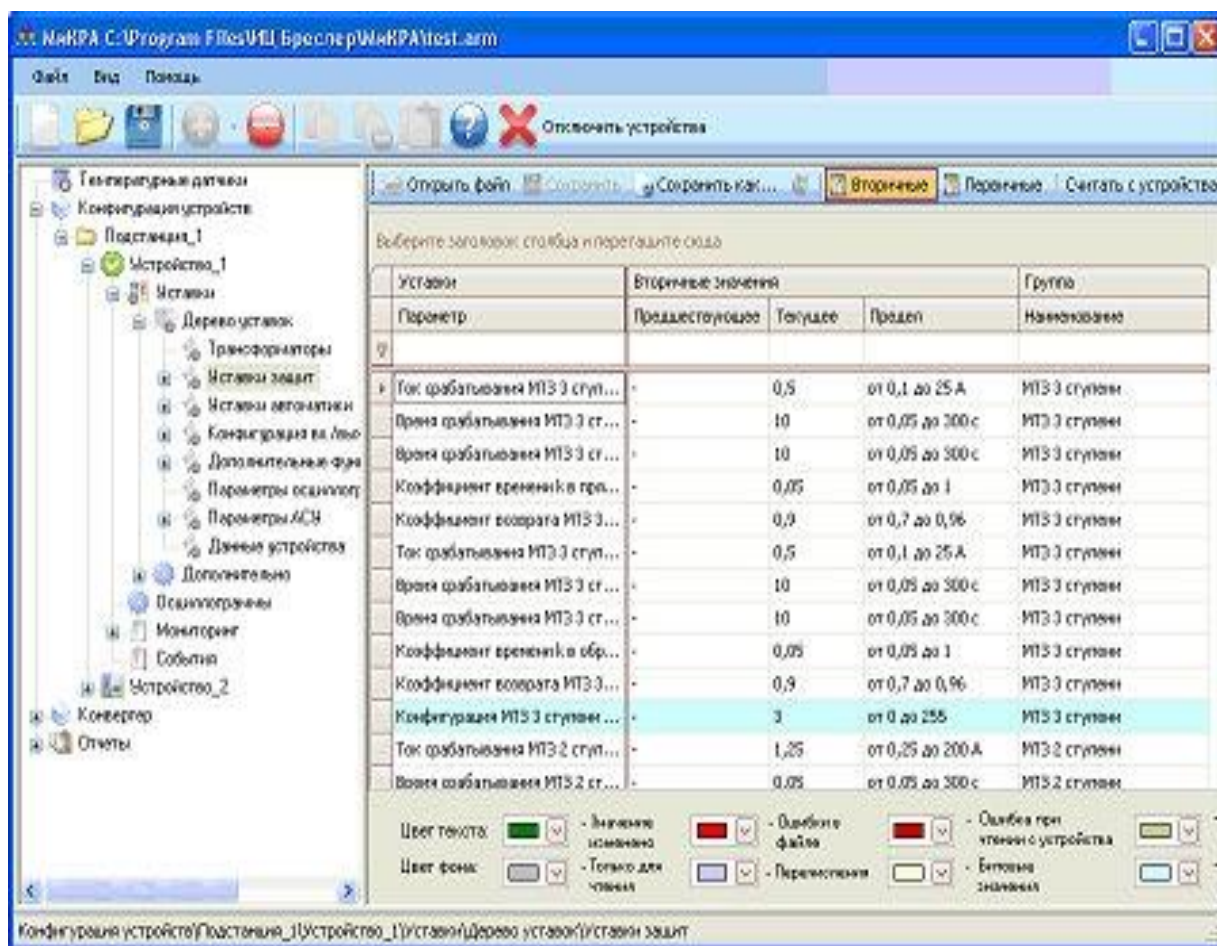


Рисунок 15 – Главное окно ПО МИКРА

Данное ПО обеспечивает:

- контроль состояния терминалов;
- мониторинг параметров работы цепей РЗА;
- самодиагностику элементов РЗА;
- анализ режимов работы защищаемых цепей;
- автоматическую передачу данных о работе РЗА в цифровом формате на диспетчерский пункт.

Параметризация, управление и мониторинг терминалов РЗА производится с помощью ПО ТЕСОМ через ПК, окно программы показано на рисунке 16.

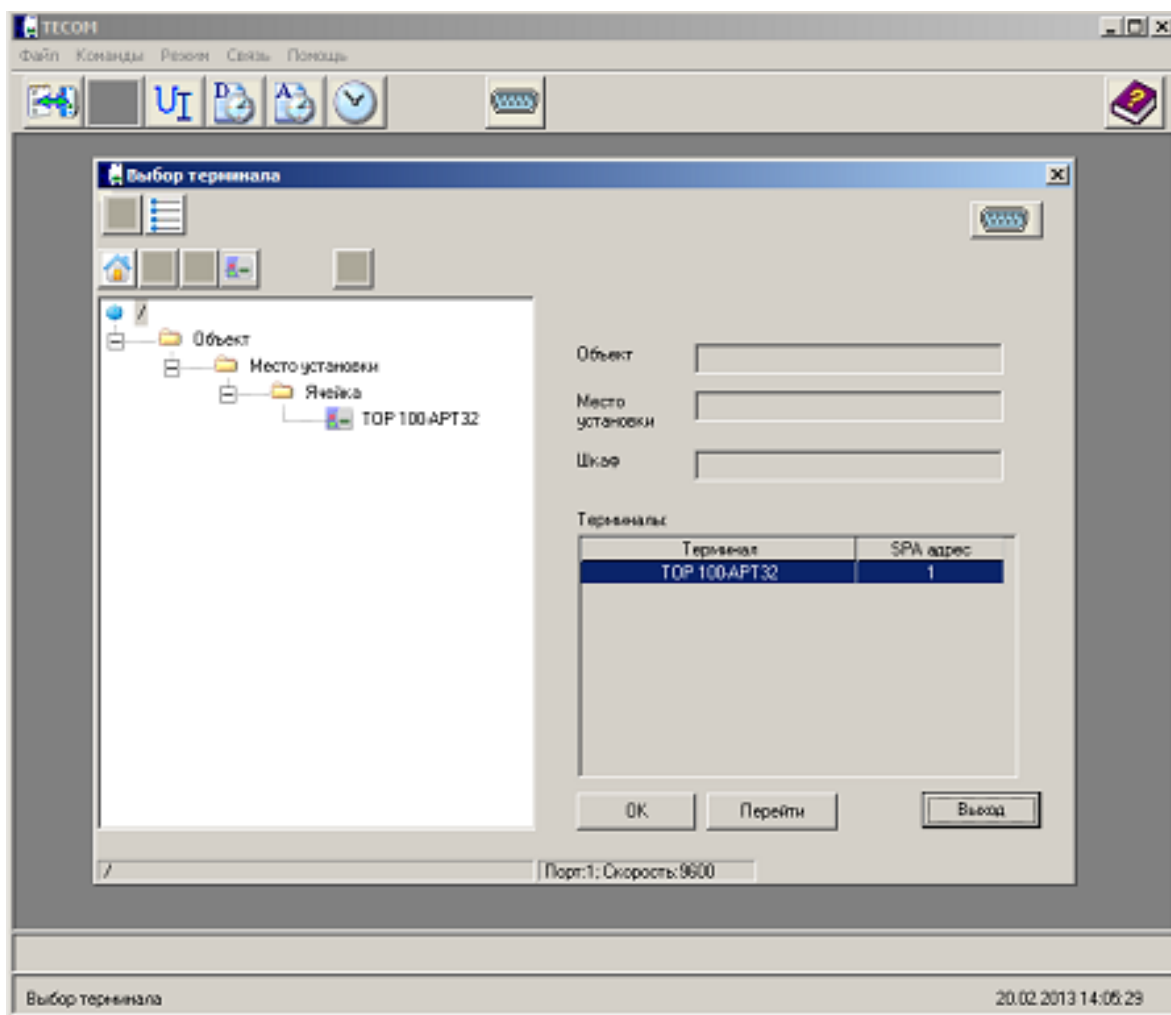


Рисунок 16 – Окно ПО ТЕСОМ

Использование программного обеспечения РЗА позволяет существенно повысить эффективность и надежность работы энергосистемы, снизить затраты на ее эксплуатацию и улучшить качество электроснабжения потребителей» [9].

Выводы.

Согласно исходным данным по инфраструктуре и энергопотреблению производственных участков проведена разработка системы электроснабжения базы по производству электрического и электронного оборудования ООО «Стан», г. Тольятти. Выбрано современное высоконадежное оборудование СЭС, применены технические решения, обеспечивающие высокую энергоэффективность и безопасность.

### **3 Обеспечение охраны труда и окружающей среды**

#### **3.1 Обеспечение охраны труда**

Вопросы обеспечения охраны труда при монтаже и эксплуатации системы электроснабжения актуальны и важны для общества. Охрана труда является одним из основных принципов при проектировании и эксплуатации СЭС, поскольку электрическая энергия обеспечивает функционирование всех сфер экономики. Для обеспечения охраны труда необходимо применять безопасные материалы и оборудование, а также соблюдать требования охраны труда. Важным аспектом является обучение работников и проверка их знаний в области охраны труда и техники безопасности. Также необходимо учитывать экологические аспекты. Применение экологически чистых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, позволяет снизить выбросы вредных веществ и зависимость от ископаемых видов топлива. «Важно также учитывать влияние на состояние окружающей среды при выборе материалов и оборудования. Таким образом, обеспечение охраны труда и экологической безопасности является важным аспектом при монтаже и эксплуатации систем электроснабжения для поддержания устойчивого развития общества и сохранения окружающей среды.

Охрана труда (ОТ) и техника безопасности (ТБ) при монтаже, эксплуатации, обслуживании, ремонте системы электроснабжения обеспечиваются согласно действующему ГОСТ 12.0.004-2015» [12].

«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 17» [17].



должен обеспечивать требуемое значение сопротивления заземления, которое определяется правилами и нормами электробезопасности.

Удельное сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных электродов:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (51)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление, Ом · м;

$K_c$  – коэффициент сезонности» [14].

$$\rho_{pe} = 1000 \cdot 1,1 = 1100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{pe} = 1000 \cdot 1,4 = 1400 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

«Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50×50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50×5 мм. Сопротивление растеканию ВЭ:

$$R_{овэ} = \frac{\rho_{pe}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad (52)$$

где  $l$  – длина ВЭ, м;

$d$  – приведенный диаметр, м;

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

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (53)$$

где  $b$  – ширина уголка, м» [14].

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

$$t = 3/2 + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

$$R_{овэ} = \frac{1100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 62,411 \text{ Ом}$$

«Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{\text{овэ}} / R_n \quad (54)$$

где  $R_n$  – допустимое сопротивление ЗУ, Ом» [14].

$$n' = 62,411 / 4 = 15,6 \approx 16 \text{ шт}$$

«Длина ГЭ:

$$l_2 = 1,05 \cdot a \cdot n' \quad (55)$$

где  $a$  – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n' \quad (56)$$

где  $l_{\text{пер}}$  – периметр здания ТП, м» [14].

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

$$a = 32,6 / 16 = 2,04 \text{ м}$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 2,04 \cdot 16 = 34,27 \text{ м}$$

«Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{23} = \frac{\rho_{\text{пз}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{d \cdot t} \right) \quad (57)$$

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (58)$$

где  $b$  – ширина полосы, м» [14].

«Схема заземления ТП – на рисунке 18.

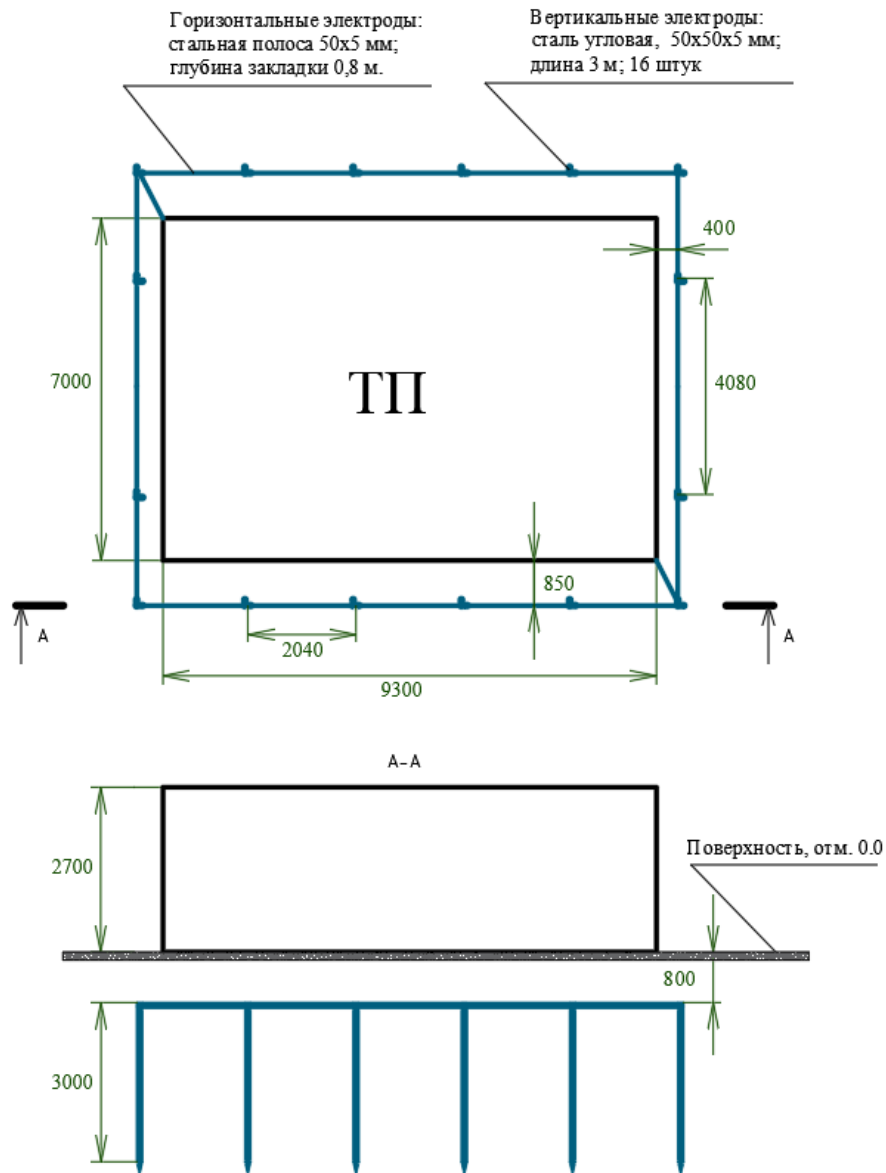


Рисунок 18 – Схема заземления ТП

Для ГЭ, по (57,58):

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

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

$$R_{29} = \frac{1400}{2 \cdot 3,14 \cdot 34,27} \cdot \ln \left( \frac{34,27^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,598 \text{ Ом}$$

«Итого сопротивление заземления:

$$R_{zp} = \frac{R_{063} \cdot R_{23}}{R_{063} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{23} \cdot \eta_2} \quad (59)$$

где  $\eta_6, \eta_2$  – коэффициент использования ВЭ и ГЭ» [14].

$$R_{zp} = \frac{62,411 \cdot 2,598}{62,411 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,598 \cdot 0,3} = 3,711 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

«ТП не требует дополнительных мер по молниезащите ввиду полностью металлического корпуса, соединенного с ЗУ» [21].

### 3.3 Обеспечение охраны окружающей среды

Обеспечение охраны окружающей среды при монтаже и эксплуатации СЭС является одной из самых актуальных и важных задач в современном мире [5]. СЭС обеспечивает работу многих предприятий и объектов, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Важным аспектом является выбор материалов и оборудования для монтажа системы электроснабжения. Необходимо использовать материалы и оборудование, которые не оказывают негативного воздействия на окружающую среду, не содержат вредных веществ и не загрязняют почву, воду и воздух. В данном случае при разработке системы электроснабжения использовались рекомендации и учтены требования ГОСТ Р 54906-2012, проект СЭС соответствует требованиям по охране окружающей среды.

Выводы.

Разработанная система электроснабжения базы по производству электрического и электронного оборудования соответствует актуальным требованиям по охране труда и окружающей среды. Выбранные технические решения и современное электрооборудование обеспечат безопасность персонала и высокий уровень экологической безопасности.



## Заключение

Проведена разработка системы электроснабжения базы по производству электрического и электронного оборудования ООО «Стан», г. Тольятти.

Рассмотрены вопросы и решены задачи:

- рассмотрены характеристики предприятия и базы по производству электрического и электронного оборудования, проведен анализ электроприемников и требований к надежности обеспечения электроснабжения производственных участков;
- выполнен расчет электрических нагрузок производственных участков и базы в целом;
- рассчитана компенсация реактивной мощности, выбраны эффективные автоматические компенсирующие установки серии АУКРМ;
- проведен выбор силовых трансформаторов и марки подстанции, на подстанции приняты к установке энергосберегающие силовые трансформаторы марки ТМГ12-10/400;
- проведен выбор кабелей высоковольтной линии до подстанции;
- выполнен расчет распределительной сети, выбраны кабели, линии проверены по потерям напряжения;
- проведен расчет токов КЗ;
- выбрано оборудование релейной защиты и автоматики;
- рассмотрено обеспечение охраны труда и окружающей среды, рассчитано заземляющее устройство подстанции.

Предложенные технические решения по электроснабжению планируются к реализации при строительстве базы по производству электрического и электронного оборудования ООО «Стан», г. Тольятти. Будет обеспечено надежное и энергоэффективное электроснабжение потребителей.

## Список используемых источников

1. Андрианов Д.П. Оптимизационные задачи электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 156 с.
2. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
3. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
4. Голов Р. С. Управление энергосбережением на промышленном предприятии : монография. М. : Дашков и К, 2023. 458 с.
5. Головатый С. Е. Охрана окружающей среды и энергосбережение : учебное пособие. Минск : РИПО, 2021. 304 с.
6. Горемыкин С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 191 с.
7. Грунтович Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 271 с.
8. Иванов С.Н. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
9. Куксин А. В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. 200 с.
10. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
11. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
12. Пасютина О. В. Охрана труда при технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие. – 4-е изд., стер. Минск : РИПО, 2021. 115 с.

13. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
14. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. СПб. : Лань, 2023. 396 с.
15. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
16. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания. М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2002. 149 с.
17. Сибикин Ю. Д. Охрана труда и электробезопасность : учебное пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 312 с.
18. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учебное пособие. – 3-е изд., испр. М. : ИНФРА-М, 2023. 214 с.
19. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.
20. Школа для электрика. Сайт. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 30.03.2024).
21. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 495 с.