

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 производства подсолнечного масла предприятия пищевой промышленности

Обучающийся

А.С. Хакимов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из 48 страниц, 13 рисунков, 6 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: производство, электроснабжение, система электроснабжения, разработка, оборудование, предприятие, нагрузка, мощность, ток, защита, надежность.

Проведена разработка системы электроснабжения производства подсолнечного масла предприятия пищевой промышленности.

Актуальность разработки: планируется постройка и ввод в эксплуатацию нового производства подсолнечного масла предприятия пищевой промышленности, для этого необходимо реализовать его качественное и надежное электроснабжение.

Содержание работы включает вопросы: анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия ; расчет электрических нагрузок; выбор и расчет числа и мощности трансформаторов ; выбор кабелей высоковольтной питающей линии; выбор кабелей низковольтной силовой сети; расчет токов короткого замыкания; выбор устройств релейной защиты и автоматики; расчет заземления подстанции, молниезащита .

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия	7
2 Разработка системы электроснабжения производства подсолнечного масла	12
2.1 Расчет электрических нагрузок	12
2.2 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	13
2.3 Выбор кабелей высоковольтной питающей линии	19
2.4 Выбор кабелей низковольтной силовой сети.....	20
2.5 Расчет токов короткого замыкания	24
2.6 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	32
2.7 Расчет заземления подстанции, молниезащита	40
Заключение	47
Список используемой литературы и используемых источников.....	49

Введение

Обеспечение электроэнергией производственных предприятий является важнейшим условием стабильной и результативной деятельности компаний. Надежное и качественное энергоснабжение непосредственно определяет эффективность, безопасность труда и конкурентные преимущества организации. Электроэнергетическая система (ЭЭС) промышленного комплекса включает несколько ключевых компонентов. Подачу энергии обеспечивают источники питания – это электростанции, трансформаторные подстанции либо внешние линии электропередачи. Трансформаторы выполняют функцию преобразования входящего тока до необходимых уровней напряжения перед распределением внутри объекта [5]. Далее электроэнергию распределяют через сеть внутренних линий между цехами и производственными площадями. Панели и щиты управления координируют работу системы подачи электричества, предотвращают аварии, защищают технику от перенапряжений и короткого замыкания. Кабельная инфраструктура – обеспечивает надежное соединение всех элементов системы электроснабжения.

Проектирование системы электроснабжения промышленного производства требует учета множества факторов:

- расчет суммарной мощности всех потребителей электроэнергии на предприятии;
- обеспечение стабильности напряжения и частоты, отсутствие помех и провалов;
- наличие систем защиты от перегрузок, коротких замыканий и других аварийных ситуаций;
- минимизация потерь электроэнергии и оптимизация использования ресурсов.

Основная часть промышленных технологических процессов осуществляется в производственных цехах (ПЦ), которые являются основной

единицей промышленной инфраструктуры предприятий. Там находятся различные производственные и обрабатывающие установки, технологические линии, сборочные конвейеры, станки и другое производственное оборудование различных типов и принципов работы. С учетом особенностей производственных цепочек и технологических процессов, ПЦ, как правило, разделяются на отдельные группы, которые вместе с дополнительными вспомогательными производственными участками образуют крупные промышленные объекты – производственные комплексы, заводы, фабрики, технологические комплексы, производственные базы, ремонтные базы. Надежное, безопасное и качественное электроснабжение указанных объектов – это обязательное условие их ввода в эксплуатацию, эффективной и долговременной работы. Установленные в промышленных цехах и на других производственных участках электроприемники требуют надежного и качественного питания электрической энергией в соответствии с «актуальными нормативными и техническими документами по реализации СЭС, наиболее важным документом являются Правила устройства электроустановок (ПУЭ)» [5]. Промышленные цеха и производственные участки, в зависимости от величины суммарной электрической нагрузки, питаются либо от собственной трансформаторной подстанции – при относительно большой суммарной нагрузке потребителей от 250 кВА и более; либо, при меньшей суммарной нагрузке, от ближайшей трансформаторной подстанции расположенного рядом промышленного цеха или иного производственного участка. В общем, как правило, группы цехов вместе с дополнительными вспомогательными производственными участками питаются от главной понизительной подстанции, обеспечивающей прием электроэнергии от питающей энергосистемы, ее трансформацию в более низкий класс напряжения, и ее распределение по внутренней электрической распределительной сети данного промышленного предприятия.

В современном мире бесперебойное электроснабжение является одним из ключевых факторов успешной работы любого промышленного предприятия. От качества организации системы энергоснабжения зависит не только эффективность производства, но и безопасность персонала, сохранность оборудования и конкурентоспособность предприятия в целом. Сбалансированная нагрузка является первостепенным требованием к системе. Важно обеспечить равномерное распределение нагрузки по всем участкам сети, установив распределительные устройства вблизи центров нагрузки. Это позволяет избежать перегрузок и оптимизировать потребление электроэнергии. Безопасность персонала и оборудования – неотъемлемое условие проектирования. При разработке системы необходимо учитывать специфику производственных помещений: влажность, запыленность, температуру, а также возможность возникновения пожаро- или взрывоопасных ситуаций. Простота и гибкость схемы электроснабжения играют важную роль. Система должна быть достаточно простой для обслуживания, но при этом предусматривать возможность модернизации и подключения нового оборудования без значительных переделок. Бесперебойность работы обеспечивается за счет резервирования и правильного построения схемы электроснабжения. Выход из строя оборудования на одном участке не должен приводить к остановке всего производства.

Актуальность разработки: планируется постройка и ввод в эксплуатацию нового производства подсолнечного масла предприятия пищевой промышленности, для этого необходимо реализовать его качественное и надежное электроснабжение.

Цель работы: обеспечение надежного электроснабжения производства.

Задачи работы:

- рассчитать электрические нагрузки;
- выбрать оборудование СЭС, выполнить проверку по рабочим и аварийным режимам.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия

Предприятие пищевой промышленности планирует постройку и ввод в эксплуатацию нового дополнительного производства подсолнечного масла, аналогичного по количеству и маркам промышленного оборудования, а также производственной инфраструктуре действующему производству подсолнечного масла.

Генеральный план производства подсолнечного масла показан на рисунке 1.

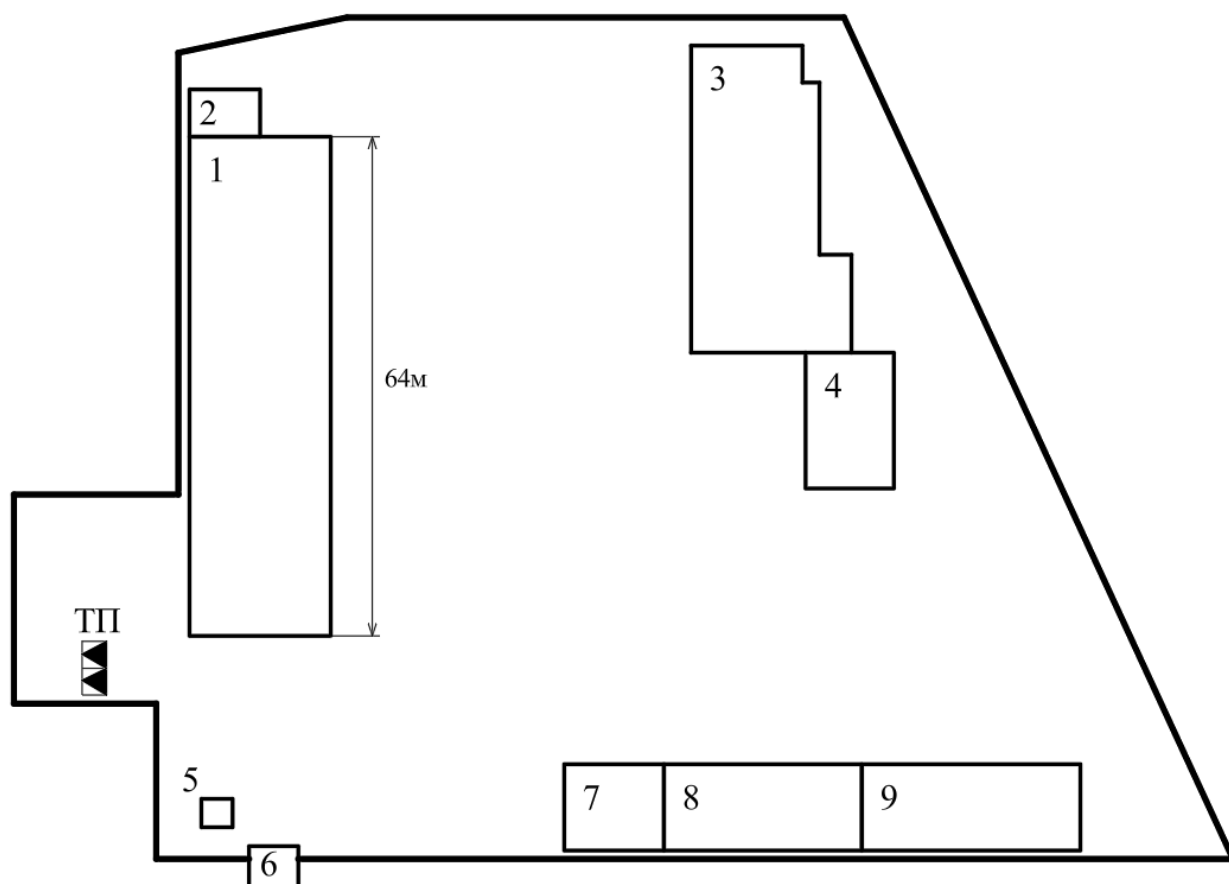


Рисунок 1 – Генеральный план производства подсолнечного масла

Перечень производственных участков (ПУ) и данные по их электропотреблению приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень производственных участков и данные по их электропотреблению

Участки	$\Sigma P_{ном}$, кВт	cosφ	Kс
Главный корпус	405	0,84	0,34
Насосная	19,8	0,79	0,68
Склад	13,1	0,92	0,28
Сырьевой цех	182	0,78	0,39
Хозблок	6,9	0,92	0,22
КПП	7,8	0,88	0,21
Гараж	30,2	0,79	0,42
Вспомогательный корпус	91,2	0,79	0,43
Цех нерафинированных масел	128,2	0,77	0,32

Производства подсолнечного масла занимают важное место в структуре аграрной индустрии, поскольку перерабатывают одно из наиболее востребованных растительных масел глобального рынка. Этот продукт активно применяется не только в приготовлении пищи, но также востребован в пищевой отрасли, косметологии и фармакологии. Процесс изготовления масла стартует с поступления и складирования семечек подсолнуха, нуждающихся в тщательной очистке от посторонних включений вроде соломы, листьев и грязи – первого этапа получения высококачественного продукта. Затем семена проходят подготовительные процедуры, такие как просушка и иногда первичное прессование, вследствие которых образуется необработанное масло с присутствием примесей и взвесей, подлежащее дальнейшей обработке методом рафинирования. Рафинация включает несколько этапов: нейтрализацию, обесцвечивание и дезодорацию. Эти процессы помогают удалить нежелательные вещества, улучшая вкус, запах и внешний вид масла, в результате получается чистое подсолнечное масло,

готовое к упаковке и продаже. Цеха по производству подсолнечного масла являются важным звеном в цепочке переработки сельскохозяйственного сырья, они обеспечивают не только производство качественного масла, но и способствуют развитию агропромышленного комплекса в целом.

На огороженной металлическим забором территории предприятия будет расположено 9 производственных участков, включающих главный корпус, вспомогательный корпус, цех нерафинированных масел, сырьевой цех, это основные ПУ, где осуществляется основная часть технологических процессов по выпуску продукции. Данные «участки относятся ко второй категории надежности электроснабжения, без значимого ущерба для предприятия допускаются перерывы электроснабжения на период оперативных переключений на резервный источник питания. Насосная обеспечивает централизованное водоснабжение, перерывы которого приведут к остановке всех основных технологических процессов и значительному ущербу для предприятия, поэтому насосная относится к первой категории надежности электроснабжения» [5]. Остальные производственные участки относятся к третьей категории, допускается длительный перерыв электроснабжения, на период проведения ремонтных и восстановительных работ в системе электроснабжения. Главный корпус, вспомогательный корпус, цех нерафинированных масел, сырьевой цех включают основную часть электрической нагрузки, которая по данным участкам составляет от 91,2 кВт до 405 кВт. Нагрузки остальных участков существенно меньше, но также значительны.

Действующая однолинейная схема электроснабжения производства подсолнечного масла (для действующего производства) приведена на листе 1 графической части. Можно отметить, что используется сильно устаревшее электрооборудование (ЭО), например, масляные выключатели и вентильные разрядники, которое обладает выраженными эксплуатационными недостатками. Например, вентильные разрядники представляют собой важный элемент защиты электрических сетей от перенапряжений. Они были

разработаны на основе последовательно соединенных карборундовых нелинейных резисторов и искровых промежутков. Однако, несмотря на свою значимость, эти устройства имеют ряд существенных недостатков, которые ограничивают их эффективность и безопасность. Ограниченное количество срабатываний является одним из главных минусов вентильных разрядников. Обычно они способны выдержать не более 20 срабатываний, что существенно снижает их эксплуатационный ресурс. Кроме того, ограничением эксплуатации разрядников служит их значительная масса и большие размеры, затрудняющие монтаж и обслуживание оборудования. Низкий уровень нелинейности вольт-амперной характеристики используемых резисторов вызывает большой разброс рабочих напряжений пробоя воздушных зазоров. Особо неблагоприятное влияние оказывает ухудшение изоляции вследствие загрязнения и попадания влаги на поверхность изолятора, что ведет к снижению уровня напряжения срабатывания и риску ложного включения даже при нормальном рабочем напряжении сети. Излишне сложная конструкция устройства осложняет техническое обслуживание и требует точной настройки каждого элемента схемы, включая корректировку пробивных уровней воздушного промежутка. Повторные срабатывания постепенно ухудшают рабочие параметры ввиду износа электродов и образования нагара внутри искрового промежутка [12].

Также, согласно эксплуатационной документации по действующему производству, действующее ЭО имеет высокую степень износа, также отсутствует возможность подключения дополнительных электроприемников ввиду отсутствия резерва по электрической мощности.

Выводы.

Проведен анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия, составлен генплан предприятия и перечень производственных участков, систематизированы данные по их электропотреблению. Определены ключевые недостатки СЭС действующего

производства, которые будут учтены при разработке новой системы электроснабжения.

2 Разработка системы электроснабжения производства подсолнечного масла

2.1 Расчет электрических нагрузок

Для выбора электрооборудования СЭС в первую очередь необходимо определить электрические нагрузки.

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

Формулы для расчета среднесменных активных, реактивных и полных нагрузок:

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

где K_c – коэффициент спроса активной мощности;

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

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

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

Для участка №1, по (1-3):

$$P_c = 0,34 \cdot 405 = 137,7 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 137,7 \cdot 0,65 = 88,95 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{137,7^2 + 88,95^2} = 163,93 \text{ кВА}.$$

Электрические нагрузки определены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение электрических нагрузок

Участки	Р _н , кВт	К _с	tgφ	Среднесм. нагрузки		
				Р _с , кВт	Q _с , квар	Sc, кВА
Главный корпус	405	0,34	0,65	137,70	88,95	163,93
Насосная	19,8	0,68	0,78	13,46	10,45	17,04
Склад	13,1	0,28	0,43	3,67	1,56	3,99
Сырьевой цех	182	0,39	0,80	70,98	56,95	91,00
Хозблок	6,9	0,22	0,43	1,52	0,65	1,65
КПП	7,8	0,21	0,54	1,64	0,88	1,86
Гараж	30,2	0,42	0,78	12,68	9,84	16,06
Вспомогательный корпус	91,2	0,43	0,78	39,22	30,43	49,64
Цех нерафинированных масел	128,2	0,32	0,83	41,02	33,99	53,28
Всего	884,2	0,36	0,73	321,89	233,71	397,79

«Освещение территории будет выполнено светодиодным автономным, поэтому данная нагрузка не учитывается» [16].

2.2 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

Коррекция реактивной мощности представляет собой важный аспект повышения производительности электросетей, способствующий улучшению энергоэффективности и сокращению энергопотерь. Хотя сама по себе реактивная составляющая непосредственно полезную работу не совершает, она неотъемлема в процессах производства и транспортировки электричества. Избыточность реактивной энергии ведет к повышению нагрузки на систему, росту потерь и ухудшению характеристик электроэнергии. Сущностью компенсации реактивной мощности является устранение либо сокращение данной компоненты общей мощности в энергосистеме. В результате уменьшается нагрузка на электрическую сеть и

достигается экономия потребляемой энергии [10].

КРМ решает сразу несколько задач:

- уменьшение реактивной мощности снижает потери в проводниках и трансформаторах, так как уменьшается ток в сети;
- реактивная мощность приводит к падению напряжения, а ее компенсация устраняет этот эффект;
- снижение реактивной мощности позволяет передать больше активной мощности при неизменных размерах кабелей и трансформаторов» [2];
- компании, использующие значительное количество реактивной мощности, обязаны платить дополнительный тариф, поэтому компенсация позволяет снизить платежи.

В данном случае КРМ будет обеспечиваться автоматическими установками серии АУКРМ, которые регулируют уровень компенсации оптимальным образом в автоматическом режиме, что обеспечивает максимальное энергосбережение.

«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 φ до КРМ;

$tg\varphi_k$ – нормативный тангенс угла φ » [2].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 321,89 \cdot (0,73 - 0,33) = 114,7 \text{ квар.}$$

На шинах НН подстанции будет установлено две АУКРМ по 57,5 квар, внешний вид показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Установка АУКРМ

КРМ рассчитана в таблице 3.

Таблица 3 – Компенсация реактивной мощности

Показатели	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
Всего на НН	0,81	0,73	321,89	233,71	397,79
КУ, квар	-	-	-	115	-
Всего на НН с КУ	0,94	0,37	321,89	118,71	343,08
Потери	-	-	6,86	34,31	-
Всего на ВН с КУ	-	-	328,75	153,01	362,62

«Потери в трансформаторах:

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

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 343,08 = 6,86 \text{ кВт},$$

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

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 343,08 = 34,31 \text{ квар.}$$

Нагрузка ТП по стороне ВН, по (3):

$$S'_p = \sqrt{(321,89 + 6,86)^2 + (118,71 + 34,31)^2} = 362,62 \text{ кВА.}$$

Необходимая мощность трансформаторов:

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

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

$S_{p.к.}$ – нагрузка, кВА.

$$S_m \geq 0,7 \cdot 343,08 = 240 \text{ кВА.}$$

Принимается два энергоэффективных трансформатора марки ТМГ33 ХЗК2-250-10/0,4» [11].

ТМГ33 – это трёхфазные трансформаторные аппараты, используемые для изменения характеристик электрической энергии в энергетических системах. Ключевая особенность заключается в применении алюминиевой ленты при изготовлении обмоток низкого напряжения, что гарантирует простоту изготовления и высокую надёжность эксплуатации. Эти модели выполнены согласно стандартам компании «Россети», обеспечивая полное соответствие высоким критериям энергоэффективности оборудования. Потери мощности в режиме холостого хода и короткого замыкания сведены до минимально допустимых значений, что делает такие трансформаторы оптимальным выбором для сегодняшних электросетей. Они также

оборудованы передовыми средствами мониторинга состояния и защитными устройствами [6].

В их конструкцию входят:

- маслоуказатель поплавкового типа;
- предохранительный клапан;
- манометрический сигнализирующий термометр;
- электроконтактный мановакуумметр.

Масляные трансформаторы ТМГ33 ХЗК2 представляют собой современное энергоэффективное решение для систем электроснабжения. Их технические характеристики, надежность и удобство эксплуатации делают их оптимальным выбором для использования как в городских условиях, так и в промышленных объектах. Внедрение данных трансформаторов способствует повышению энергоэффективности энергосистем и снижению потерь электроэнергии, что является важным шагом в развитии современной электроэнергетики.

Внешний вид трансформатора ТМГ33 ХЗК2-250 показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Трансформатор ТМГ33

«Коэффициент загрузки в аварийном режиме:

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

где S_m – номинальная мощность, кВА» [4].

$$K_{з.ав.} = \frac{343,08}{250} = 1,37 \leq 1,4.$$

Компоновка подстанции показана на рисунке 4.

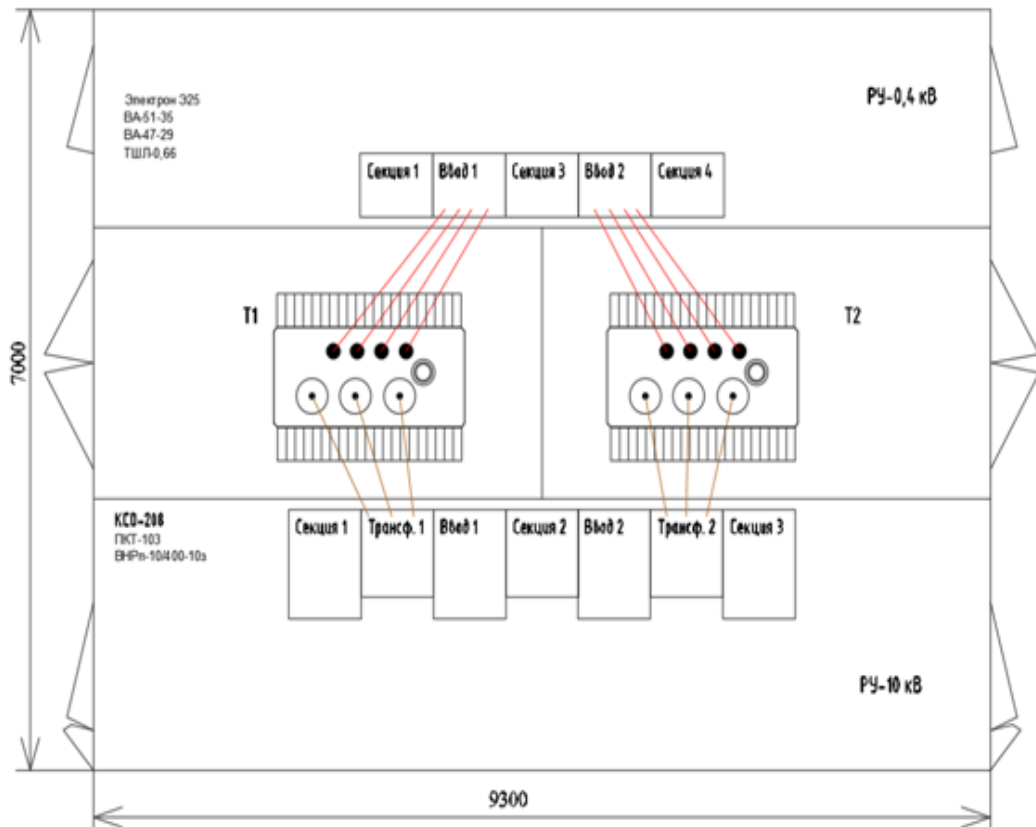


Рисунок 4 – Компоновка подстанции

«Будет установлена комплектная подстанция марки 2КТПН-250, силовые трансформаторы устанавливаются после монтажа ТП на месте постоянного расположения» [12]. Использование КТПН обеспечит снижение

затрат на монтаж СЭС и ускорит его. Подстанция с завода укомплектована надежным штатным оборудованием. Установлена эффективная автоматическая система технического учета электроэнергии (АСТУЭ) от АО «Концерн Энергомера» [20].

2.3 Выбор кабелей высоковольтной питающей линии

«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.

$$I_p = \frac{362,62}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 10,5 \text{ А.}$$

Экономическое сечение жил:

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

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [7].

$$F_{\text{эк}} = \frac{10,5}{1,4} = 7 \text{ мм}^2.$$

«Выбирается кабель АПВП-3×16 мм² (минимальное сечение на 10 кВ).

Аварийный ток линии, по (9):

$$I_{ав} = \frac{362,62}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 20,9 \text{ А.}$$

Допустимый ток кабеля:

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

где $I_{дон}$ – паспортный ток, А;

$K_{нов}$, $K_{ср}$, $K_{пон}$ – коэффициенты недогруженности КЛ, среды и групповой прокладки» [6].

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

«Потери напряжения в линии:

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

где I_p – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

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

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot 20,9 \cdot 0,613 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,907 + 0,102 \cdot 0,422) = 0,27 \% < 5 \%$$

Потери напряжения – в рамках допустимых пределов» [15].

2.4 Выбор кабелей низковольтной силовой сети

Низковольтная распределительная сеть действующего производства (кабельные линии 0,4 кВ и 0,23 кВ от подстанции до распределительных

пунктов производственных участков) выполнена по радиальной схеме, то есть каждый ПУ запитан по отдельной независимой линии.

План трасс кабельных линий показан на рисунке 5.

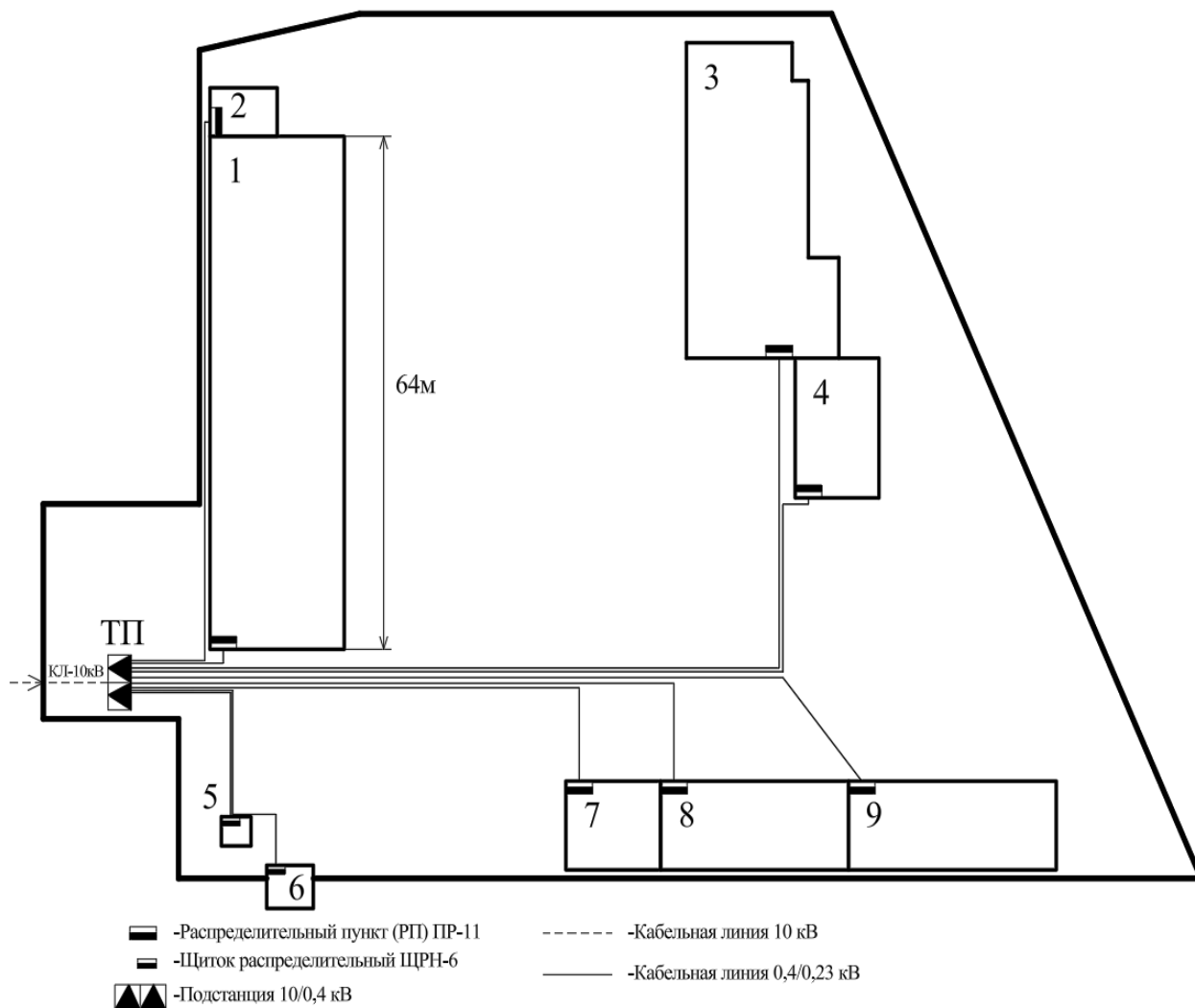


Рисунок 5 – План трасс кабельных линий

Надёжность системы является ключевым преимуществом радиальной схемы [14]. При выходе из строя одной линии остальные потребители продолжают получать питание, что особенно важно для критически важных объектов. Простота эксплуатации достигается за счёт того, что при возникновении неисправности легко определить проблемный участок – он локализуется в конкретной линии. Это значительно сокращает время поиска

и устранения неполадок. Минимальные потери энергии обеспечиваются благодаря тому, что каждая линия предназначена для одного потребителя. Это позволяет оптимизировать процесс передачи электроэнергии и снизить общие потери в сети. Гибкость данной системы заключается в простоте расширения текущей инфраструктуры. В случае надобности легко добавить новые линии электропередач, что крайне актуально при увеличении размеров объекта. Хотя реализация радиальной схемы требует больших затрат и большего объема материалов, она остается наиболее предпочтительным вариантом там, где важны надежность, автономия каждой линии и высокое качество подачи электричества. Эти ключевые достоинства обеспечивают ей лидирующие позиции на промышленных предприятиях и прочих стратегически значимых объектах, где стабильность энергоснабжения является наивысшим приоритетом.

«Структура низковольтной распределительной сети остается неизменной, так как обеспечивает высокую надежность и удобство эксплуатации» [6].

«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» [18].

$$I_p = \frac{163,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 249,1 \text{ А}$$

Выбирается кабель АВБШв-4×95+1×50, $I_{\text{доп}} = 255 \text{ А}$ [17].

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь» [5]. Потери напряжения, согласно (12):

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 249,1 \cdot 16,4 \cdot 100}{0,38} (0,00033 \cdot 0,84 + 0 \cdot 0,342) = 0,5 \% < 5 \%$$

Кабели выбраны в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор кабелей распределительной сети

Участки	I _p , А	Сечение жил АВБШв	I _{доп} , А	ΔU, %
Главный корпус	249,1	4x95+1x50	255	0,5
Насосная	38,1	5x6	55	1,3
Склад	21,6	5x2,5	27	1,7
Сырьевой цех	138,3	4x35+1x25	165	1,1
Хозблок	34,1	3x4	36	1,1
КПП	40,3	3x6	55	1,3
Гараж	58,1	5x10	75	1,3
Вспомогательный корпус	75,4	5x16	90	0,9
Цех нерафинированных масел	80,9			1,2

Выбранные кабели подходят по всем параметрам. Современные кабели с изоляцией из поливинилхлоридного (ПВХ) пластика удобны для монтажа и прокладки по кабельным трассам, относительно недороги, обеспечивают высокий уровень эксплуатационной надежности и безопасности, оказывают минимальное вредное воздействие на окружающую среду.

2.5 Расчет токов короткого замыкания

Для проверки термической стойкости кабелей требуется определить токи короткого замыкания (ТКЗ) в сети.

Схемы для расчета на стороне 10 кВ – на рисунке 6.

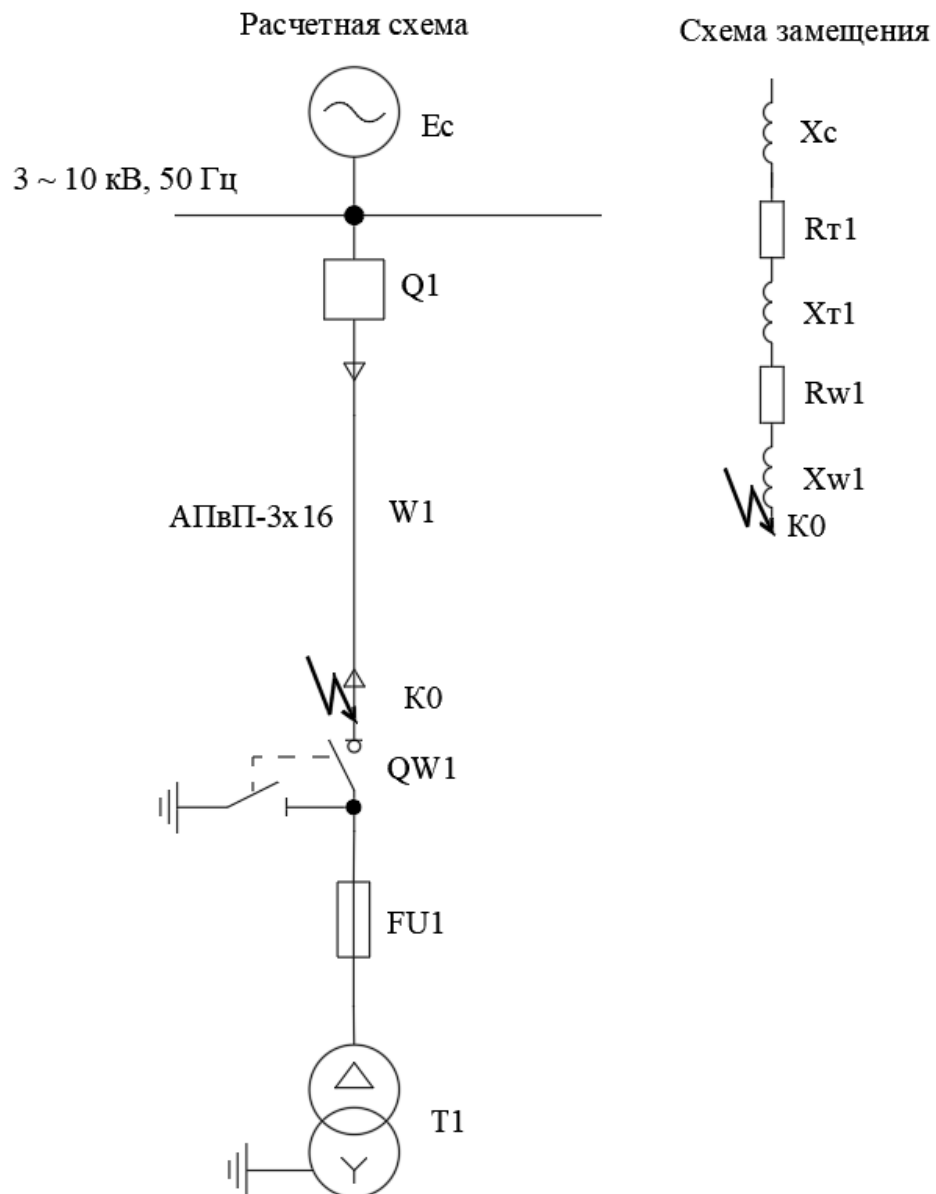


Рисунок 6 – Расчетные схемы

«Значение трехфазного тока КЗ в начале КЛ 10 кВ (на питающем фидере 10 кВ), согласно данным по предприятию: $I_{к.з. \text{ фид}}^{(3)} = 8,505 \text{ кА}$.

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.ФИД}^{(3)}}, \quad (15)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ.

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 8,505} = 0,713 \text{ Ом.}$$

Сопротивления КЛ 10 кВ:

$$X_{w1} = x_0 \cdot L_{w1}, \quad (16)$$

где L_{w1} – длина КЛ, км.

$$X_{w1} = 0,102 \cdot 0,613 = 0,063 \text{ Ом,}$$

$$R_{w1} = r_0 \cdot L_{w1}, \quad (17)$$

$$R'_{w1} = 1,94 \cdot 0,63 = 1,189 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление до точки К0:

$$Z_{к0} = \sqrt{R_{к0}^2 + X_{к0}^2}, \quad (18)$$

$$Z_{к0} = \sqrt{1,189^2 + (0,713 + 0,063)^2} = 1,42 \text{ Ом.}$$

Трехфазный ток КЗ:

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

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

Z_k – полное сопротивление цепи, Ом» [5].

$$I_{k0}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,42} = 4,27 \text{ кА.}$$

«Ударный ток КЗ:

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

где K_y – ударный коэффициент.

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,27 = 10,87 \text{ кА.}$$

Двухфазный ток КЗ» [5]:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k^{(3)}, \quad (21)$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,27 = 3,7 \text{ кА.}$$

Токи короткого замыкания (КЗ) – это явление, возникающее в электрической цепи вследствие нарушения изоляции или неправильного подключения, когда ток резко возрастает, минуя нагрузку и протекая по коротким путям. Такое событие способно вывести из строя оборудование, вызвать пожары и другие последствия, поэтому знание величин ТКЗ является критически важными при проектировании СЭС. Резкий рост тока приводит к сильному нагреву проводников и оборудования, что может вызвать перегорание обмоток трансформаторов, расплавление проводов и выход из строя ЭО.

Также рассчитываются ТКЗ в сети до 1 кВ.

«Расчет токов КЗ на вводе РП участка №1.

Расчетные схемы – на рисунке 7.

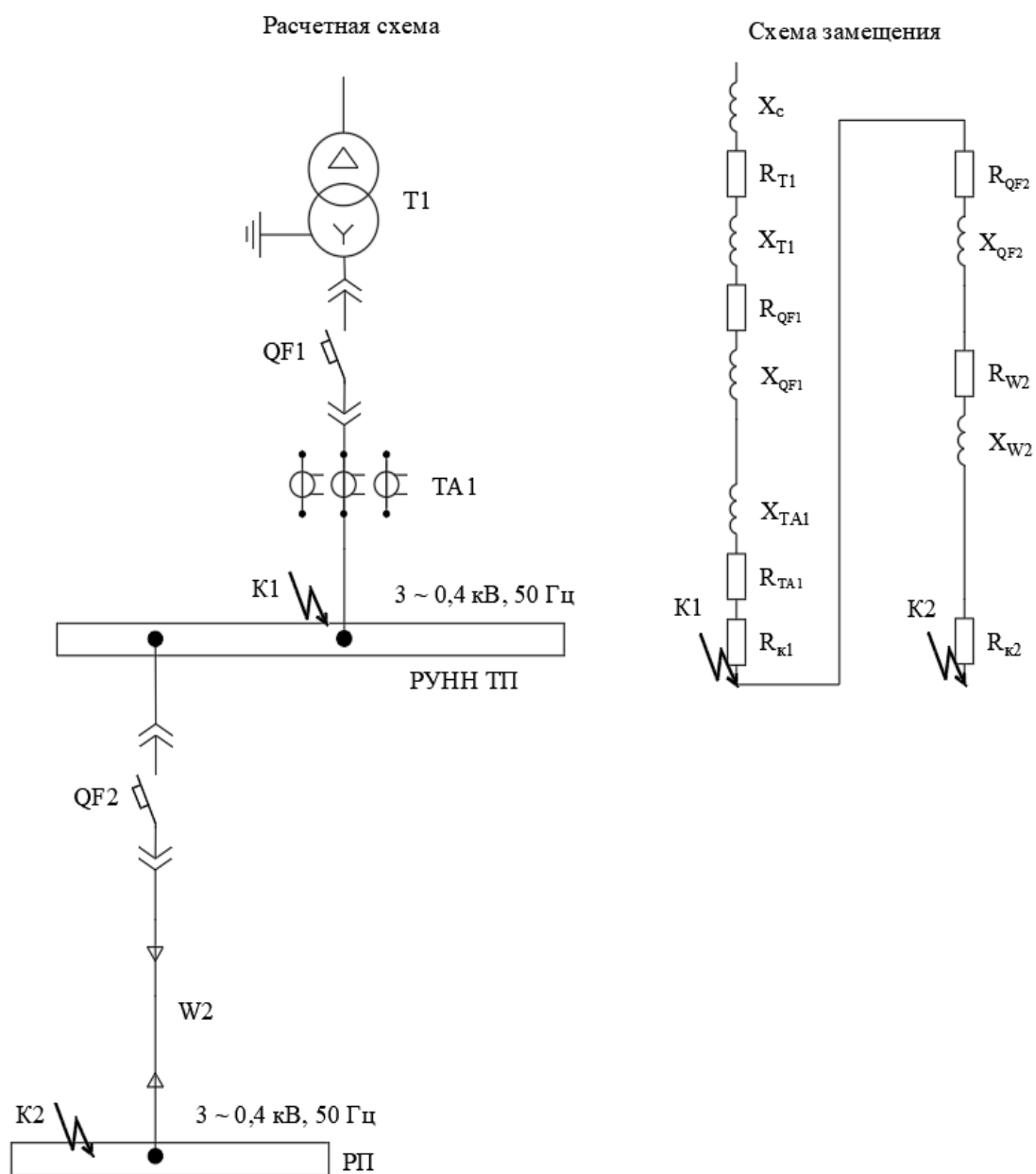


Рисунок 7 – Расчетные схемы

Сопротивление системы:

$$X'_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.К0}^{(3)}}, \quad (22)$$

где U_K – напряжение КЗ, кВ;

$I_{K.3.K0}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ в точке К0, кА.

$$X'_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,27} = 1,42 \text{ Ом.}$$

Сопротивление приводится к ступени 0,4 кВ:

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_{HH}}{U_{BH}}, \quad (23)$$

$$X_c = 14120 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 54,081 \text{ мОм.}$$

Сопротивления линии W2:

$$R_{W2} = r_0 \cdot L_{W2}, \quad (24)$$

где $L_{KЛ1}$ – длина КЛ, м» [5].

$$R_{W2} = 0,33 \cdot 16,4 = 5,412 \text{ мОм,}$$

$$X_{W2} = x_0 \cdot L_{W2}, \quad (25)$$

$$X_{W2} = 0,089 \cdot 16,4 = 1,46 \text{ мОм.}$$

«Переходные сопротивления: $R_{K1} = 0,0034 \text{ мОм}$; $R_{K2} = 0,85 \text{ мОм}$.

Активные сопротивления элементов:

- силового трансформатора: 9,4 мОм;
- выключателя на вводе 0,4 кВ ТП: 0,06 мОм;
- трансформатора тока на вводе 0,4 кВ ТП: 0,07 мОм.

$$R_{\text{э1}} = R_{\text{Т1}} + R_{\text{QF1}} + R_{\text{ТА1}} + R_{\text{к1}}, \quad (26)$$

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

Индуктивные сопротивления элементов:

- силового трансформатора: 27,2 мОм;
- выключателя на вводе 0,4 кВ ТП: 0,06 мОм;
- трансформатора тока на вводе 0,4 кВ ТП: 0,07 мОм.

$$X_{\text{э1}} = X_{\text{Т}} + X_{\text{QF1}} + X_{\text{ТА1}}, \quad (27)$$

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

Активное сопротивление выключателя на фидере к РП: 0,112 мОм.

$$R_{\text{э2}} = R_{\text{QF2}} + R_{\text{W2}} + R_{\text{к2}}, \quad (28)$$

$$R_{\text{э2}} = 0,112 + 5,412 + 0,85 = 6,374 \text{ мОм.}$$

Индуктивное сопротивление выключателя на фидере: 0,13 мОм» [5].

$$X_{\text{э2}} = X_{\text{QF2}} + X_{\text{W2}}, \quad (29)$$

$$X_{\text{э2}} = 0,13 + 1,46 = 1,59 \text{ мОм.}$$

«Сопротивления до точек КЗ:

$$R_{\text{к1}} = R_{\text{э1}}, \quad (30)$$

$$R_{\text{к1}} = 9,58 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{к1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{э1}}, \quad (31)$$

$$X_{\text{к1}} = 54,081 + 27,34 = 81,421 \text{ мОм,}$$

$$Z_{к1} = \sqrt{9,58^2 + 81,421^2} = 81,984 \text{ мОм},$$

$$R_{к2} = R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}}, \quad (32)$$

$$R_{к2} = 9,58 + 6,374 = 15,957 \text{ мОм},$$

$$X_{к2} = X_{\text{с}} + X_{\text{э1}} + X_{\text{э2}}, \quad (33)$$

$$X_{к2} = 54,081 + 27,34 + 1,59 = 83,011 \text{ мОм},$$

$$Z_{к2} = \sqrt{15,957^2 + 83,011^2} = 84,531 \text{ мОм}.$$

Токи КЗ в точке К1, по (19,20):

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 67,611 \cdot 10^{-3}} = 2,82 \text{ кА},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 2,82 = 5,18 \text{ кА}.$$

Сопротивления петли фаза-ноль:

— для линии W2:

$$R_{\text{нW2}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{W2}}, \quad (34)$$

$$R_{\text{нW2}} = 2 \cdot 0,33 \cdot 16,4 = 10,824 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{нW2}} = x_{0\text{н}} \cdot L_{\text{W2}}, \quad (35)$$

$$X_{\text{нW2}} = 0,15 \cdot 16,4 = 2,46 \text{ мОм}.$$

— до точек К1, К2:

$$R_{\text{н1}} = R_{к1}, \quad (36)$$

$$X_{\text{н1}} = 2 \cdot X_{\text{с}}, \quad (37)$$

$$X_{\text{н1}} = 2 \cdot 54,081 = 108,163 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{н1}} = \sqrt{0,0034^2 + 108,163^2} = 108,16 \text{ мОм},$$

$$R_{п2} = R_{к1} + R_{пW2} + R_{к2}, \quad (38)$$

$$R_{п2} = 0,0034 + 10,824 + 0,85 = 11,677 \text{ мОм},$$

$$X_{п2} = X_{пW2} + 2 \cdot X_c, \quad (39)$$

$$X_{п2} = 2,46 + 2 \cdot 54,081 = 110,623 \text{ мОм},$$

$$Z_{п2} = \sqrt{11,677^2 + 110,623^2} = 111,238 \text{ мОм}.$$

Однофазный ток КЗ в точке К1:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot (Z_{п} + \frac{Z_T^{(1)}}{3})}, \quad (40)$$

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

$Z_T^{(1)}$ – однофазное сопротивление трансформатора, мОм» [5].

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (108,16 + \frac{312}{3}) \cdot 10^{-3}} = 1,08 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов – в таблице 5.

Таблица 5 – Токи КЗ

Точка КЗ	$I_{к^{(3)}}$, кА	$I_{к^{(1)}}$, кА
К1	2,82	1,08
К2	2,60	1,02

«Термически стойкое сечение жил:

$$F_T = I_{K3}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{II}} / K_T, \quad (41)$$

где $I_{K3}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ, кА

t_{II} – время КЗ срабатывания защиты, с;

K_T – температурный коэффициент» [4].

Для КЛ 10 кВ:

$$F_T = 4270 \cdot \sqrt{0,03} / 95 = 7,8 \text{ мм}^2 < 16 \text{ мм}^2.$$

Для КЛ 0,4 кВ:

$$F_T = 2820 \cdot \sqrt{0,015} / 95 = 2,43 \text{ мм}^2 < 2,5 \text{ мм}^2.$$

Сечения жил всех кабелей СЭС превышают минимальные по термической стойкости, все кабели устойчивы к токам КЗ.

2.6 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Автоматические выключатели (АВ) являются ключевым элементом защиты электрических сетей предприятий, обеспечивая бесперебойную работу оборудования и предотвращая аварийные ситуации [19]. Основная функция автоматических выключателей заключается в защите электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий. В условиях промышленного производства, где задействованы мощные электродвигатели, системы освещения и различные технологические установки, роль АВ особенно важна. Они не только защищают оборудование от повреждений, но и предотвращают возможные пожары, связанные с неисправностями

электропроводки. Конструктивно АВ состоит из нескольких основных элементов: изолирующего корпуса, проводящих контактов, механизма размыкания цепи и защитных устройств. Многие современные устройства дополнительно оснащены защитой от скачков напряжения и функцией автоматического восстановления работы после ликвидации неполадки. На промышленных объектах установка автоматов производится согласно требованиям техники безопасности и специфике технологических процессов. Подбор конкретной модификации автомата определяется параметрами подключаемой нагрузки, типом электрической сети и условиями эксплуатации оборудования. Крайне важно соблюдать правильность установки и подключения, поскольку это гарантирует стабильную и бесперебойную работу всей электроустановки объекта.

Далее проводится выбор АВ для защиты линий распределительной сети (от ТП до РП производственных участков).

«Условия выбора автоматических выключателей:

– по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (14)$$

– по току теплового расцепителя:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (15)$$

Для линии к участку №1:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 249,1 = 274 \text{ А.}$$

Принимается автомат ВА-52-39/320, выбор автоматических выключателей сведен в таблице 6» [13].

Таблица 6 – Выбор автоматических выключателей

Участки	$1,1 \cdot I_p, A$	Авт. выкл.	$I_{ном}, A$
Главный корпус	274,0	ВА-52-39	320
Насосная	41,9	ВА-51-35	50
Склад	23,8		25
Сырьевой цех	152,1		160
Хозблок	37,5		40
КПП	44,3		50
Гараж	63,9		80
Вспомогательный корпус	83,0		100
Цех нерафинированных масел	89,0		

Внешний вид АВ показан на рисунке 8.

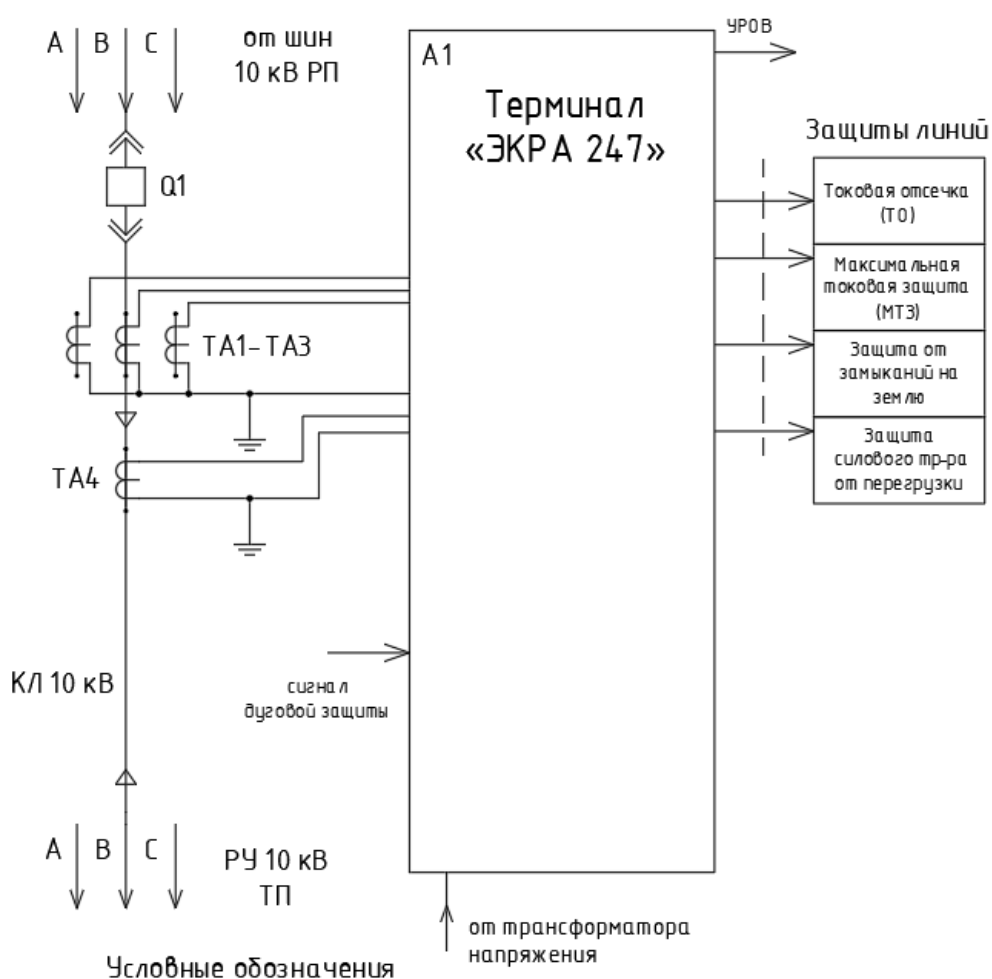


Рисунок 8 – Автоматические выключатели

«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 ЭКРА 247, схема защиты – на рисунке 9.



Обозн.	Наименование
Q1	Высоковольтный выключатель
ТА1-ТА3	Трансформаторы тока
ТА4	Трансформатор тока нулевой последовательности
A1	Терминал ЭКРА 247
УРОВ	Устройство резервирования отката выключателя

Рисунок 9 – Схема защиты фидера 10 кВ

Внешний вид терминала показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Терминал ЭКРА 247

Расчет уставок защит.

Токовая отсечка:

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (16)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки.

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,0105 = 0,0525 \text{ кА}$$

Уставка МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{p.макс} , \quad (17)$$

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

Чувствительность защиты» [1]:

$$k_q = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}} , \quad (18)$$

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 20,9 = 1,388 \cdot 20,9 = 29,01 \text{ А}$$

$$k_q = \frac{3700}{29,01} = 127,5 \geq 1,5$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T} , \quad (19)$$

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

$$I_{CP} = 29,01 \cdot \frac{1}{30 / 5} = 4,835 \text{ А}$$

Ток срабатывания защиты от замыканий на землю:

$$I_{C3} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C , \quad (20)$$

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

I_C – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (21)$$

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

L – длина КЛ, км» [3].

$$I_C = 0,55 \cdot 0,613 = 0,337 \text{ А},$$

$$I_{C.з.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,337 = 1,011 \text{ А}.$$

Предоставляемое производителем терминалов РЗА программное обеспечение (ПО) позволяет эффективно и точно задавать уставки защит. ПО для терминалов релейной защиты является ключевым инструментом, позволяющим эффективно управлять сложными энергетическими объектами, обеспечивая широкий спектр возможностей:

просмотр и редактирование параметров установленных функций защиты;

- анализ работы терминалов по записям встроенного регистратора;
- настройка таблиц связей внутренних логических переменных;
- конфигурация параметров канала межмодульного обмена;
- управление уставками и настройками терминалов.

Современные технологии обеспечивают возможность дистанционной настройки терминалов, что особенно актуально для эффективного контроля разветвленных энергосистем. Программное обеспечение даёт следующие возможности:

- просмотр установок защитных функций посредством сервера оборудования;
- изменение рабочих параметров по стандартному сетевому протоколу TCP/IP;
- взаимодействие с устройствами через выделенные линии.

Приложение от производителя релейной защиты автоматики (РЗА), поставляемое вместе с терминалами марки ЭКРА, предназначено для выполнения следующих операций:

- конфигурации цифровых входных каналов;
- настройки каналов дистанционного управления;
- изменения отображаемой информации на передней панели устройства;
- работы с сигнальными индикаторами («блинкеры») и специальными функциями клавиатуры терминала.

«Автоматический ввод резерва (АВР) на шинах 0,4 кВ подстанции выполняется на терминале ЭКРА 217 0701, внешний вид на рисунке 11.



Рисунок 11 – Внешний вид терминала АВР

Уставка срабатывания АВР:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (22)$$

где $U_{НОМ}$ – напряжение сети, В.

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

Уставка контроля напряжения на резервном вводе:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (23)$$

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

Время срабатывания:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (24)$$

где t_1 – время срабатывания выключателей, с;

Δt – ступень селективности, с» [3].

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

Использование микропроцессорной РЗА обеспечит надежную защиту оборудования СЭС и ее надежную работу в целом.

2.7 Расчет заземления подстанции, молниезащита

Для безопасной эксплуатации СЭС и ее оборудования необходимо выполнить эффективное заземляющее устройство (ЗУ) на подстанции. «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 50х5 мм.

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

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (25)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

K_c – коэффициент сезонности» [8].

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

$$\rho_{p\epsilon} = 1000 \cdot 1,4 = 1400 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Сопротивление растеканию для одного ВЭ:

$$R_{\text{овэ}} = \frac{\rho_{p\phi}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right], \quad (26)$$

где l – длина, м;

d – приведенный диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (27)$$

где b – ширина уголка, м.

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

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м},$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{1100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 60,411 \text{ Ом}.$$

Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{\text{огэ}} / R_n, \quad (28)$$

где R_n – допустимое сопротивление ЗУ, Ом.

$$n' = 60,411 / 4 = 15,1 \approx 16 \text{ шт}$$

Длина ГЭ:

$$l_z = 1,05 \cdot a \cdot n', \quad (29)$$

где a – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n', \quad (30)$$

где $l_{\text{пер}}$ – периметр здания ТП, м» [8].

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

$$a = 32,6 / 16 = 2,04 \text{ м},$$

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

«Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{\text{эз}} = \frac{\rho_{\text{пз}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left(\frac{l^2}{d \cdot t} \right), \quad (31)$$

где l – длина, м;

d – расчетный диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (32)$$

где b – ширина полосы, м.

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

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

$$R_{\text{сз}} = \frac{1400}{2 \cdot 3,14 \cdot 34,27} \cdot \ln \left(\frac{34,27^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,619 \text{ Ом}.$$

План ЗУ подстанции показан на рисунке 12.

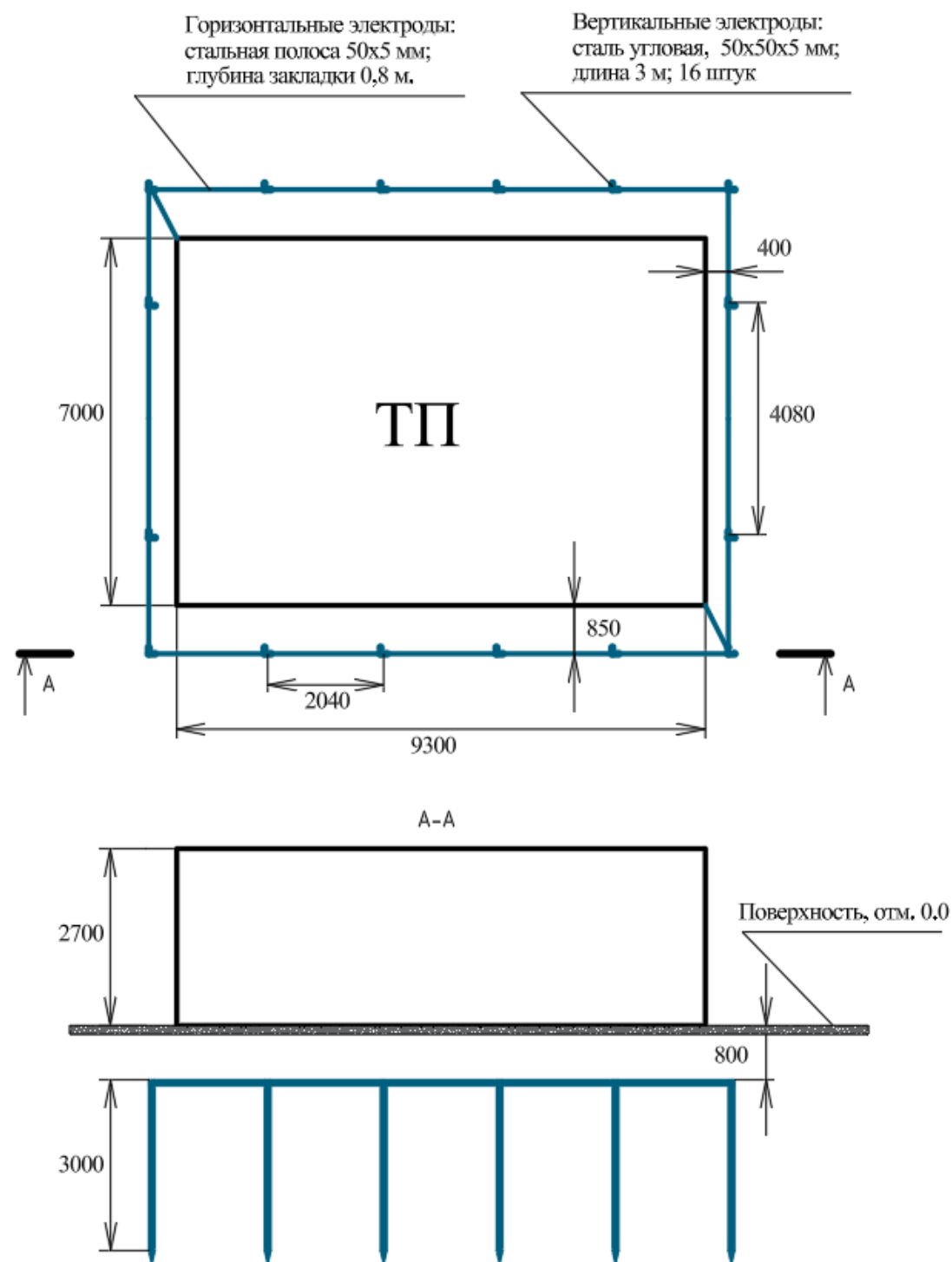


Рисунок 12 – План ЗУ подстанции

Итого сопротивление ЗУ:

$$R_{zp} = \frac{R_{огз} \cdot R_{гз}}{R_{огз} \cdot \eta_{г} \cdot n + R_{гз} \cdot \eta_{г}}, \quad (33)$$

где $\eta_{г}$, $\eta_{г}$ – коэффициенты использования ВЭ и ГЭ.

$$R_{\text{зр}} = \frac{60,411 \cdot 2,619}{60,411 \cdot 0,53 \cdot 16 + 2,619 \cdot 0,32} = 3,649 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

Сопротивление не будет превышать допустимое» [8].

«Внутренний контур заземления ТП обеспечивает присоединение непосредственно электрооборудования к ЗУ, схема внутреннего контура заземления показана на рисунке 13.

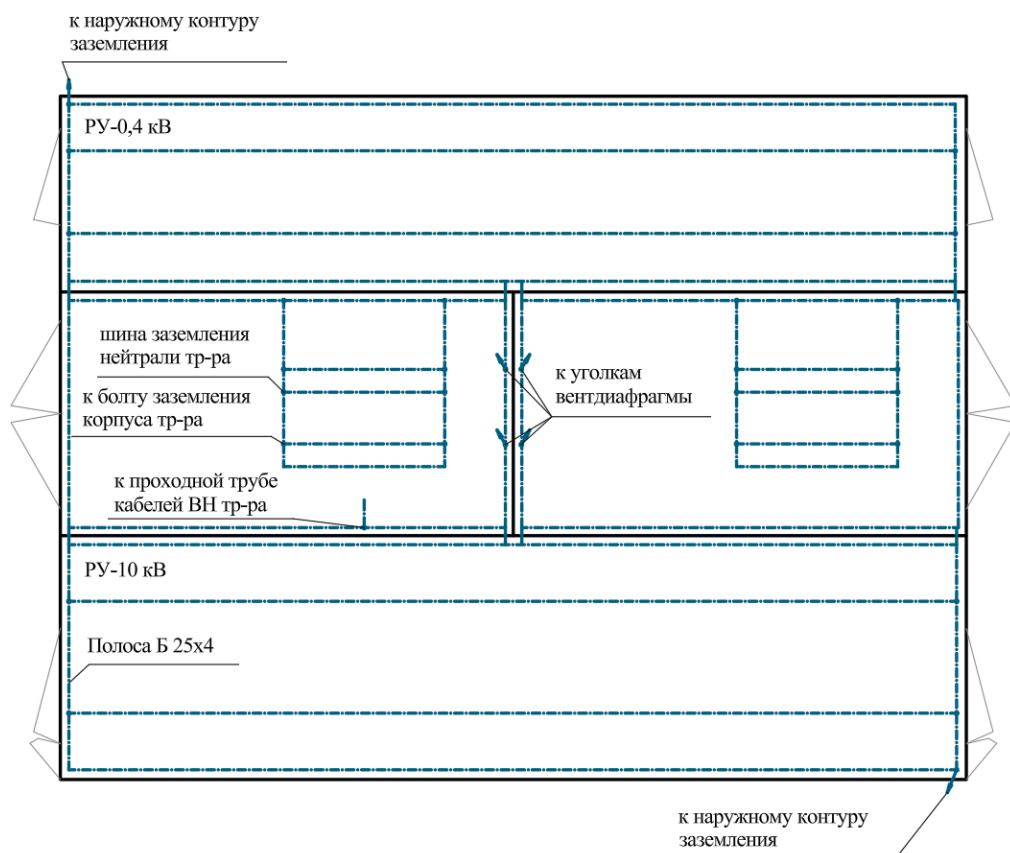


Рисунок 13 – Схема внутреннего контура заземления

Заземляющее устройство является важнейшим элементом безопасности любой подстанции» [12]. Его правильная установка обеспечивает защиту персонала и оборудования от поражения электрическим током, а также предотвращает повреждение электроустановок при аварийных режимах работы. Монтаж заземляющего устройства начинается с тщательной подготовки. На первом этапе выполняются пробивные работы, установка

закладных частей, подготовка отверстий и борозд. Заземляющие проводники соединяются между собой и с электрооборудованием сваркой или надёжным болтовым соединением. Контактные поверхности зачищаются до металлического блеска и покрываются тонким слоем вазелина. При выполнении сварки предъявляются жесткие условия: длина перекрытия должна составлять удвоенную ширину проводника при прямоугольной форме сечения либо шестикратную величину диаметра – при круглой. По завершении установки заземляющих элементов оформляется акт проверки скрытых конструкций, подписываемый представителями исполнителя и заказчика. В исполнительных схемах обязательно фиксируются точные координаты размещения заземляющих установок относительно постоянных ориентиров. Следующим важным шагом становится измерение сопротивления заземляющей конструкции после полного заполнения траншеи грунтом с тщательной утрамбовкой каждого слоя. Дополнительная молниезащита ТП, согласно ПУЭ, в данном случае не требуется, так как она имеет цельнометаллический корпус, соединенный с заземлением [9].

Выводы по второму разделу.

Определены расчетные нагрузки производства подсолнечного масла предприятия пищевой промышленности, с учетом которых рассчитаны режимы работы системы электроснабжения и выбрано ее электрооборудование. Приняты к установке энергоэффективные силовые трансформаторы и автоматические компенсирующие установки, что обеспечит высокую энергоэффективность СЭС. Надёжную и безопасную работу СЭС обеспечит оборудование микропроцессорной РЗА.

Заключение

Предприятие пищевой промышленности планирует постройку и запуск нового дополнительного производства подсолнечного масла, для которого рассчитана система электроснабжения. На территории данного производственного комплекса будет расположено девять производственных участков, включающих главный корпус, вспомогательный корпус, цех нерафинированных масел, сырьевой цех, это основные участки, где осуществляется основная часть технологических процессов по выпуску продукции; эти участки относятся ко второй категории надежности электроснабжения. Насосная обеспечивает централизованное водоснабжение, перерывы которого приведут к остановке всех основных технологических процессов и значительному ущербу для предприятия, поэтому насосная относится к первой категории надежности электроснабжения. Остальные производственные участки относятся к третьей категории. Главный корпус, вспомогательный корпус, цех нерафинированных масел, сырьевой цех включают основную часть электрической нагрузки, которая по данным участкам составляет от 91,2 кВт до 405 кВт. Нагрузки остальных участков существенно меньше, но также значительны.

В целом по объекту, расчетные активная, реактивная и полная нагрузки составили 321,89 кВт, 233,71 квар и 397,79 кВА соответственно. КРМ будет обеспечиваться на шинах 0,4 кВ ТП двумя установками АУКРМ-0,4-57,5, которые регулируют уровень компенсации оптимальным образом в автоматическом режиме, что обеспечивает максимальное энергосбережение. На ТП принимается к установке два энергоэффективных трансформатора марки ТМГ33 ХЗК2-250-10/0,4, которые представляют собой современное энергоэффективное решение для систем электроснабжения. Их технические характеристики, надежность и удобство эксплуатации делают их оптимальным выбором для использования как в городских условиях, так и в промышленных объектах. Внедрение данных трансформаторов способствует

повышению энергоэффективности энергосистем и снижению потерь электроэнергии, что является важным шагом в развитии современной электроэнергетики. Будет установлена комплектная подстанция марки 2КТПН-250, силовые трансформаторы устанавливаются после монтажа ТП на месте постоянного расположения. Использование КТПН обеспечит снижение затрат на монтаж СЭС и ускорит его. Подстанция с завода укомплектована надежным штатным оборудованием, установлена эффективная автоматическая система технического учета электроэнергии (от АО «Концерн Энергомера». Для питающей линии до ТП выбраны современные кабели марки АПвП-3×16. Низковольтная распределительная сеть действующего производства (кабельные линии 0,4 кВ и 0,23 кВ от подстанции до распределительных пунктов производственных участков) выполнена по радиальной схеме, то есть каждый ПУ запитан по отдельной независимой линии. Выбраны современные кабели распределительной сети марки АВБШв, с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката, которые удобны для монтажа и прокладки по кабельным трассам, относительно недороги, обеспечивают высокий уровень эксплуатационной надежности и безопасности, оказывают минимальное вредное воздействие на окружающую среду. Сечения жил всех кабелей СЭС превышают минимальные по термической стойкости, все кабели устойчивы к токам КЗ. Для защиты линий электрической сети и обеспечения надежного электроснабжения выбраны автоматические выключатели марки ВА и терминалы микропроцессорной РЗА серии ЭКРА. Для безопасной эксплуатации СЭС и ее оборудования рассчитано эффективное заземляющее устройство на подстанции. Дополнительная молниезащита ТП, согласно ПУЭ, в данном случае не требуется, так как она имеет цельнометаллический корпус, соединенный с заземлением.

Предложенный проект СЭС обеспечит качественное и надежное электроснабжение производства и рекомендован к реализации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
2. Голов Р. С. Управление энергосбережением на промышленном предприятии : монография. М. : Дашков и К, 2023. 458 с.
3. Горемыкин С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 191 с.
4. Иванов С.Н. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
5. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
6. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
7. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
8. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. СПб. : Лань, 2023. 396 с.
9. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
10. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 336 с.
11. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.
12. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.

13. 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.
14. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2021. 288 с.
15. 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.
16. Шеховцов В. П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 158 с.
17. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.
18. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 495 с.
19. Щербаков Е. Ф. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 303 с.
20. Энергомера. [Сайт]. – <http://www.energomera.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).