

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 основного производства предприятия по  
производству минеральных удобрений

Обучающийся

Э.Р. Литвинов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Тольятти 2025

## Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из 46 страниц, 13 рисунков, 6 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: электроснабжение, группа цехов, цех, производство, питание, электроприемник, нагрузка, потребитель, оборудование, линия, защита, надежность.

Выполняется проектирование системы электроснабжения группы цехов предприятия по производству минеральных удобрений.

Актуальность разработки: из-за растущего спроса на выпускаемую продукцию агрохолдинговая компания собирается создать новую производственную площадку, включающую основные промышленные цеха и дополнительные обслуживающие подразделения. Надежная и качественная подача электроэнергии выступает необходимым фактором успешного запуска и бесперебойной эксплуатации данной площадки. После реализации предложенного проекта электроснабжения, дополнительная группа цехов с установленными там высокотехнологичными производственными линиями, обеспечит наращивание объемов выпускаемой продукции и повышение прибыльности предприятия.

Содержание работы включает вопросы: общая характеристика производства, исходные данные для разработки системы электроснабжения; проектирование электроснабжения группы цехов.

## Содержание

Введение .....	4
1 Общая характеристика производства, исходные данные для разработки системы электроснабжения .....	7
2 Разработка системы электроснабжения группы цехов .....	10
2.1 Расчет электрических нагрузок .....	10
2.2 Выбор марки, числа и мощности силовых трансформаторов, выбор подстанции.....	12
2.3 Выбор кабелей питающей линии 10 кВ до подстанции .....	17
2.4 Выбор кабелей распределительной сети.....	20
2.5 Определение токов короткого замыкания .....	22
2.6 Выбор аппаратов защиты линий.....	27
2.7 Выбор оборудования автоматического ввода резерва питания .....	34
2.8 Разработка контура заземления подстанции.....	36
Заключение .....	43
Список используемых источников.....	45

## Введение

Электроснабжение промышленных предприятий – это «важнейший аспект их успешной и бесперебойной работы. Оно включает в себя обеспечение надежного и устойчивого электропитания всех производственных процессов, оборудования и вспомогательных систем. Эффективное электроснабжение является залогом стабильной работы, минимизации рисков аварий и снижения расходов на энергию» [10].

Система энергоснабжения промышленного объекта включает несколько ключевых компонентов:

- источники энергии – это электрические генераторы, трансформаторные подстанции либо внешние линии электропередач, обеспечивающие поставку электричества предприятию;
- трансформаторные подстанции – предназначены для преобразования входящего напряжения до необходимых уровней для последующего распределения;
- распределительная сеть – осуществляет передачу электроэнергии между различными подразделениями и объектами производства;
- электросчетные устройства и контрольные панели – отвечают за управление процессом подачи электроэнергии, защиту оборудования от аварийных ситуаций вроде перегрузки или короткого замыкания;
- кабельные коммуникации – создают надёжную связь между всеми элементами системы энергоснабжения.

Электроснабжение промышленных предприятий – это сложный и ответственный процесс, требующий комплексного подхода. Надёжная и устойчивая система электроснабжения является залогом успешной работы предприятия, минимизации рисков и снижения затрат.

Производственные цеха являются основной единицей промышленной инфраструктуры предприятий. В них находятся различные станки, технологические линии, сборочные конвейеры и другое производственное оборудование различных типов. В соответствии с производственными цепочками и технологическими процессами цеха, как правило, разделяются на отдельные группы, которые вместе с дополнительными вспомогательными производственными участками на огороженной территории образуют производственные объекты – заводы, фабрики, технологические комплексы, производственные базы. Качественное и надежное электроснабжение данных объектов является обязательным условием их ввода в эксплуатацию и эффективной работы. Расположенные в цехах и на других производственных участках электроприемники требуют надежного питания электрической энергией в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и другими актуальными нормативными и техническими документами по реализации систем электроснабжения. Производственные цеха, в зависимости от величины суммарной электрической нагрузки, питаются либо от собственной трансформаторной подстанции (при значительной суммарной нагрузке потребителей, как правило, более 250 кВА), либо (при меньшей суммарной нагрузке) от «ближайшей трансформаторной подстанции (ТП) соседнего цеха или иного производственного участка. В целом, как правило, группы цехов вместе с дополнительными вспомогательными производственными участками питаются от главной понизительной подстанции (ГПП), обеспечивающей прием электроэнергии от энергосистемы, ее трансформацию в более низкий класс напряжения, и ее распределение по внутренней электрической сети предприятия» [10].

Системы электроснабжения предприятий играют ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы производственного процесса, безопасности персонала и сохранности оборудования. Основные требования к таким системам определяются нормативными документами, стандартами и

спецификой конкретного предприятия. Одним из ключевых требований к СЭС является их надежность. Надежность предполагает обеспечение бесперебойного энергоснабжения всех производственных зон. Безопасность электрической инфраструктуры заключается в предотвращении аварий, возгораний и иных рисков, возникающих вследствие сбоев или дефектов работы электрооборудования. Экономическая эффективность СЭС направлена на сокращение расходов на энергию и техобслуживание. Главные критерии экономической целесообразности состоят в следующем: повышение эффективности энергопотребления – внедрение энергосберегающих устройств и решений (светодиодное освещение, частотные регуляторы, интеллектуальные контроллеры); контроль и прогнозирование – установка приборов учёта электричества для мониторинга расхода и поиска резервов оптимизации; уменьшение технических потерь – сведение к минимуму утечек энергии.

Современное развитие технологий и стандартов позволяет создавать более эффективные и безопасные системы электроснабжения, соответствующие потребностям современных предприятий.

Актуальность разработки: в связи с увеличением спроса на рынке на свою продукцию, предприятие по производству минеральных удобрений планирует построить новую промышленную базу, включающую основные промышленные цеха и дополнительные обслуживающие подразделения. Надежная и качественная подача электроэнергии выступает необходимым фактором успешного запуска и бесперебойной эксплуатации данного объекта.

Цель работы: обеспечение надежного электроснабжения группы цехов предприятия.

Задачи работы:

- определить электрические нагрузки;
- рассчитать рабочие и аварийные режимы СЭС;
- выбрать основное электрооборудование СЭС.

## 1 Общая характеристика производства, исходные данные для разработки системы электроснабжения

Предприятие по производству минеральных удобрений планирует построить новую промышленную базу (основное производство предприятия), в состав которой будут входить производственные цеха и другие вспомогательные производственные участки.

«Генеральный план основного производства предприятия с расположением цехов показан на рисунке 1.

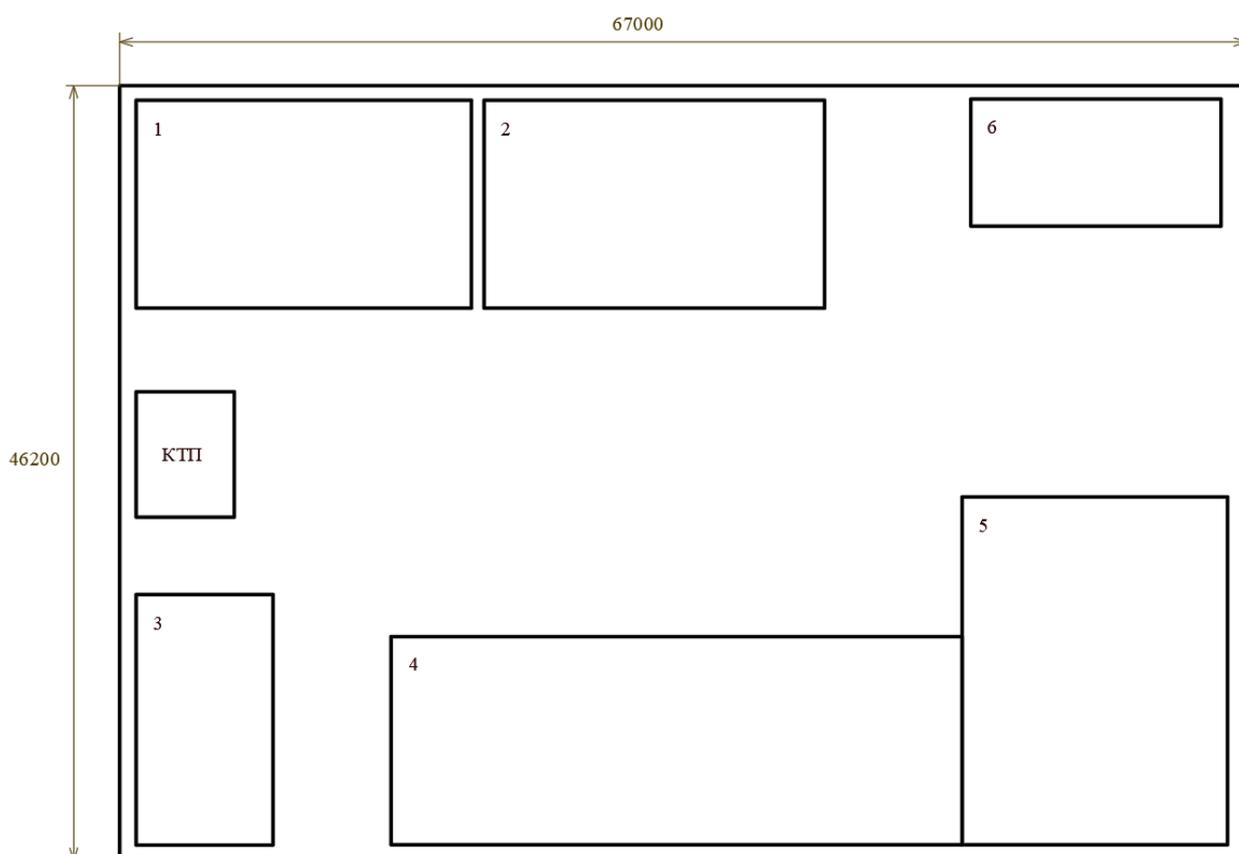


Рисунок 1 – Генеральный план основного производства предприятия

На прямоугольной, огороженной металлическим забором территории, будет расположено 6 производственных участков, включая цеха по производству минеральных удобрений.

Перечень производственных участков и данные по их электропотреблению (номинальные нагрузки потребителей, коэффициенты мощности и спроса нагрузок) приведен в таблице 1» [10].

Таблица 1 – Перечень производственных участков

№ на генплане	Участки	$\sum P_{ном},$ кВт	cosφ	Kс
1	Хранилище сырья	30,9	0,86	0,28
2	Хранилище готовой продукции	27,1	0,92	0,28
3	Котельная	20,9	0,82	0,79
4	Цех №1	408	0,79	0,68
5	Цех №2	347	0,77	0,68
6	Цех №3	33	0,89	0,47

«Питание производственных участков будет выполнено от комплектной трансформаторной подстанции (КТП), место ее расположения, с учетом инфраструктуры и технологических процессов на объекте, и согласно проектной документации, приведено на рисунке 1. КТП будет питаться от распределительного пункта (РП) 10 кВ энергосистемы по кабельной линии, проложенной в траншее» [10].

Производство минеральных удобрений – это сложный технологический процесс, который включает в себя несколько этапов, начиная от добычи сырья и заканчивая упаковкой готовой продукции. Основными компонентами минеральных удобрений являются азот, фосфор и калий. Азотные удобрения, такие как аммиак и мочевины, производятся из природного газа, который служит источником водорода. Фосфорные удобрения получают из фосфоритов, а калийные – из калийных солей. Для производства азотных удобрений, например, природный газ подвергается процессу реформинга, в результате которого образуется синтетический газ, содержащий водород и угарный газ. После этого газ вступает во взаимодействие с атмосферным азотом в ходе процесса синтеза аммиака

согласно методу Хабера-Боша. Синтезированный аммиак применяется для изготовления разных видов азотсодержащих удобрений – аммониевых солей и карбамида (мочевины). Производство фосфорных удобрений включает обработку природных фосфоритов серной кислотой, результатом которой становится фосфорная кислота; она впоследствии обрабатывается аммиаком до образования фосфатов. Калийные удобрения получают методом растворения калийных минералов в воде с последующим выделением калиевых соединений путём кристаллизации.

Для обеспечения производственных процессов на объекте в цехах будут установлены современные высокоавтоматизированные технологические линии по производству минеральных удобрений, под точным электронным управлением, обеспечивающим точную дозировку реагентов и различных смесей. Данные технологические линии требуют бесперебойного питания электрической энергией, при перерывах электроснабжения будет сбой программы производственных операций, массовый брак продукции и значительный экономический ущерб. Возможна также поломка элементов дорогостоящего оборудования. Данные технологические линии будут установлены в основных производственных цехах №1 и №2, которые относятся к первой категории надежности электроснабжения (КНЭ) согласно ПУЭ [15]. Во вспомогательном цехе №3 будет, в основном, обеспечиваться предварительная заготовка сырья специализированными станками, работа которых допускает достаточно долговременные перерывы электроснабжения как для потребителей третьей КНЭ. Котельная обеспечивает централизованное теплоснабжение и относится к первой КНЭ. Хранилища относятся к третьей категории.

Выводы по разделу 1. Приведена общая характеристика производства, систематизированы исходные данные для разработки системы электроснабжения. Рассмотрены требования по обеспечению надежности электроснабжения производственных участков, по категориям надежности электроснабжения.

## **2 Разработка системы электроснабжения группы цехов**

### **2.1 Расчет электрических нагрузок**

Электрические нагрузки играют ключевую роль в функционировании любого предприятия, независимо от его размера и сферы деятельности. Понимание и управление этими нагрузками является необходимым условием для «обеспечения эффективной работы, снижения затрат и повышения надежности электроснабжения. Электрическая нагрузка – это потребление электрической энергии оборудованием и системами, используемыми на предприятии. Нагрузки могут быть различными: от освещения и отопления до сложных производственных машин и систем автоматизации. Они делятся на несколько категорий: активные, реактивные и полные нагрузки» [2]. Активные нагрузки превращают электроэнергию непосредственно в полезную деятельность (тепло, свет, механическое движение), тогда как реактивные составляющие взаимодействуют с электромагнитными полями, не расходуя энергию обычным образом. Полная нагрузка включает в себя обе составляющие – активную и реактивную. Точное вычисление и оценка электрических нагрузок имеет ключевое значение при проектировании энергосистем. Ошибки в расчётах способны вызвать нехватку мощностей трансформаторных установок, перегрузки кабельных сетей и, соответственно, аварийные ситуации и длительные остановки оборудования. Именно поэтому компании обязаны регулярно замерять и исследовать электрические нагрузки, адаптируя системы энергоснабжения к меняющимся производственным нуждам.

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

Формулы для расчета среднесменных активных, реактивных и полных мощностей:

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

где  $K_c$  – коэффициент спроса активной мощности;

$P_{ном}$  – нагрузка электроприемников, кВт» [2].

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

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

Для участка №1, по (1,2,3):

$$P_c = 0,28 \cdot 30,9 = 8,65 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 8,65 \cdot 0,59 = 5,13 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{8,65^2 + 5,13^2} = 10,06 \text{ кВА}.$$

Электрические нагрузки определены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение электрических нагрузок

Номер	Участки	P <sub>ном</sub> , кВт	K <sub>c</sub>	cosφ	tgφ	Средние нагрузки		
						P <sub>c</sub> , кВт	Q <sub>c</sub> , квар	S <sub>c</sub> , кВА
1	Хранилище сырья	30,9	0,28	0,86	0,59	8,65	5,13	10,06
2	Хранилище готовой продукции	27,1	0,28	0,92	0,43	7,59	3,23	8,25
3	Котельная	20,9	0,79	0,82	0,70	16,51	11,52	20,14
4	Цех №1	408	0,68	0,79	0,78	277,44	215,32	351,19
5	Цех №2	347	0,68	0,77	0,83	235,96	195,52	306,44
6	Цех №3	33	0,47	0,89	0,51	15,51	7,95	17,43
Всего		866,9	0,65	0,79	0,78	561,66	438,68	712,67

«Освещение территории будет выполнено светодиодным автономным, поэтому данная нагрузка не учитывается» [10].

## 2.2 Выбор марки, числа и мощности силовых трансформаторов, выбор подстанции

Компенсация реактивной мощности представляет собой ключевое направление оптимизации энергопотребления, способствующее повышению эффективности функционирования электроустановок. Реактивная мощность является частью общей мощности сети, которая не используется непосредственно для совершения полезной работы, однако она нужна для формирования электромагнитных полей в катушках индуктивности и конденсаторах. Эта энергия постоянно циркулирует между генератором и потребителем, не превращаясь ни в тепло, ни в движение. Активная же мощность, напротив, тратится именно на совершение работы – приведение в действие двигателей или обеспечение освещения помещений. Реактивная мощность лишь кратковременно накапливается в магнитных структурах элементов схемы и затем снова возвращается в электрическую сеть. Основной целью компенсации реактивной мощности является снижение или исключение негативных эффектов, связанных с её присутствием в сети. Компенсация позволяет:

- снизить потери энергии, за счёт уменьшения тока в сети уменьшаются тепловые потери в проводниках;
- повысить КПД системы, улучшается использование активной мощности;
- стабилизировать напряжение, КРМ помогает поддерживать стабильное напряжение в сети, что особенно важно для чувствительного оборудования [5].

«Требуемая для компенсации реактивная нагрузка:

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

где  $P_p$  – нагрузка, кВт;

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

$tg\varphi_k$  – нормативный тангенс угла  $\varphi$  [4].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 561,66 \cdot (0,78 - 0,33) = 228 \text{ квар.}$$

На шинах НН подстанции будет установлено две установки АУКРМ по 115 квар. КРМ рассчитана в таблице 3.

Таблица 3 – Компенсация реактивной мощности

Показатели	cos $\varphi$	tg $\varphi$	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА
Всего на НН	0,79	0,78	561,66	438,68	712,67
КУ, квар	-	-	-	230	-
Всего на НН с КУ	0,94	0,37	561,66	208,68	599,17
Потери	-	-	11,98	59,92	-
Всего на ВН с КУ	-	-	573,64	268,59	633,41

«Потери в трансформаторах:

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

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 599,17 = 11,98 \text{ кВт,}$$

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

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 599,17 = 59,92 \text{ квар.}$$

Нагрузка ТП по стороне ВН, по (3):

$$S'_p = \sqrt{(561,66 + 11,98)^2 + (208,68 + 59,92)^2} = 633,41 \text{ кВА.}$$

Внешний вид установки АУКРМ показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Установка АУКРМ

Необходимая 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» [8].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 599,17 = 419 \text{ кВА.}$$

«Принимается два энергоэффективных трансформатора марки ТМГ33 ХЗК2-630-10/0,4, которые представляют собой трёхфазные масляные трансформаторы, разработанные для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей» [11].

Внешний вид трансформатора ТМГ33 ХЗК2-630-10/0,4 показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Силовой трансформатор ТМГ33 ХЗК2-630-10/0,4

Трансформаторы силовые серии ТМГ33 ХЗК2 представляют собой современные технические решения, применяемые для изменения величины электрического напряжения. Данные устройства находят широкое применение в производственных сферах, коммунальном хозяйстве и строительной отрасли, обеспечивая бесперебойное питание потребителей [3].

Конструкция включает несколько ключевых элементов:

- сердечник – производится из качественной электротехнической стали, минимизирующей потери от токов Фуко и магнитного гистерезиса;
- обмотки – изготовлены из медных проводов с надежной изоляцией, предотвращающей электрические пробой и увеличивающей срок службы оборудования;

- охлаждающее устройство – реализуется посредством специальных радиаторов для эффективного рассеивания выделяемого тепла;
- корпус – герметичный, выполненный из прочных материалов, обеспечивающих защиту внутренних компонентов.

Трансформаторы ТМГ33 ХЗК2 обладают рядом преимуществ, делающих их популярными в различных отраслях:

- высокая эффективность – низкие потери на вихревые токи и гистерезис обеспечивают высокую эффективность преобразования энергии;
- надежность и долговечность – герметичный корпус и качественные материалы обеспечивают долгий срок службы и устойчивость к внешним воздействиям;
- компактные размеры – трансформаторы отличаются небольшими габаритами, что облегчает их транспортировку и установку.

«Коэффициент загрузки трансформатора в аварийном режиме:

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

где  $S_m$  – номинальная мощность, кВА.

$$K_{з.ав.} = \frac{599,17}{630} = 0,95 \leq 1,4.$$

Установка современной комплектной ТП марки 2КТПН-630/10/0,4 со штатным комплектом оборудования позволит сократить затраты на монтаж, установку и наладку, а также сократить экономические затраты в целом, повысить удобство эксплуатации и ремонт ТП. Данная подстанция имеет полностью металлический корпус, надежно защищенный от атмосферных осадков» [13].

### 2.3 Выбор кабелей питающей линии 10 кВ до подстанции

«Расчетный ток линии:

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

где  $S'_p$  – нагрузка, кВА;

$U_n$  – напряжение, кВ;

$n$  – число цепей, шт.

$$I_p = \frac{633,41}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 18,3 \text{ А.}$$

Экономическое сечение жил:

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

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

$$F_{\text{эк}} = \frac{18,3}{1,4} = 11,4 \text{ мм}^2.$$

Выбирается кабель АПвП-3×16 мм<sup>2</sup>.

«Аварийный ток линии, по (9):

$$I_{\text{ав}} = \frac{633,41}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 36,6 \text{ А.}$$

Допустимый ток кабеля:

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

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

$K_{\text{нов}}$ ,  $K_{\text{ср}}$ ,  $K_{\text{нон}}$  – коэффициенты недогруженности КЛ, среды и групповой прокладки» [10].

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

Внешний вид кабеля марки АПвП-3×16 показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Кабель марки АПвП-3×16

«Потери напряжения в линии:

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

где  $I_p$  – максимальный ток КЛ, А;

$L$  – длина КЛ, км;

$r_0$ ,  $x_0$  – удельные сопротивления кабеля, Ом/км.

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot 36,6 \cdot 0,805 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,92 + 0,102 \cdot 0,392) = 0,12 \% < 5 \%$$

Потери напряжения – в рамках допустимых пределов» [11].

Кабели типа АПвП представляют собой высоковольтные силовые изделия с полиэтиленовой изоляцией повышенной прочности (сшитый полиэтилен), используемые для передачи и распределения электроэнергии. Такие кабели активно применяются в промышленной сфере, жилищно-коммунальном хозяйстве и строительной отрасли, обеспечивая стабильную работу электроустановок и надежную защиту от аварийных ситуаций.

Использование кабелей АПвП имеет ряд преимуществ:

- надежность и долговечность – сшитый полиэтилен обладает высокой стойкостью к воздействию тепла, влаги и химических веществ, что обеспечивает длительный срок службы кабелей;
- меньшие потери электроэнергии – благодаря низкой диэлектрической проницаемости сшитого полиэтилена, имеют меньшие потери электроэнергии по сравнению с «кабелями с бумажной изоляцией»;
- гибкость и удобство монтажа –обладают высокой гибкостью, что облегчает их прокладку в сложных условиях и на больших расстояниях;
- устойчивость к внешним воздействиям – устойчивы к воздействию ультрафиолетового излучения, влаги и агрессивных сред, что делает их пригодными для использования в различных климатических условиях» [11].

Использование кабелей АПвП способствует оптимизации расходов и повышению уровня безопасности электрических сетей, являясь неотъемлемой частью современных энергетических инфраструктур.

## 2.4 Выбор кабелей распределительной сети

Внутреннее электроснабжение предприятия «выполняется кабельными линиями 0,4 кВ от подстанции до вводных распределительных пунктов (РП) производственных цехов и других вспомогательных зданий.

Необходимо обеспечить возможность индивидуального независимого отключения каждого участка (согласно проектной документации), в связи с чем предлагается использовать для распределительной сети радиальную схему электроснабжения с отдельным независимым питанием каждого участка от шин 0,4 кВ подстанции» [10].

План трасс кабельных линий показан на рисунке 5.

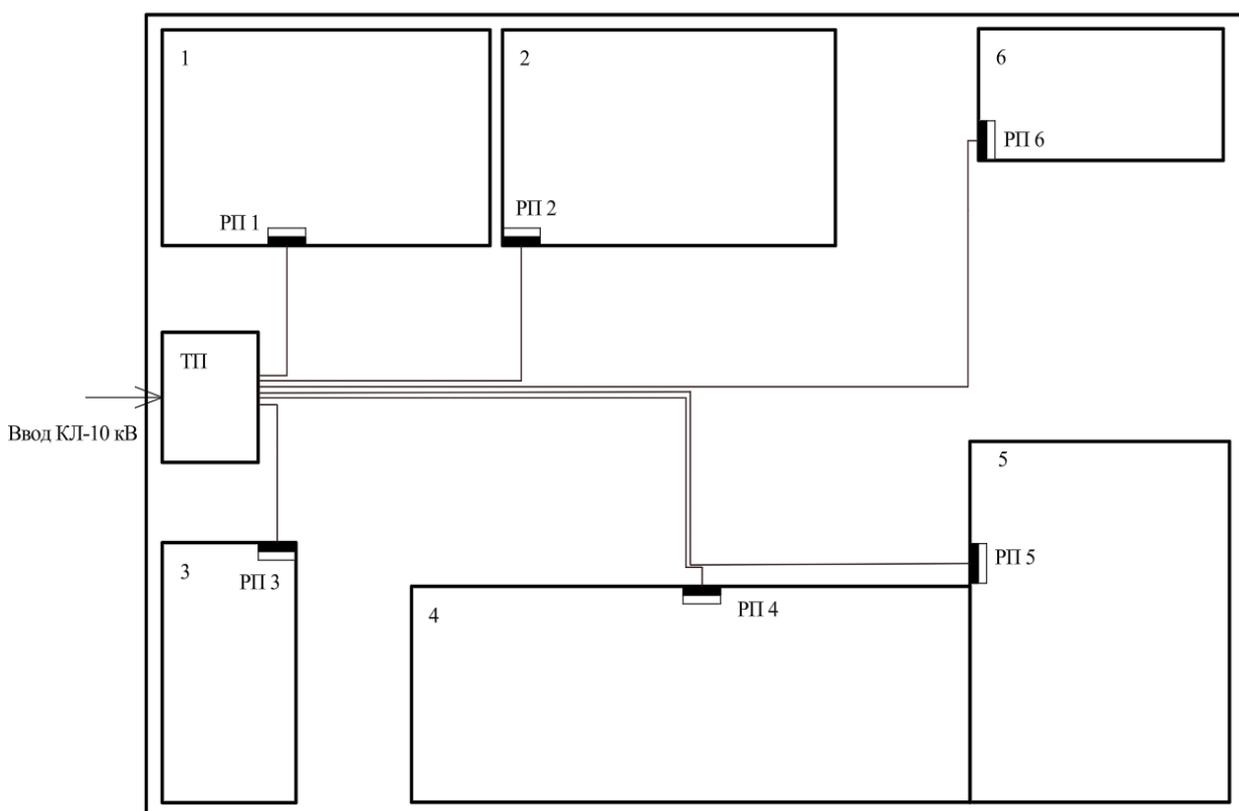


Рисунок 5 – План трасс кабельных линий

«Для питания участков принимаются кабели марки АВБШв.

Расчет для КЛ до участка №1.

Максимальный ток линии:

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

где  $S_p$  – нагрузка, кВА;

$U_n$  – напряжение, кВ» [10].

$$I_p = \frac{10,06}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 15,3 \text{ А}$$

Выбирается кабель АВБШВ-4×4,  $I_{доп} = 34 \text{ А}$  [19].

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь» [10]. Потери напряжения, согласно (12):

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 15,3 \cdot 8,9 \cdot 100}{0,38} (0,00749 \cdot 0,86 + 0 \cdot 0,307) = 0,2 \% < 5 \%$$

Кабели выбраны в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор кабелей распределительной сети

№ участка	$I_p$ , А	Марка кабеля АВБШВ	$I_{доп}$ , А	$\Delta U$ , %
1	15,3	АВБШВ-4х4	34	0,20
2	12,5			0,24
3	30,6			0,83
4	533,6	2хАВБШВ-3х150+1х95	575	0,24
5	465,6	2хАВБШВ-3х120+1х70	510	0,38
6	26,5	АВБШВ-4х4	34	0,30

Кабели проходят проверку по допустимым токам и потерям напряжения.

## **2.5 Определение токов короткого замыкания**

Токи короткого замыкания представляют собой мгновенные и мощные скачки электричества, вызываемые случайным контактом между элементами электроцепи, имеющими разные уровни напряжения. Причиной возникновения коротких замыканий становятся повреждения изоляционного покрытия проводов, монтажные ошибки либо поломки техники. Такие аварийные токи значительно превосходят допустимые величины, создавая угрозу серьёзных повреждений устройств, пожаров и аварийных ситуаций.

ТКЗ могут возникать по множеству причин, среди которых наиболее распространены:

- повреждения изоляции – износ, механические повреждения или воздействие внешних факторов (например, влаги) могут привести к нарушению изоляции проводов и кабелей, что вызывает КЗ;
- неправильная коммутация – ошибки при подключении или обслуживании оборудования;
- переходные процессы – резкие изменения в работе оборудования, такие как пусковые токи двигателей;
- молнии и перенапряжения – грозовые разряды или другие виды перенапряжений могут вызвать разрушение изоляции и КЗ.

Для обеспечения безопасности и надежности электрических систем необходимо заранее рассчитывать возможные ТКЗ.

«Расчетная схема и схема замещения для определения ТКЗ на шинах 10 кВ подстанции приведены на рисунке 6.

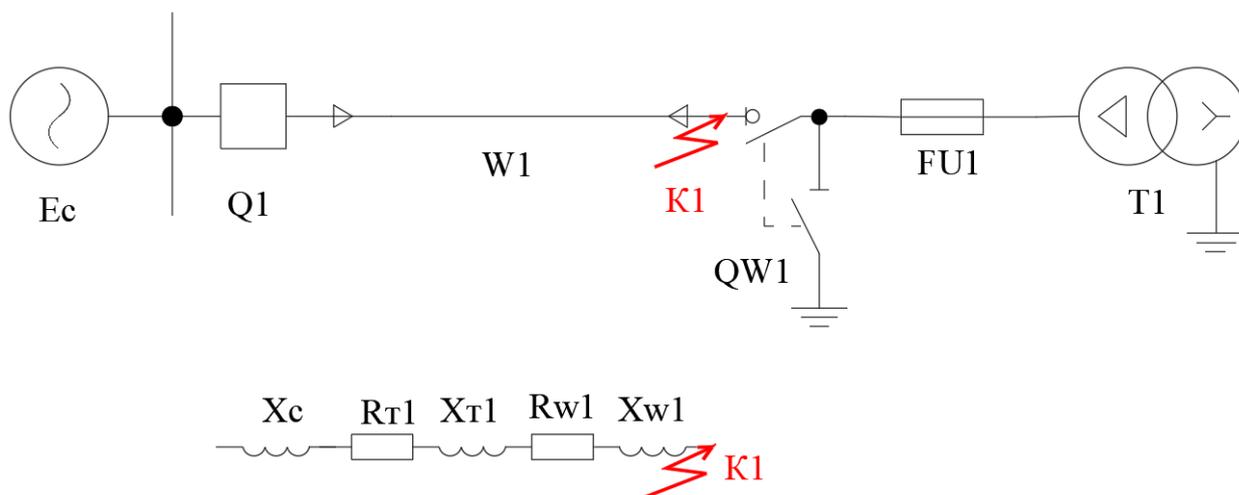


Рисунок 6 – Расчетная схема и схема замещения

Сопротивление системы:

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

где  $U_k$  – напряжение КЗ, кВ;

$I_{к.з.ФВД}^{(3)}$  – трехфазный ток КЗ на питающем фидере.

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 11,503} = 0,527 \text{ Ом.}$$

Сопротивления КЛ 10 кВ:

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

где  $L_{w1}$  – длина КЛ, км.

$$X_{w1} = 0,102 \cdot 0,602 = 0,061 \text{ Ом,}$$

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

$$R'_{w1} = 1,94 \cdot 0,602 = 1,168 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление до точки К1» [11]:

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{R_{\kappa 0}^2 + X_{\kappa 0}^2}, \quad (17)$$
$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{1,168^2 + (0,527 + 0,061)^2} = 1,308 \text{ Ом.}$$

«Трехфазный ток КЗ:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}, \quad (18)$$

где  $U_{\kappa}$  – напряжение КЗ, кВ;

$Z_{\kappa}$  – полное сопротивление цепи, Ом.

$$I_{\kappa 0}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,308} = 4,64 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

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

где  $K_y$  – ударный коэффициент» [11].

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,64 = 11,8 \text{ кА.}$$

«Двухфазный ток КЗ:

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

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,64 = 4,01 \text{ кА.}$$

Расчет на шинах 0,4 кВ ТП.

Расчетные схемы – на рисунке 7.

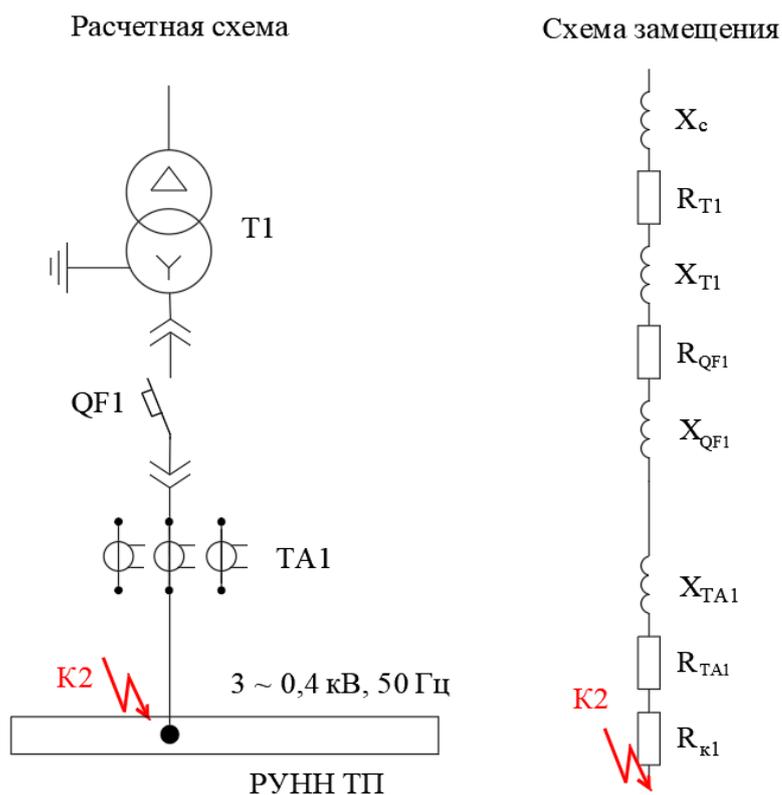


Рисунок 7 – Расчетные схемы

Сопротивление системы:

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

где  $U_{\kappa}$  – напряжение КЗ, кВ;

$I_{\kappa.з.К0}^{(3)}$  – трехфазный ток КЗ на стороне 10 кВ ТП, кА» [11].

$$X'_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,64} = 1,308 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление приводится к 0,4 кВ:

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

$$X_c = 1308 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 49,819 \text{ мОм.}$$

Переходное сопротивление:  $R_{к1} = 0,0034 \text{ мОм}$  [11].

«Эквивалентные сопротивления участка:

$$R_{\text{э1}} = R_{T1} + R_{QF1} + R_{TA1} + R_{к1}, \quad (23)$$

$$R_{\text{э1}} = 3,1 + 0,13 + 0,07 + 0,0034 = 3,4 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{э1}} = X_m + X_{QF1} + X_{TA1}, \quad (24)$$

$$X_{\text{э1}} = 13,6 + 0,12 + 0,07 = 13,8 \text{ мОм.}$$

Сопротивления до точки КЗ:

$$R_{к1} = R_{\text{э1}}, \quad (25)$$

$$R_{к1} = 3,4 \text{ мОм,}$$

$$X_{к1} = X_c + X_{\text{э1}}, \quad (26)$$

$$X_{к1} = 49,819 + 13,8 = 63,619 \text{ мОм,}$$

$$Z_{к1} = \sqrt{3,4^2 + 63,619^2} = 63,71 \text{ мОм.}$$

Трехфазный и ударный токи КЗ в точке К1, по (18,19):

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 63,71} = 3,62 \text{ кА},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 3,62 = 6,66 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов приведены в таблице 5» [11].

Таблица 5 – Токи КЗ, результаты расчетов

Точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА
К1	4,64	11,80
К2	3,62	6,66

«Термически стойкое сечение жил кабелей:

$$F_T = I_{\kappa}^{(3)} \cdot \sqrt{t_3} / K_T, \quad (27)$$

где  $t_3$  – время срабатывания защиты, с;

$K_T$  – температурный коэффициент.

$$F_T = 4640 \cdot \sqrt{0,025} / 95 = 7,72 \text{ мм}^2,$$

$$F_T = 3620 \cdot \sqrt{0,01} / 95 = 3,8 \text{ мм}^2.$$

Все выбранные кабели термически устойчивы» [2].

## 2.6 Выбор аппаратов защиты линий

«Автоматические выключатели (АВ) – это устройства, предназначенные для автоматического отключения электрической цепи при возникновении аварийных ситуаций, таких как короткое замыкание или

перегрузка. Они играют ключевую роль в обеспечении безопасности электрических систем, предотвращая повреждение оборудования и возможные травмы людей. Существует несколько типов АВ, каждый из которых предназначен для определенных условий эксплуатации» [17]. Тепловые автоматы срабатывают при длительном превышении допустимого тока в цепи. Принцип их работы основан на биметаллической пластине, которая деформируется при нагревании и разрывает цепь. Тепловое реле применяется повсеместно – от домашних до промышленных электросетей. Электромагнитное устройство расцепления контактов мгновенно срабатывает при резких скачках тока, характерных для короткого замыкания. В основе работы лежит катушка (соленоид), которая при превышении допустимого порога силы тока втягивает сердечник, размыкая электрическую цепь. Такие устройства отличаются высокой скоростью реагирования на аварии. АВ комбинированного типа объединяют возможности теплового и электромагнитного автомата, защищая сеть одновременно от длительных перегрузок и внезапных коротких замыканий. Их активно используют в промышленном оборудовании и сложных электроустановках [20].

«Условия выбора автоматических выключателей:

– по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (28)$$

– по току теплового расцепителя» [17]:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (29)$$

Для линии к участку №1:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 15,3 = 16,8 \text{ А.}$$

Принимается автомат ВА-51-35/20, выбор АВ сведен в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор автоматических выключателей

№ участка	$1,1 \cdot I_p, A$	Авт. выкл.	$I_{ном}, A$
1	16,8	ВА-51-35	20
2	13,8		16
3	33,7		40
4	587,0	ВА-52-39	630
5	512,2		
6	29,1	ВА-51-35	32

Внешний вид АВ показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Автоматические выключатели

Защита питающего фидера 10 кВ.

Микропроцессорная релейная защита (МРЗ) – это современный подход к обеспечению безопасности и надежности работы электрических систем. МРЗ заменяет традиционные электромеханические и статические релейные

системы, предлагая более высокую точность, гибкость и функциональность. Микропроцессорная защита (МРЗ) обладает рядом существенных преимуществ перед классическими устройствами релейной защиты:

- микропроцессорные модули точнее выявляют аварийные режимы работы и оперативно реагируют на изменения по сравнению с механическими аналогами;
- способна одновременно осуществлять функции защиты, контроля, мониторинга и диагностики технического состояния оборудования;
- отличается простотой программирования и настройки согласно индивидуальным требованиям конкретной системы;
- допускает интеграцию с автоматизированными системами управления технологическим процессом (АСУ ТП), диспетчерскими комплексами SCADA и прочими информационными платформами для эффективного обмена информацией и согласованного функционирования.

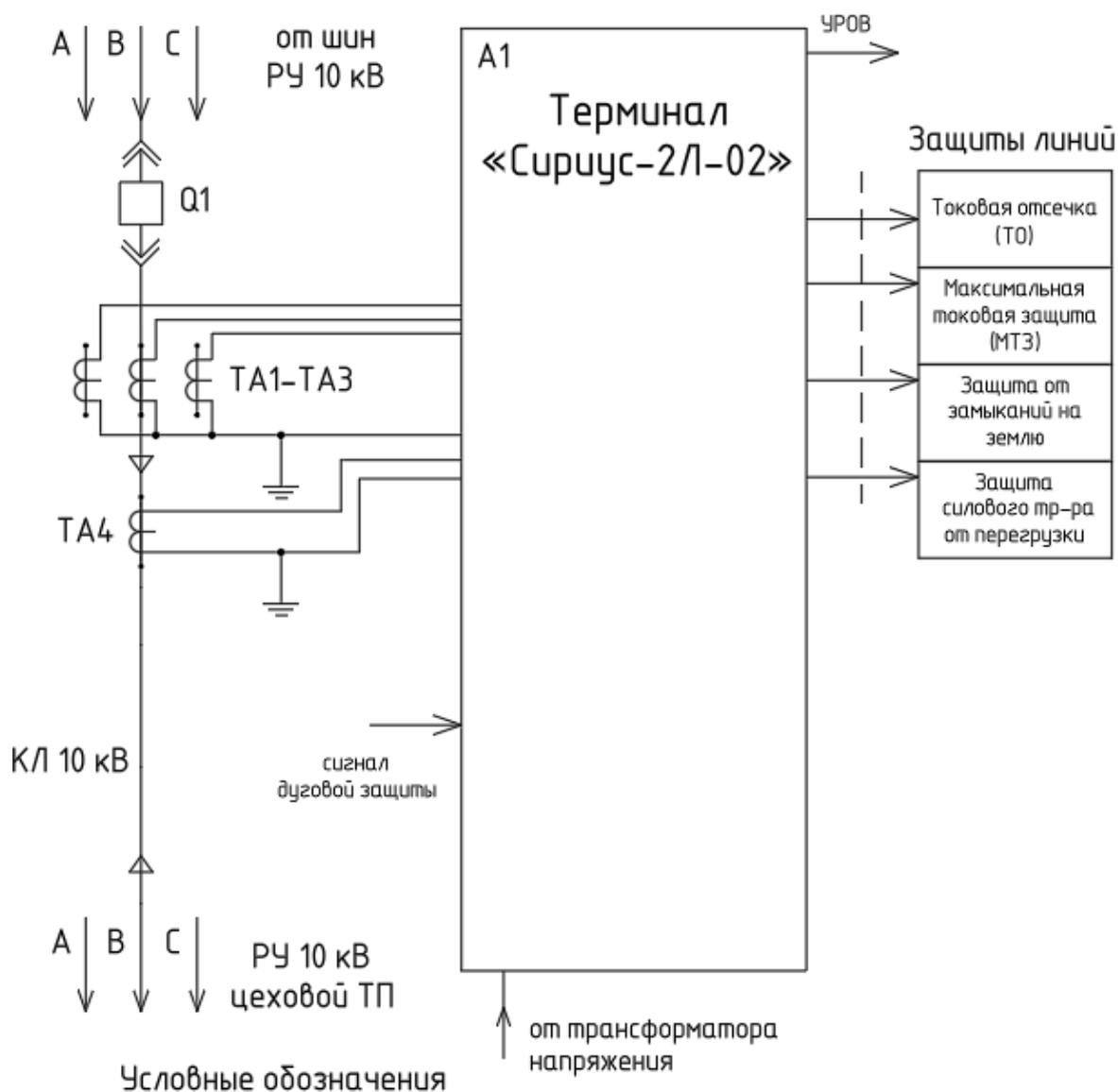
Основные этапы работы МРЗ включают:

- микропроцессор анализирует полученные данные и сравнивает их с заданными пороговыми значениями;
- при обнаружении аварийной ситуации микропроцессор принимает решение о необходимости отключения повреждённого участка или выполнении других защитных действий;
- устройство защиты передает команды на отключение поврежденного оборудования.

«Для фидера 10 кВ необходимо предусмотреть следующие виды релейных защит:

- токовая отсечка (ТО);
- максимальная токовая защита (МТЗ);
- защита от замыканий на землю (ЗНЗ);
- защита силовых трансформаторов ТП от перегрузки.

Защита питающего фидера 10 кВ реализуется на терминалах марки Сириус-2Л-02, схема защиты – на рисунке 9.



Условные обозначения

Обозн.	Наименование
Q1	Высоковольтный выключатель
TA1-TA3	Трансформаторы тока
TA4	Трансформатор тока нулевой последовательности
A1	Терминал «Сириус-2Л-02»
УРОВ	Устройство резервирования отказа выключателя

Рисунок 9 – Схема релейной защиты фидера 10 кВ

Внешний вид терминала показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Терминал Сириус-2Л-02

Расчет уставок защит.

Токовая отсечка:

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (30)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки.

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,0183 = 0,0915 \text{ кА}$$

МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{p.макс} , \quad (31)$$

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

Чувствительность защиты» [1]:

$$k_u = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}} , \quad (32)$$

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 36,6 = 1,388 \cdot 36,6 = 50,8 \text{ А}$$

$$k_u = \frac{4010}{50,8} = 78,94 \geq 1,5$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T} , \quad (33)$$

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

$$I_{CP} = 50,8 \cdot \frac{1}{50/5} = 5,08 \text{ А}$$

Ток срабатывания защиты от замыканий на землю:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C , \quad (34)$$

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

$I_C$  – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L , \quad (35)$$

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

$L$  – длина КЛ, км» [9].

$$I_C = 0,55 \cdot 0,602 = 0,3311 \text{ А,}$$

$$I_{C.з.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,3311 = 0,9933 \text{ А.}$$

Бесперебойное питание производственных участков будет обеспечиваться микропроцессорным терминалом АВР, управляющим автоматическими выключателями на вводах распределительного устройства (РУ) 0,4 кВ подстанции.

## **2.7 Выбор оборудования автоматического ввода резерва питания**

Обеспечение непрерывности энергоснабжения предприятий – важнейшая задача руководителей и специалистов энергетической сферы. Стабильное электропитание служит залогом устойчивого функционирования производственных процессов, снижает вероятность возникновения внештатных ситуаций и уменьшает финансовые потери от вынужденных остановок техники. Эффективная деятельность компании требует надежного и высококачественного обеспечения электроэнергией. Тем не менее даже при всех мерах предосторожности энергетики иногда сталкиваются с ситуациями, когда происходит отключение или нарушение подачи электричества. Причины таких сбоев могут быть самыми разными:

- аварии на электросетях – короткие замыкания, обрывы линий, перегрузки;
- погодные условия – сильный ветер, снегопады, молнии;
- техногенные катастрофы – аварии на электростанциях, сбои в работе подстанций;

- планово-предупредительные работы – временные отключения для ремонта или модернизации электросетей.

Любой из этих факторов может привести к остановке производственного процесса, что влечет за собой финансовые убытки, потерю качества продукции и снижение репутации предприятия. Именно поэтому обеспечение бесперебойного питания становится одной из первоочередных задач для любого предприятия, требующая внимательного подхода к выбору и внедрению технологий резервного питания.

«АВР выполняется на терминале Сириус-АВР, отличительные особенности которого:

- надежная современная схемотехника;
- высокое быстродействие;
- точная программная настройка АВР;
- эффективная передача данных в цифровую сеть;
- удаленные контроль и администрирование работы.

Внешний вид терминала – на рисунке 11.



Рисунок 11 – Терминал Сириус-АВР

АВР устанавливается на шинах 0,4 кВ подстанции и обеспечивает централизованный автоматический ввод резерва питания.

Уставка срабатывания АВР:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (36)$$

где  $U_{НОМ}$  – напряжение сети, В» [1].

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

«Уставка контроля напряжения на резервном вводе:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (37)$$

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

Время срабатывания:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (38)$$

где  $t_1$  – время срабатывания выключателей, с;

$\Delta t$  – ступень селективности, с» [6].

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

Надежную и безопасную работу оборудования СЭС обеспечивает заземляющее устройство.

## 2.8 Разработка контура заземления подстанции

Система заземления подстанции – это один из ключевых элементов обеспечения безопасности и надежности работы электроэнергетических

объектов. Она служит для отвода нежелательных токов, возникающих в результате аварийных ситуаций, таких как короткое замыкание или удар молнии, в землю. Система заземления подстанции решает ряд ключевых задач:

- в аварийной ситуации (например, при коротком замыкании либо ударе молнии) она направляет электрический ток в грунт, устраняя опасность возникновения высоких напряжений на электрооборудовании и сооружениях;
- защитная функция заключается также в снижении риска электротравматизма при непреднамеренном прикосновении к находящимся под напряжением устройствам;
- равномерность распределения электрического потенциала обеспечивает отсутствие опасных скачков напряжения между разными участками подстанции;
- с помощью системы заземления подавляются избыточные импульсные перенапряжения, вызванные молниями или переключениями оборудования.

Таким образом, надежная работа системы заземления является необходимым условием безопасной эксплуатации и стабильной деятельности энергообъектов [12]. Она выполняет функцию отвода нежелательных токов в землю, стабилизации потенциалов и защиты от перенапряжений. Правильное проектирование и обслуживание системы заземления является необходимым условием для безопасной эксплуатации подстанций и предотвращения аварийных ситуаций [16].

«Размеры, материал и форма электродов выбираются согласно указаниям ГОСТ Р 58882-2020:

- для вертикальных электродов: сталь угловая горячекатаная, размер 3000x50x5 мм;
- для горизонтального электрода: сталь полосовая горячекатаная, размер 50x5 мм.

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

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (39)$$

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

$K_c$  – коэффициент сезонности» [14].

$$\rho_{pв} = 1500 \cdot 1,1 = 1650 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{pг} = 1500 \cdot 1,4 = 2100 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Сопротивление растеканию одного ВЭ:

$$R_{овэ} = \frac{\rho_{pв}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right], \quad (40)$$

где  $l$  – длина, м;

$d$  – приведенный диаметр, м;

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

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (41)$$

где  $b$  – ширина уголка, м.

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

$$t = 3/2 + 0,8 = 2,3 \text{ м},$$

$$R_{овэ} = \frac{1650}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 61,544 \text{ Ом}.$$

Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{огэ} / R_n, \quad (42)$$

где  $R_n$  – допустимое сопротивление ЗУ, Ом.

$$n' = 61,544 / 4 \approx 16 \text{ шт}$$

Длина ГЭ:

$$l_2 = 1,05 \cdot a \cdot n', \quad (43)$$

где  $a$  – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{пер} / n', \quad (44)$$

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

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

$$a = 35,18 / 16 = 2,2 \text{ м},$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 2,2 \cdot 16 = 36,96 \text{ м}.$$

«Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{гэ} = \frac{\rho_{пг}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{d \cdot t} \right), \quad (45)$$

где  $l$  – длина, м;

$d$  – расчетный диаметр, м;

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

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (46)$$

где  $b$  – ширина полосы, м.

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

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

$$R_{\text{зз}} = \frac{2100}{2 \cdot 3,14 \cdot 36,96} \cdot \ln \left( \frac{36,96^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,805 \text{ Ом.}$$

План контура заземления подстанции – на рисунке 12.

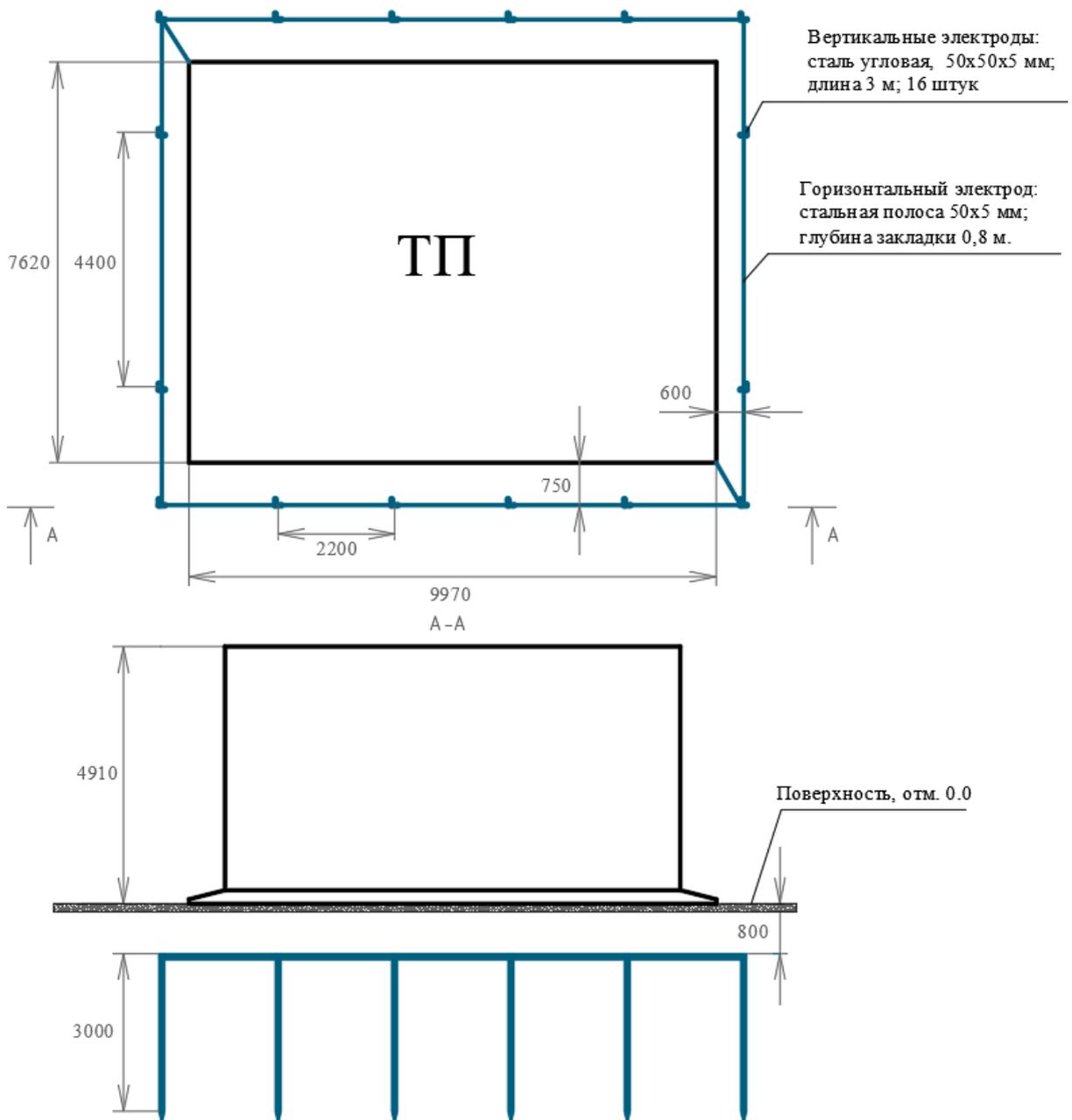


Рисунок 12 – План контура заземления подстанции

Итого сопротивление ЗУ:

$$R_{зп} = \frac{R_{обз} \cdot R_{гэ}}{R_{обз} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{гэ} \cdot \eta_2}, \quad (47)$$

где  $\eta_6$ ,  $\eta_2$  – коэффициенты использования ВЭ и ГЭ.

$$R_{зп} = \frac{61,544 \cdot 2,805}{61,544 \cdot 0,52 \cdot 16 + 2,805 \cdot 0,29} = 3,695 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом.}$$

Схема заложения электродов приведена на рисунке 13.

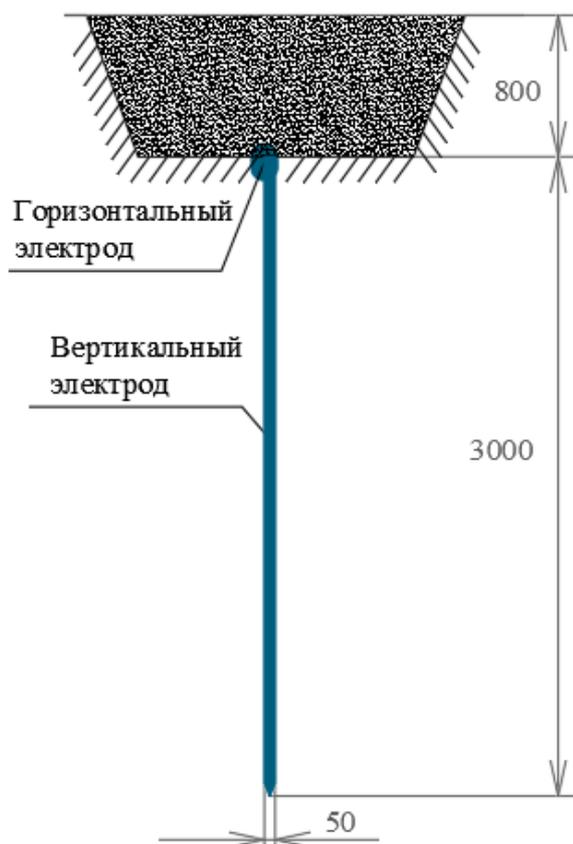


Рисунок 13 – Схема заложения электродов

Система заземления ТП обеспечивает безопасную эксплуатацию системы электроснабжения» [14]. «Монтаж заземляющего устройства

подстанции – это сложный и ответственный процесс, требующий соблюдения строгих норм и стандартов. Заземляющее устройство играет ключевую роль в обеспечении безопасности и надежности работы подстанции, предотвращая поражение электрическим током персонала и повреждение оборудования» [7]. Процесс монтажа включает несколько основных этапов. Перед монтажом важно предварительно выполнить следующие мероприятия:

- геологическую разведку – изучить состав почвы и определить уровень подземных вод, чтобы выбрать наилучшее место размещения заземлителей;
- разметку участка – обозначить расположение контуров заземления и самих заземлителей согласно проекту;
- подготовку траншей – вырыть траншеи для закладки элементов заземляющей системы и установки электродов.

По завершении земляных работ переходят непосредственно к монтажу электродов:

- электроды (чаще всего металлические прутья либо пластины) погружаются в землю до нужной глубины, обеспечивая стабильный электрический контакт с грунтом;
- элементы объединяют друг с другом посредством сварки или болтов.

После укладки контура и установки электродов приступают к соединению заземляющего устройства с оборудованием подстанции.

Выводы по второму разделу.

Проведена разработка системы электроснабжения группы цехов основного производства предприятия по производству минеральных удобрений. По результатам определения величин электрических нагрузок рассчитаны режимы работы СЭС, с учетом которых выбрано основное оборудование СЭС. Проведена разработка контура заземления подстанции.

## Заключение

В целом, производственные цеха являются основной единицей промышленной инфраструктуры предприятий, в них находятся различные станки, технологические линии, сборочные конвейеры и другое производственное оборудование различных типов. Согласно производственным цепочкам и технологическим процессам цеха, как правило, разделяются на отдельные группы, которые вместе с дополнительными вспомогательными производственными участками на огороженной территории образуют производственные объекты – заводы, фабрики, технологические комплексы, производственные базы. Надежность предполагает обеспечение бесперебойного энергоснабжения всех производственных зон. Безопасность электрической инфраструктуры заключается в предотвращении аварий, возгораний и иных рисков, возникающих вследствие сбоев или дефектов работы электрооборудования.

Предприятие по производству минеральных удобрений планирует построить новую промышленную базу, включающую основные промышленные цеха и дополнительные обслуживающие подразделения. Надежная и качественная подача электроэнергии выступает необходимым фактором успешного запуска и бесперебойной эксплуатации данного объекта. Питание производственных участков будет выполнено от КТП, которая будет питаться от РП 10 кВ энергосистемы по кабельной линии, проложенной в траншее. Для обеспечения производственных процессов на объекте в цехах будут установлены современные высокоавтоматизированные технологические линии по производству минеральных удобрений, под точным электронным управлением, обеспечивающим точную дозировку реагентов и различных смесей. Данные технологические линии требуют бесперебойного питания электрической энергией, при перерывах электроснабжения будет сбой программы производственных операций, массовый брак продукции и значительный экономический ущерб. Возможна

также поломка элементов дорогостоящего оборудования. Данные технологические линии будут установлены в основных производственных цехах №1 и №2, которые относятся к первой категории надежности электроснабжения. Во вспомогательном цехе №3 будет, в основном, обеспечиваться предварительная заготовка сырья специализированными станками, работа которых допускает достаточно долговременные перерывы электроснабжения как для потребителей третьей категории. Котельная обеспечивает централизованное теплоснабжение и относится к первой категории. Хранилища относятся к третьей категории надежности электроснабжения.

Проведена разработка системы электроснабжения группы цехов основного производства предприятия по производству минеральных удобрений. По результатам определения величин электрических нагрузок рассчитаны режимы работы СЭС, с учетом которых выбрано основное оборудование СЭС. На подстанции будет установлено два силовых трансформатора марки ТМГ33 ХЗК2-630-10/0,4, низкие потери на вихревые токи и гистерезис обеспечивают высокую эффективность преобразования энергии, герметичный корпус и качественные материалы обеспечивают долгий срок службы и устойчивость к внешним воздействиям. На шинах 0,4 кВ подстанции будет установлено две автоматические установки АУКРМ по 115 квар. Будет установлена современная комплектная подстанция марки 2КТПН-630/10/0,4 со штатным комплектом оборудования. Выбраны кабели питающей и распределительной сетей, марок АПвП и АВБШв соответственно. Выбраны терминалы РЗА серии «Сириус», определены уставки защит, микропроцессорная релейная защита способна выполнять множество задач, включая защиту, контроль, мониторинг и диагностику состояния оборудования. Проведена разработка контура заземления подстанции.

Предложенный проект обеспечивает надежное и качественное электроснабжение группы цехов основного производства предприятия.

## Список используемых источников

1. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
2. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
3. Галишников Ю. П. Трансформаторы и электрические машины : курс лекций. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 216 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. Сибикин Ю. Д. Охрана труда и электробезопасность : учебное пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 312 с.
17. Фризен В. Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий : учебное пособие. – 2-е изд., испр. Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2021. 194 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. Щербаков, Е. Ф. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 303 с.