

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 агропромышленного комплекса

Обучающийся

Д.А. Тювакин  
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2024

## **Аннотация**

Тема данной выпускной квалификационной работы «Электроснабжение производства подсолнечного масла предприятия агропромышленного комплекса».

Цель выпускной квалификационной работы – создание системы электроснабжения предприятия ООО «Автоп», отвечающего стандартам по качеству и надежности электроэнергии.

Объект проектирования - предприятие агропромышленного комплекса по производству подсолнечного масла ООО «Автоп».

Предмет проектирования – система электроснабжения, состоящая из цеховой трансформаторной подстанции и распределительной кабельной электрической сети низкого напряжения.

Структура выпускной квалификационной работы. Работа состоит из введения, 8 разделов, заключения, содержит 3 рисунка, 11 таблиц, список использованной литературы (25 источников). Основной текст работы изложен на 67 страницах.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия....	7
1.1 Общая характеристика ООО «Автоп» .....	7
1.2 Анализ исходных данных.....	9
2 Расчет электрических нагрузок предприятия.....	12
2.1 Выбор напряжения внутрицеховой сети.....	12
2.2 Расчет электрических нагрузок предприятия.....	12
2.3 Расчет системы освещения.....	16
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	27
3.1 Выбор компенсирующих устройств.....	30
4 Расчет силовой электрической сети цеха.....	35
5 Расчет токов короткого замыкания .....	42
6 Выбор защитной и коммутационной аппаратуры.....	46
7 Релейная защита и автоматика .....	52
7.1 Токовая защита линии 10 кВ.....	52
7.2 АВР 0,4 кВ .....	53
8 Молниезащита и заземление.....	57
8.1 Расчет заземления цеха.....	57
8.2 Расчет молниезащиты цеха .....	58
Заключение.....	60
Список используемой литературы.....	65

## Введение

В условиях текущей экономической неопределенности, рациональное управление затратами становится критически важным аспектом функционирования каждого производственного предприятия. Следовательно, есть необходимость в срочных мерах по оптимизации расходов, что особенно касается компаний с высокой зависимостью от энергетических ресурсов.

Такие предприятия сталкиваются с рядом уникальных затрат, включая потери электроэнергии как технические, так и коммерческие, а также издержки на содержание и эксплуатацию электрического оборудования, которые включают в себя затраты на трудовые ресурсы, запасные части, обслуживание и ремонты. Также существуют косвенные издержки, связанные с низкой энергоэффективностью оборудования, которые могут существенно увеличивать общие расходы.

Ситуацию усугубляют два фактора: общенациональный рост цен и недостаток инвестиций в модернизацию электросетевого хозяйства, которые сопровождаются высокой степенью износа текущего оборудования. Эти обстоятельства затрудняют обеспечение стабильного и качественного электроснабжения, которое необходимо для бесперебойной работы технологических процессов.

Обновление осветительных систем представляет собой одно из ключевых решений для повышения эффективности использования финансов, выделенных на освещение. Такой подход не только способствует сокращению затрат, но и влечет за собой улучшение качества света.

Дополнительно, модернизация системы релейной защиты и автоматики значительно увеличивает надежность электропитания, снижая риск непредвиденных отключений. Внедрение современных технологий в эту область является важным шагом к повышению общей стабильности работы предприятия.

Также фундаментальное значение имеет обновление коммутационной аппаратуры и оптимизация распределительных комплектов. Замена устаревшего оборудования уменьшает вероятность возникновения неисправностей, что напрямую сказывается на снижении количества производственных сбоев и простоев. В свою очередь, перестройка кабельных сетей позволяет уменьшить количество технологических нарушений.

Проведение такого комплекса мероприятий не только способствует сокращению брака, но и является основой для наладки бесперебойного цикла производства, укрепляя тем самым основы успешного и стабильного бизнеса.

На предприятии ООО «Автоп», которое занимается выпуском растительного масла из подсолнуха, основным направлением для сокращения издержек и увеличения прибыльности является оптимизация системы электроснабжения и освещения. Эффективное построение внутренней электрической сети позволит снизить общие расходы на энергопотребление и, как результат, улучшить финансовые показатели компании.

Целью настоящего исследования является разработка высокоэффективной, соответствующей всем стандартам, системы электроснабжения для цеха ООО «Автоп». Реализация этой цели требует тщательной проработки и выполнения ряда конкретных инженерных задач:

- анализ существующих электрических нагрузок и прогнозирование будущих потребностей;
- определение наилучшей схемы распределительной сети напряжением 0,38 кВ;
- подбор сечений проводников, гарантирующих достаточную проводимость и соответствие стандартам качества электроэнергии;
- вычисление потерь напряжения в сети и их минимизация;
- оценка токовых нагрузок в длительном режиме;

- проверка и подбор автоматических выключателей для обеспечения надлежащей защиты в случае однофазных и двухфазных замыканий;
- выбор соответствующего осветительного и электротехнического оборудования;
- расчет и определение системы релейной защиты и автоматики;
- проектирование систем заземления для обеспечения безопасности и молниезащиты.

Все расчеты должны быть выполнены с использованием первоначальных исходных данных и характеристик технологического оборудования, которые указаны в технических паспортах заводо-изготовителей, чтобы обеспечить точность и надежность решений, принятых при проектировании системы электроснабжения промышленного предприятия.

# **1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия**

## **1.1 Общая характеристика ООО «Автоп»**

Предприятие ООО «Автоп» расположено в Самарской области, г. Самара. Основной вид деятельности предприятия – сельское хозяйство и переработка сельхозпродукции.

Количество рабочих смен - 3.

Требуемая категория надежности электроснабжения – 2 и 3.

Предприятие, специализируется на производстве подсолнечного масла, представляет собой высокотехнологичное и экологически чистое производство, ориентированное как на местный, так и на экспортный рынки.

В процессе переработки семян подсолнечника используются современные методы экстракции, которые обеспечивают максимальное извлечение масла и минимальные потери сырья. Внедрение автоматизированных линий и систем управления процессами позволяет достигать высокой энергоэффективности и снижать себестоимость продукции.

Процесс выработки растительного масла на основе семян подсолнечника включает в себя ряд последовательных производственных этапов и операций. Основные шаги включают:

- Прием и очистка семян от различных примесей, чтобы подготовить их к дальнейшей переработке.
- Облущивание, при котором семена подсолнечника делятся на ядро и лузгу.
- Измельчение подготовленных ранее семян и их термическая обработка для подготовки мятки к прессованию.
- Прессование подготовленной мятки и последующая уточка полученного масла.

- Процесс структурирования основного продукта — жмыха, а также извлечение из него оставшегося масла методом экстракции.
- Дистилляция мисцеллы для сепарации масла.
- Рафинирование масла включает в себя такие процессы, как гидратацию, нейтрализацию, дезодорацию, охлаждение, и механическую очистку от примесей.
- Отделение остатков растворителя от шрота.
- Завершающий этап — упаковка очищенного и отфильтрованного масла в потребительские и транспортные упаковки.

Процесс производства на заводе включает использование обширного спектра оборудования для обеспечения полного технологического цикла переработки:

- В начале процесса используются устройства предварительной подготовки семян: это включает точные весы для их взвешивания, прочные силосы для их хранения, эффективные сепараторы для очистки, магнитные улавливатели для удаления металлических примесей, удобные для погрузки бункеры, вертикальный транспорт в виде норий и системы конвейеров для перемещения сырья по производственной линии.
- Для производства прессованного масла задействованы вальцовые мельницы, которые измельчают семена, инактиваторы для обработки, а также пресс-оборудование для извлечения масла. Процесс очищения масла осуществляется с помощью фильтров, а транспортировка — с использованием насосного оборудования.
- Экстракционное оборудование обрабатывает отжатый жмых: здесь применяются дробилки для дополнительного измельчения, экстракторы для вытягивания масла и системы фильтрации мисцеллы. Подогреватели, дистилляционные аппараты и холодильники контролируют температурный режим во время

экстракции, а конвейерные ленты обеспечивают логистику между участками.

- Качество готового масла повышается на стадии рафинации: это достигается с помощью установок гидратации, аппаратуры для нейтрализации кислотности, отбеливания и высушивания продукта, а также используются фильтры и дезодорирование для улучшения запаха.
- Завершающие операции включают точное дозирование масла, его бутыллирование в тару и упаковку в коробки или другую упаковку, готовую к отгрузке потребителям.

Таким образом, технологическая линия комплексно настроена для производства высококачественного масла, начиная с первоначальной обработки сырья и заканчивая упаковкой конечного продукта, со строгим контролем на каждом этапе.

## **1.2 Анализ исходных данных**

Электроснабжение предприятия осуществляется от КТП 10/0,4 кВ.

Электроснабжение производственного цеха ООО «Автоп», где осуществляется переработка семян подсолнечника, обеспечивается через специализированные распределительные узлы.

В каждом таком узле установлены компоненты, обеспечивающие надежность и безопасность электропитания: это включает в себя вводные автоматические выключатели для защиты сети, счетчики для измерения потребления активной и реактивной энергии, а также устройства компенсации реактивной мощности модели АУКРМ 0,4-150 для оптимизации энергопотребления.

Кроме того, функционируют блоки управления электрооборудования, оснащенные автоматами и магнитными пускателями, что позволяет обеспечить контролем и регуляцией работы машин и агрегатов.

Особое внимание уделяется обеспечению электробезопасности, поскольку помещения цеха классифицируются как зоны с повышенным уровнем опасности. В связи с этим производственные ареалы определены как взрывоопасные зоны класса В-Па, что требует принятия дополнительных мер предосторожности при выборе и эксплуатации электрооборудования.

Адекватные меры безопасности также применяются в отношении пожароопасных помещений класса П-2а, в число которых входят склады и вспомогательные зоны.

Для таких областей предписывается использование светильников и розеток с уровнем защиты не ниже IP 44, чтобы предотвратить воздействие влаги и пыли, а также обеспечить безопасное использование в условиях, где есть риск возникновения пожара.

В качестве исходных данных от технологов предприятия получены данные по нагрузкам электрооборудования. Данные нагрузок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные по нагрузкам предприятия

Обозначение оборудования на плане	Наименование характерных электроприемников (ЭП), подключаемых к узлу питания	Количество ЭП, шт.	Номинальная (установленная) мощность, кВт.	
			Однофазное ЭП P <sub>н.макс.</sub>	Общая P <sub>н.макс.</sub>
A1.1-A1.4	Пресс шнековый Экструдер ЭК-105/1500	4	39,0	156,0
A2.1-A2.4	Пресс дожима жмыха ЭК-120/820	4	7,5	30,0
A3	Барабанно-аспирационная рушка семян БАРС-1044	1	12,5	12,5
A4.1-A4.3	Фильтр вакуумный СКИФ-2	3	0,5	1,5
A5.1-A5.3	Насос вакуумный	3	0,5	1,5
A6	Конвейер ленточный подачи семян с элеватора ТБ-30	1	7,5	7,5
A7	Загрузка бункеров сырья Нория НЦ- 50	1	4,0	4,0
A8	Загрузка бункеров перед прессами НЦ-20	1	4,0	4,0

Продолжение таблицы 1

Обозначение оборудования на плане	Наименование характерных электроприемников (ЭП), подключаемых к узлу питания	Количество ЭП, шт.	Номинальная (установленная) мощность, кВт.	
			Одного ЭП рн макс.	Общая раб/рез. Рн.=n *рн
A9	Вентилятор	1	7,5	7,5
A10	Сепаратор БИС-6 (БСЛК-6)	1	1,1	1,1
A11	Компрессор весов БС-50	1	2,0	2,0
A12	Конвейер ленточный передачи жмыха в склад L=8м.	1	4,0	4,0
A13	Конвейер ленточный передвижной ЛТ-10	1	4,0	4,0
A14	Конвейер	1	4,0	4,0
A15	Погрузчик КШП	1	10,8	10,8
A16,A17	Насос шестерный НШ Q=20 м³/час	2	4,5	9,0
A18	Насос шестерный НШ	1	11,0	11,0
A19,A20	Счетчик расхода	2	0,5	1,0
A21,A22	Вентилятор ВЦП 4-70-4	2	4,5	9,0
A23	Транспортер	1	4,5	4,5
A24	Транспортер ТСЦ-25	1	3,0	3,0
A25	Транспортер ТСЦ-26	1	5,0	5,0
ЩР-1	Щит теплогенераторной ЩР-1	1	2,0	2,0
ЩО-1	Щит Освещения 1 этажа ЩО-1	1	11,8	11,8
ЩО-2	Щит Освещения 2 этажа ЩО-2	1	9,0	9,0
ЩО-3	Щит Освещения 3 этажа ЩО-3	1	5,5	5,5
ЩО-4	Щит Освещения 4 этажа ЩО-4	1	6,9	6,9

Далее произведем расчет электрических нагрузок предприятия.

Вывод по разделу: в ходе выполнения первого раздела ВКР дана общая характеристика предприятия проектирования, произведен анализ исходных данных: дана информация о потребителях, их мощности, количестве.

## **2 Расчет электрических нагрузок предприятия**

### **2.1 Выбор напряжения внутрицеховой сети**

Выбор напряжения для внутрицеховых электросетей является важной технико-экономической задачей, сопряженной с тщательным анализом спецификаций оборудования и требований к эффективности распределения энергии. Основываясь на предписаниях, изложенных в рекомендации [19], можно сделать ряд важных выводов относительно выбора напряжения.

Установка напряжения 660 В целесообразна в случаях, когда основную нагрузку на сеть формируют электродвигатели мощностью более 10 кВт и дистанция распределительных и питающих линий достаточно велика, что может сопровождаться существенными потерями при передаче электроэнергии [1].

Для систем освещения, использующих лампы накаливания или люминесцентные лампы, напряжение 660 В является неподходящим. Следовательно, в таких случаях целесообразнее предусмотреть применение стандартного напряжения в 380/220 В.

Кроме того, важно учесть, что управляющие цепи для электродвигателей в проектируемых системах обычно работают на напряжении 220 В [3].

Из этого следует, что использование напряжения 660 В для данного цеха не представляется оптимальным. Таким образом, предпочтительнее выбрать вариант разработки сети с рабочим напряжением 380 В, что будет отвечать потребностям оборудования и требованиям безопасности.

### **2.2 Расчет электрических нагрузок предприятия**

Произведем расчет по методу коэффициента использования.

Для выполнения расчета средних мощностей электроприемников необходимо тщательно анализировать характеристики оборудования и

условия его эксплуатации. Определение коэффициентов использования активной и реактивной мощностей осуществляется на основе стандартных методик расчета, утвержденных в технической документации или нормативных актах, таких как [19]. Эти коэффициенты показывают долю фактической нагрузки от номинальной мощности электроприемника, что необходимо для точности планирования нагрузки на систему электроснабжения. Для электроприемника №1 эти коэффициенты принимаются:  $K_{и} = 0,55$ ,  $\cos\phi_{см} = 0,55 \rightarrow \operatorname{tg}\phi_{см} = 1,52$ . Далее определяются средние активные и реактивные мощности электроприемника:

$$P_{см} = P_{уст} \cdot K_{и} \cdot n = 39 \cdot 0,55 \cdot 4 = 85,80 \text{ кВт}, \quad (1)$$

где  $P_{уст}$  – установленная мощность, кВт;

$K_{и}$  – коэффициент использования,

$n$  – количество однотипных электроприемников.

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\phi_{см} = 85,80 \cdot 1,52 = 130,29 \text{ квар}, \quad (2)$$

где  $\operatorname{tg}\phi_{см}$  – среднесменный тангенс фи.

Полная расчетная мощность:

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2} = \sqrt{85,80^2 + 130,29^2} = 156 \text{ кВА}. \quad (3)$$

Ток нагрузки для данного электроприемника:

$$I_p = \frac{S_{см}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{156}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 431 \text{ А}. \quad (4)$$

Аналогичным образом определяются средние мощности для остальных электроприемников. Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Расчет нагрузки цеха

Расчет по форме Ф636-91		исходные данные							Расчетная мощность			Расчетный ток. $I_p = S_p / 1,73 * U_n * \cos\phi$ ,
		по заданию технологов				по справочным данным			$P_p = K_{и} * P_n$	$Q_p = K_{и} * P_n * \text{tg}\phi$	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	
Обозначение эл.оборудования	Обозначение кабелей	Условные обозначение  Наименование характерных электроприемников (ЭП), подключаемых к узлу питания	Количество ЭП,  Шт.	Номинальная (установленная) мощность, кВт.		Коэффициент использования Ки.	Коэффициент реактивной мощности					
				Одно го ЭП рн макс.	Общая раб/рез . $P_{н.} = n * p_n$		cosφ	tgφ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A1.1-A1.4	H1,H2,H3,H4	Пресс шнековый Экструдер ЭК-105/1500	4	39,0	156,0	0,55	0,55	1,52	85,80	130,29	156	431
A2.1-A2.4	H5,H6,H7,H8	Пресс дожима жмыха ЭК-120/820	4	7,5	30,0	0,55	0,55	1,52	16,50	25,05	30	83
A3	H9	Барабанно-аспирационная рушка семян БАРС-1044	1	12,5	12,5	0,65	0,60	1,33	8,13	10,83	14	34
A4.1-A4.3	H10,H11,H12	Фильтр вакуумный СКИФ-2	3	0,5	1,5	0,30	0,40	2,29	0,45	1,03	1	4
A5.1-A5.3	H13,H14,H15	Насос вакуумный	3	0,5	1,5	0,95	0,85	0,62	1,43	0,88	2	3
A6	H16	Конвейер ленточный подачи семян с элеватора ТБ-30	1	7,5	7,5	0,55	0,55	1,52	4,13	6,26	8	21
A7	H17	Загрузка бункеров сырья Нория НЦ- 50	1	4,0	4,0	0,65	0,55	1,52	2,60	3,95	5	13
A8	H18	Загрузка бункеров перед прессами НЦ-20	1	4,0	4,0	0,65	0,55	1,52	2,60	3,95	5	13
A9	H19	Вентилятор	1	7,5	7,5	0,75	0,75	0,88	5,63	4,96	8	15

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A10	H20	Сепаратор БИС-6 (БСЛК-6)	1	1,1	1,1	0,60	0,65	1,17	0,66	0,77	1	2
A11	H21	Компрессор весов БС-50	1	2,0	2,0	0,80	0,85	0,62	1,60	0,99	2	3
A12	H22	Конвейер ленточный передачи жмыха в склад L=8м.	1	4,0	4,0	0,60	0,55	1,52	2,40	3,64	4	12
A13	H23	Конвейер ленточный передвижной ЛТ-10	1	4,0	4,0	0,60	0,55	1,52	2,40	3,64	4	12
A14	H24	Конвейер	1	4,0	4,0	0,60	0,55	1,52	2,40	3,64	4	12
A15	H25	Погрузчик КШП	1	10,8	10,8	0,50	0,40	2,29	5,40	12,37	14	51
A16,A17	H26,H27	Насос шестерный НШ Q=20 м³/час	2	4,5	9,0	0,75	0,80	0,75	6,75	5,06	8	16
A18	H28	Насос шестерный НШ	1	11,0	11,0	0,75	0,80	0,75	8,25	6,19	10	20
A19,A20	K13,K14	Счетчик расхода	2	0,5	1,0	0,75	0,80	0,75	0,75	0,56	1	2
A21,A22	H29,H30	Вентилятор ВЦП 4-70-4	2	4,5	9,0	0,80	0,70	1,02	7,20	7,35	10	22
A23	H31,K17	Транспортер	1	4,5	4,5	0,80	0,55	1,52	3,60	5,47	7	18
A24	H32,K18	Транспортер ТСЦ-25	1	3,0	3,0	0,80	0,55	1,52	2,40	3,64	4	12
A25	H33,K19	Транспортер ТСЦ-26	1	5,0	5,0	0,80	0,55	1,52	4,00	6,07	7	20
ЩР-1	M1	Щит теплогенераторной ЩР-1	1	2,0	2,0	0,80	0,70	1,02	1,60	1,63	2	5
ЩО-1	H34	Щит Освещения 1 этажа ЩО-1	1	11,8	11,8	1,00	0,95	0,33	11,80	3,88	12	20
ЩО-2	H35	Щит Освещения 2 этажа ЩО-2	1	9,0	9,0	1,00	0,95	0,33	9,00	2,96	9	15
ЩО-3	H36	Щит Освещения 3 этажа ЩО-3	1	5,5	5,5	1,00	0,95	0,33	5,50	1,81	6	9
ЩО-4	H37	Щит Освещения 4 этажа ЩО-4	1	6,9	6,9	1,00	0,95	0,33	6,90	2,27	7	12
		ИТОГО:		177,10	328,10	0,64	0,67	1,101	209,86	231,13	312,19	494,67

## 2.3 Расчет системы освещения

При разработке проекта осветительной системы особое внимание уделяется энергоэффективности и способам ее повышения. Важными аспектами в этом контексте является выбор экономичных источников света. Современные линейные люминесцентные лампы являются примером эффективных источников света, предлагая высокую светоотдачу при заметном снижении потребления энергии. К тому же, они имеют значительно более длительный срок службы (в некоторых случаях до 20 раз дольше) по сравнению с традиционными лампами накаливания [4].

Важным аспектом оптимизации освещения на предприятии является контроль уровня освещенности. Для более гибкого управления освещением можно использовать систему, предусматривающую группировку световых источников. Это дает возможность включать освещение выборочно в зависимости от потребности. Например, можно организовать освещение таким образом, чтобы светильники включались по рядам либо чередовались в определенном порядке, напоминая расстановку фигур на шахматной доске. Такой подход позволяет достигать необходимой освещенности в рабочих зонах, не излишне расходуя электроэнергию [23].

Это сокращает энергопотребление, обеспечивая при этом адекватное освещение рабочих зон.

Для измерения и обеспечения качества освещения используются различные методы светотехнического расчета, включая метод коэффициента использования светового потока, точечный метод и метод удельной мощности.

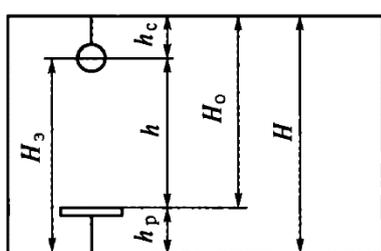
Эти методы помогают точно определить, какие светильники использовать, их количество и расположение для обеспечения требуемого уровня освещения при минимальных затратах электроэнергии [5].

Согласно типу визуальных работ разряда IIIa, каковы часто встречаются в офисах, за компьютерными рабочими местами или при работе

с документацией, нормативно установлена освещенность в 500 люкс (лк) для создания комфортных и безопасных условий труда.

Этот параметр является исходной точкой для светотехнического проектирования общего освещения в данных помещениях.

Расстояния по вертикали для размещения светильников указываются на рисунке 1.



$h_c$  — высота свеса;  
 $h$  — расчетная высота;  
 $h_p$  — рабочая высота;  
 $H$  — высота помещения;  
 $H_0$  — высота эксплуатационная;  
 $H_0$  — высота потолка над рабочей поверхностью.

Рисунок 1 – Размещение источников света по высоте

«Определяем значения вертикальных размеров размещения источников света по высоте.

Определяем расстояние от рабочей поверхности до потолка

$$H_0 = H - h_p = 5,0 - 0,8 = 4,2 \text{ м}, \quad (5)$$

где  $H$  – высота помещения;

$h_p$ – высота от пола до рабочей поверхности (принимаем  $h_p = 0,8$  м)» [10].

Определяем высоту свеса светильника:

$$h_c = H_0 \cdot (0,2 \dots 0,25) = 4,2 \cdot 0,2 = 0,84 \text{ м}. \quad (6)$$

Определяем расчетную высоту:

$$h = H - h_p - h_c = 5,0 - 0,8 - 0,84 = 3,4 \text{ м}. \quad (7)$$

В процессе разработки системы освещения акцентируется внимание на оптимальном размещении источников света (ИС) для достижения требуемого уровня освещенности, сохраняя при этом энергетическую эффективность установки [24].

Точечные источники света (точечные ИС), такие как светодиодные или галогенные светильники, обычно устанавливаются в соответствии с определенными геометрическими конфигурациями, часто в виде квадратов или прямоугольников, где каждый светильник располагается на вершинах этих многогранников [6].

Трубчатые источники света, например, люминесцентные лампы, размещаются вдоль светящихся линий, которые ориентируются вдоль длинных сторон помещения для создания непрерывной линии освещения.

Критерием для определения того, что набор трубчатых ИС формирует светящую линию, служит расстояние между окончаниями соседних светильников: если оно не превышает половину высоты подвеса светильника ( $0,5h$ ), то такие ИС представляют единую светящую линию [25].

При выборе количества рядов светильников, будь то точечные или трубчатые ИС, следует принимать в расчет величину так называемого критерия экономичности осветительной установки.

Этот критерий может включать в себя такие параметры, как энергопотребление, стоимость оборудования, требования к равномерности освещения, эксплуатационные издержки и срок службы светильников.

Число рядов светильников подбирается таким образом, чтобы минимизировать общие затраты на освещение при сохранении требуемых стандартов освещенности и комфорта для зрения пользователей помещения.

«Определяем критерий экономичности осветительной установки ( $\lambda = L/h$ ) для заданного типа Д2 кривой силы света (КСС) по табличным данным для помещений высотой до 6 метров, наиболее выгодный  $\lambda=1,3$ » [10].

Определяем расчетное расстояние между рядами световых приборов:

$$L_{\text{в.р}} = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 3,4 = 4,42 \text{ м.} \quad (8)$$

Определяем расчетное число рядов

$$n_{\text{р.р.}} = \frac{B}{L_{\text{в.р}}} = \frac{14}{4,42} = 3,167, \quad (9)$$

где  $B$  – ширина помещения, м.

Принимаем число рядов  $n_{\text{р}} = 3$ .

Уточняем расстояние между рядами

$$L_{\text{в}} = \frac{B}{n_{\text{р}}} = \frac{14}{3} = 4,7 \text{ м.} \quad (10)$$

Определяем расстояние от стены до оси первого ряда

$$l_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}}}{2} = \frac{4,67}{2} = 2,3 \text{ м.} \quad (11)$$

Расстояние между точечными ИС по длине помещения определяется из условия:

$$L_{\text{А}} = 1,0 \cdot L_{\text{в}} = 4,7 \text{ м.} \quad (12)$$

«Расстояние между точечными ИС по длине помещения  $L_{\text{А}}$  определяется после расчета светового потока ряда и выбора типа ИС» [10].

Проверяем размещение СП на плане по габаритам помещения: длине  $A$  и ширине  $B$ :

$$A = l_{\text{сп}} \times N_{\text{сп.р.}} + L_{\text{А.р}} (N_{\text{сп.р.}} - 1) + 2 \times l_{\text{А.р}} \quad (13)$$

$$B = L_{\text{в}} \cdot (n_{\text{п}} - 1) + 2 \times I_{\text{в}}$$

«Результатом светотехнического расчета является определение светового потока ряда и выбор типа источников света и световых приборов (СП)» [10].

Для определения светового потока рассчитываем индекс помещения.

$$i = \frac{(A \cdot B)}{(h \cdot (A + B))} = \frac{(26 \cdot 14)}{(3,4 \cdot (26 + 14))} = 2,68. \quad (14)$$

Для оптимизации эффективности освещения при использовании светильников с лампами накаливания типа НСП необходимо учитывать ряд факторов.

Среди них ключевым является коэффициент использования светового потока, который обозначается как  $\eta$ . Этот параметр варьируется в зависимости от нескольких условий и характеристик помещения.

В первую очередь, важно рассмотреть коэффициенты отражения света от различных поверхностей, которые маркируются как  $\rho_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{с}}$  и  $\rho_{\text{р}}$ .

Эти коэффициенты отражают способность потолка, стен и пола соответственно отражать свет, что напрямую влияет на общую освещенность пространства.

Также необходимо учитывать индекс помещения, обозначаемый как  $i$ . Этот параметр является мерой пропорциональности размеров пространства и определяет, как свет распределяется внутри него.

И, конечно, в любых расчетах следует принимать во внимание тип используемого светового прибора. В нашем случае это НСП - светильники с лампами накаливания.

«Для точного определения коэффициента использования светового потока  $\eta$  следует обратиться к специализированным таблицам, которые учитывают все перечисленные характеристики» [10].

Только таким образом можно добиться точного расчета и надлежащего уровня освещенности помещения, обеспечивая при этом экономичное и эффективное использование световых ресурсов [8].

Определяем из табличных данных:

$$\eta = F(70;50;10, \text{ при } i = 2,68, \text{ при использовании ЛСП}) = 64 \%$$

Определяем световой поток одного ряда СП

$$\Phi_{\text{р.р.}} = \frac{Kз \cdot Z \cdot Eн \cdot S}{\eta \cdot N} = \frac{1,2 \cdot 1,3 \cdot 500 \cdot 364}{0,64 \cdot 3} = 14785 \text{ лм}, \quad (15)$$

где  $Kз$ -коэффициент запаса (для ламп накаливания =1,2);

$Z$  - коэффициент минимальной освещенности (для ЛН=1,3);

$Eн$  - нормируемая освещенность (из задания на КП) ( $Eн=500$  лк);

$S$  - площадь помещения;

Выбираем источник света (ИС) типа Armstrong A-office – светодиодный светильник, мощностью 500 Вт, у которого:

$\Phi_{\text{л}}$  – световой поток лампы,  $\Phi_{\text{л}} = 8300$  лм;

Определяем расчетное количество ламп в ряду:

$$N_{\text{р.р.}} = \frac{\Phi_{\text{р.р.}}}{\Phi_{\text{л}}} = \frac{14785}{8300} = 17,8 \quad (16)$$

Принимаем количество ламп в ряду  $N_{\text{р}}=18$  и выбираем светильник типа Armstrong A-office. Количество светильников в ряду  $N_{\text{сп.р.}}= 18$ .

Определяем расстояние между СП в ряду

$$L_{\text{А.р}} = (A - l_{\text{сп}} \times N_{\text{сп.р.}}) / N_{\text{сп.р.}} = (26 - 0,3 \times 18) / 18 = 1,14 \text{ м}. \quad (17)$$

Определяем фактическую освещенность помещения

$$E\phi = \frac{(\Phi_p \cdot n_p \cdot \eta)}{(K_3 \cdot Z \cdot S)} = \frac{(149400 \cdot 18 \cdot 0,64)}{(1,2 \cdot 1,3 \cdot 346)} = 3030 \text{ лк} \quad (18)$$

Измеренный уровень освещенности в помещении превышает установленный стандарт в 500 люкс (лк), что, без сомнения, приводит к ненужному потреблению электричества и, как следствие, к увеличению расходов [9].

Впрочем, существует решение, способное минимизировать эту проблему - оно кроется в оптимизации системы освещения.

Стратегия заключается в разделении осветительных устройств (ОУ) на несколько групповых линий.

Такой подход позволяет более гибко управлять работой светильников, адаптируя их работу к реальной потребности в освещении, и тем самым сокращать излишние экономические затраты.

Внедрение группового управления освещением является эффективным способом не только для снижения энергопотребления, но также для повышения общего комфорта в помещении и продления срока службы осветительного оборудования.

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{л}} \cdot n_{\text{л.сп}} \cdot N_{\text{сп}} \cdot n_p = 500 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 3 = 27 \text{ кВт}, \quad (19)$$

где  $n_{\text{л.сп}}$  – количество ламп в светильнике.

Формируем марку осветительной установки

ОУ 8 × 9 ЛПО25 — (2 × 65) / 3,2

ИС – ЛБ – 65, Фл = 4600 лм

Размещение ОУ на плане помещения показано на рисунке 2.

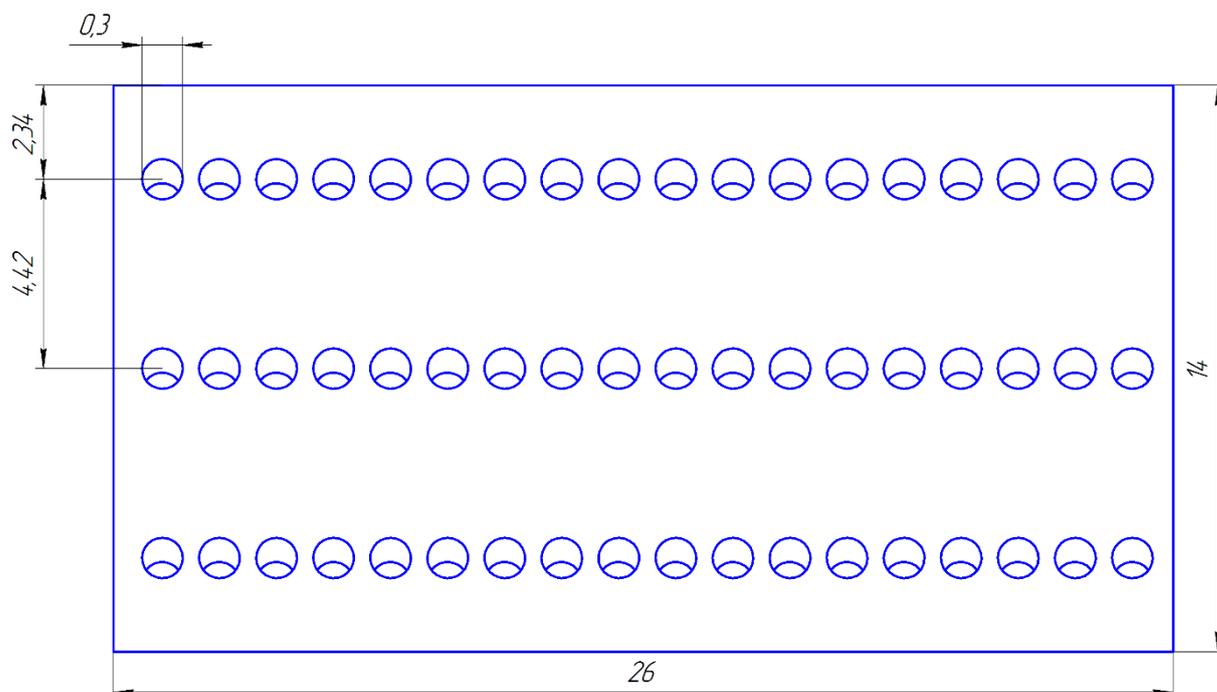


Рисунок 2 – План размещения светильников

Для организации равномерной нагрузки на электросеть, необходимо распределить светильники максимально сбалансированно между фазами трехфазной сети. Для этого количество светильников разделяют на три, поскольку имеется три фазы [11].

Сначала распределим общее количество светильников равномерно по трем фазам:

$$54 \text{ светильника} / 3 \text{ фазы} = 18 \text{ светильников на фазу}$$

Далее, примем во внимание ограничения по количеству точечных источников света на фазу:

- Максимальное количество точечных источников света на фазу (ЛН, ДРЛ и т.п.) составляет 20.
- Максимальное количество люминесцентных ламп (ЛЛ) на фазу — 50.
- Одна лампа накаливания (ЛН) эквивалентна 2,5 люминесцентным лампам (ЛЛ).

Так как имеем только светильники мощностью по 500 Вт (предположим, что это ЛН, для наглядности примера), то мы должны привести светильники к эквивалентному количеству ЛЛ используя соотношение  $1\text{ЛН} = 2,5\text{ЛЛ}$ .

Эквивалентное количество ЛЛ для одной фазы:  $18\text{ЛН} * 2,5 = 45\text{ЛЛ}$

Принимая во внимание ограничения, нам подходит распределение 45 эквивалентных ЛЛ на фазу, так как оно не превосходит максимально допустимое количество (50 ЛЛ на фазу). Таким образом, для каждой фазы нам потребуется только одна групповая линия для 18 ЛН.

В итоге, мы имеем следующее распределение:

- 18 светильников ЛН на первую фазу - 1 ГРЛ;
- 18 светильников ЛН на вторую фазу - 1 ГРЛ;
- 18 светильников ЛН на третью фазу - 1 ГРЛ.

Итого, общее количество необходимых групповых линий (ГРЛ) составляет 3.

Количество светильников, подключенных к ГРЛ:

ГРЛ №1-3 -  $N_{\text{сп.грл}\#i} = 9$  (фаза А-В-С),

Подключение СП к ГРЛ осуществляется по схеме: первый ряд 9 СП к ГРЛ №1; второй ряд 9 СП к ГРЛ №2; третий ряд 9 СП к ГРЛ №3 и т.д.

Такое подключение ряд через ряд позволяет включать освещение непосредственно над производственным участком и отключать освещение над неиспользуемыми площадями участка.

Неравномерность распределения нагрузки по фазам, допускается не более 15%.

$$H = \frac{P_{\text{нб}} - P_{\text{нм}}}{P_{\text{нм}}} \cdot 100\% = \frac{9000 - 9000}{9000} = 0 \text{ кВт}, \quad (20)$$

где  $P_{\text{нб}}$  – наиболее нагруженная фаза, Вт;

$P_{\text{нм}}$  – наименее нагруженная фаза, Вт.

К каждой фазе подключается одинаковое количество СП, поэтому в данном проекте  $P_{\text{ном}} = P_{\text{нб}}$ .

Условие проверки на неравномерность нагрузки фаз выполняется.

Щит ГЩО расположен на осевой линии стены В на плане помещения.

От щита питаются шесть групповых линий (ГРЛ).

Световые приборы включаются по схеме «звезда».

Определим расчетные средние мощности.

Определяем максимальную мощность в ГРЛ №1:

$$P_{\text{max}} = 1,2 \cdot K_{\text{с.о.}} \cdot \sum P_{\text{ном}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 4500 = 5400 \text{ Вт}, \quad (21)$$

где  $K_{\text{с.о.}}$ -коэффициент спроса осветительный. Для небольших производственных зданий  $K_{\text{с.о.}} = 1$ ,

$\sum P_{\text{ном}}$  - суммарная номинальная мощность всех подключенных светильников в линии.

ГРЛ в проекте имеют одинаковое количество СП, поэтому максимальная мощность ГРЛ №1 равна мощности всех остальных ГРЛ.

Определяем максимальную нагрузку в ГРЛ №1.

$$I_{\text{max.грл№1}} = \frac{P_{\text{max.грл№1}}}{U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi} = \frac{5,4}{0,22 \cdot 1} = 24,55 \text{ Вт}, \quad (22)$$

ГРЛ в проекте имеют одинаковое количество СП, поэтому максимальный ток ГРЛ №1 равен току всех остальных ГРЛ.

Сечение проводника выбираем согласно условию  $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}}$  тип ППВ - 2 × 2, расшифровывается как:

П – Провод, П – Плоский, В - Изоляция жил – ПВХ, 2 - Количество жил, 2 - Сечение проводника, мм<sup>2</sup>

Выбранный проводник удовлетворяет условию  $I_{\text{доп}} = 26 \text{ А} \geq I_{\text{max}} = 24,55 \text{ А}$ .

Вывод по разделу: в ходе выполнения данного раздела ВКР был произведен выбор номинального напряжения цеховой электрической сети. Выбрана глухозаземленная сети 220/380 В. Далее был произведен расчет электрических нагрузок методом коэффициента использования с применением табличных справочных данных. По результатам расчета получены расчетные и средние мощности нагрузок, которые затем будут использованы при выборе силовых трансформаторов. Полная расчетная мощность составляет 312,19 кВА.

Также произведен расчет нагрузок освещения методом коэффициента спроса и точечного выбора количества светильников и их мощности, исходя из потребной освещенности помещения в соответствии с разрядом зрительной работы.

Полученные значения осветительных нагрузок также будут учтены в расчете полной трансформаторной мощности для его последующего выбора.

### 3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

Выбор мощности трансформатора осуществляется по расчетной мощности третьего уровня электроснабжения с учетом сварочной нагрузки:

$$S_{\text{номтр}} \geq \frac{S_{\text{мш}}}{N \cdot K_3}, \quad (23)$$

где  $N$  – число трансформаторов,

$K_3$  — коэффициент загрузки трансформатора.

Согласно рекомендациям, найденным в литературном источнике [19], для обеспечения высокого уровня надежности системы электроснабжения промышленной подстанции, задействованной в обслуживании трехфазных электроприемников второй категории, рационально использовать два трансформатора [12].

Такая конфигурация позволит сохранять бесперебойное энергоснабжение, даже если один из трансформаторов выйдет из строя или будет отключен для проведения ремонтных работ.

Этот подход способствует повышению надежности и обеспечивает непрерывность производственного процесса, что чрезвычайно важно для объектов, требующих круглосуточного электропитания.

Это решение повышает надежность системы: при выходе из строя одного из трансформаторов второй сможет обеспечить электроэнергией потребителей.

Коэффициент загрузки трансформаторов, речь о котором идет в рекомендациях, устанавливается на уровне 0,7.

Это значение выбрано на основе того факта, что масляные трансформаторы имеют определенный запас по перегрузочной способности, которым можно воспользоваться в аварийных ситуациях.

Работа трансформаторов с коэффициентом загрузки 0,7 позволяет обеспечить необходимый запас мощности для таких случаев, а также способствует увеличению срока службы оборудования и повышению эффективности работы подстанции.

Тогда:

$$\frac{S_{\text{МП}}}{N \cdot K_3} = \frac{312,19}{2 \cdot 0,7} = 222,99 \text{ кВА},$$

Выбираем два силовых трансформатора мощностью  $S_{\text{номтр}} = 250 \text{ кВА}$ .

Тип трансформатора — ТМГ в соответствии с рекомендациями [13], [19].

В рамках данной дипломной работы выбор пал на установку фабрично-изготовленной комплектной трансформаторной подстанции (КТП) для цеха, что обуславливается ее более высоким уровнем готовности и производственной завершенности по сравнению с сборными аналогами.

В рассматриваемой ситуации предпочтение будет отдано, первую очередь, подстанциям изготовления самарского предприятия «Электроцит» серии КТПШ, конструктивно выполненным в виде блочно-модульных зданий.

Такой выбор гарантирует более оперативную установку и запуск подстанции, а также уменьшает трудозатраты на ее монтаж. КТП комплектуется трансформаторами тока, подбор которых осуществляется в соответствии с допустимыми продолжительными токами подключаемых устройств [14].

Расчет максимально-допустимого тока вводного присоединения ведется на основе совокупной нагрузки электрооборудования второго уровня и нагрузки от систем освещения цеха.

Ключевой компонент в системе безопасности электроснабжения — секционный выключатель — требует тщательного подбора номинального тока. При его выборе учитывают мощностные показатели самой загруженной секции шиностроения. В этом контексте, ориентировочно, учитываем

показатели для двух секционных шин, чтобы обеспечить адекватный запас по току.

При подборе параметров трансформатора тока для нейтрали основного трансформатора, важно соблюдение указаний, которые детализированы в источнике. Эти рекомендации учитывают специфику соединений обмоток, оформленных по схеме «звезда-звезда».

Для ознакомления с детальной схемой организации подстанции КТП представлена техническая документация. Развернутая информация и схемы расположены на втором листе прилагаемого к работе комплекта документов. Эти материалы предоставят полезные разъяснения и помогут в дальнейшем планировании и исполнении проектных работ.

Таблица 3 – Выбор трансформаторов тока

Присоединение	$S_{\text{присоед}}$ , кВА	$I_{\text{дл}}$	$I_{\text{ном1}}$
Ввод 0,4 кВ	323,79	491,95	500
РП 1	43,223	65,671	75
РП 2	48,304	73,39	75
РП 3	41,477	63,018	75
РП 4	33,737	51,258	75
РП 5	89,561	136,074	150
РП 6	9,883	15,016	20
ЩО	57,605	87,522	100
СВ	190,609	289,6	300
N	-	57,7	75

Место установки ЦТП определяется как центр цеховых нагрузок. Координаты центра цеховых нагрузок (по полной мощности, кВА):

$$X_0 = \frac{\sum(S_i \cdot X_i)}{\sum S_i}, \quad (23)$$

$$Y_0 = \frac{\sum(S_i \cdot Y_i)}{\sum S_i}.$$

$$X_0 = \frac{(43,223 \cdot 0,1) + (48,304 \cdot 0,1) + (41,477 \cdot 0,1) + (33,737 \cdot 48,8) + (89,56 \cdot 71) + (9,88 \cdot 71)}{266,185} = 32,76 \text{ м},$$

$$Y_0 = \frac{(43,223 \cdot 37) + (48,304 \cdot 18) + (41,477 \cdot 7,8) + (33,737 \cdot 6) + (89,56 \cdot 28) + (9,88 \cdot 35)}{266,185} = 21,98 \text{ м}.$$

В связи с ограничениями, действующими на площадке цеха, установка центральной трансформаторной подстанции (ЦТП) невозможна в предполагаемом ранее месте. После изучения альтернативных вариантов, определено, что наиболее подходящим местом для размещения ЦТП является локация с координатами (68; 20).

Эта точка была выбрана как оптимальная с учетом существующих условий и максимально близкая к изначально расчетному месту для обеспечения эффективного электроснабжения цеха.

### 3.1 Выбор компенсирующих устройств

Отобранные для использования сварочные установки оснащены встроенной системой, которая позволяет компенсировать реактивную мощность.

В связи с этим, при проведении расчетов нагрузок третьей категории для сети цеха, потребление реактивной мощности данными устройствами принимать во внимание не требуется.

Это означает, что сварочные аппараты функционируют таким образом, что их влияние на общую реактивную нагрузку сети минимизируется, благодаря чему упрощается процесс управления и оптимизации работы энергосистемы цеха.

Определяем необходимость установки КУ и их мощность:

$$Q_{\text{ку}} = Q_{\text{м}} - Q_{\text{сmax}} = k \cdot Q_{\text{м}} - P_{\text{м}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{с}}, \quad (24)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий несовпадение по времени наибольших активной нагрузки энергосистемы и реактивной нагрузки промышленного предприятия, принимается равным от 0,7 до 1 (принимается в соответствии с [19] для небольших предприятий — 0,85);

$Q_{Cmax}$  – реактивная мощность, выдаваемая энергосистемой предприятию;

$tg\varphi_3$  – коэффициент реактивной мощности энергосистемы (принимается от 0,2 до 0,4);

$P_m$  – расчетная нагрузка цеха;

$Q_m$  – расчетная реактивная мощность.

$$Q_{ку} = 0,85 \cdot 209,86 - 231,13 \cdot 0,3 = 109,04 \text{ квар.}$$

Для того, чтобы определить общую мощность, доступную для компенсации в установках низкого напряжения, применяется конкретная методика.

В ходе расчета фиксируется общая реактивная мощность, обозначаемая как  $Q_{НБК}$ , которая является агрегатом двух ключевых элементов:  $Q_{НБК1}$  и  $Q_{НБК2}$ .

Первый элемент,  $Q_{НБК1}$ , выражает мощность, которую обеспечивает батарея конденсаторов и цель которой – минимизировать использование трансформаторов, при этом не снижая их функциональность до недопустимого уровня.

Второй элемент,  $Q_{НБК2}$ , отражает мощность другой батареи конденсаторов. Этот расчет включает в себя анализ и стремление к уменьшению потерь активной мощности в сети электроснабжения до минимально возможного предела.

Когда эти две части суммируются, мы получаем показатель общего потенциального вклада установок в компенсацию реактивной мощности на стороне с низким напряжением системы.

Т.к. сварочные трансформаторы имеют штатные КУ, допустимо считать что  $S'_3 = P'_3$ .

$$\begin{aligned}
Q_{\text{НБК1}} &= Q_{\text{МПП}} - \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{НОМТР}})^2 - (P_{\text{МПП}})^2} = \\
&= 209,86 - \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 250)^2 - 231,13^2} = -52,97 \text{ квар.}
\end{aligned}
\tag{25}$$

Принимаем число  $Q_{\text{НБК1}}=0$ .

$$\begin{aligned}
Q_{\text{НБК2}} &= Q_{\text{МПП}} - Q_{\text{НБК1}} - \gamma \cdot T \cdot S_{\text{НОМТР}} = 209,86 - 0 - 0,5 \cdot 2 \cdot 250 = \\
&= -40,14 \text{ квар,}
\end{aligned}
\tag{26}$$

где  $\gamma$  - расчетный справочный коэффициент, принимается в соответствии с [19] для ОЭС Центра, числа рабочих смен — 3.

Так как  $Q_{\text{НБК2}} < 0$ , то принимаем число  $Q_{\text{НБК1}}=0$ .

$$Q_{\text{НБК}} = Q_{\text{НБК1}} + Q_{\text{НБК2}} = 0.$$

Комплекс мер по компенсации реактивной мощности предусматривает установку двух фиксированных конденсаторных блоков модели АКУ-01-0,4-150-20-УХЛЗ, каждый из которых обладает номинальной мощностью в 125 квар.

Данные устройства будут интегрированы в систему электроснабжения в специально отведенных для этого ячейках, размещенных в непосредственной близости от центральной трансформаторной подстанции (ЦТП).

Мы планируем произвести подключение к шинам с напряжением 0,4 кВ распределительного устройства.

Такой выбор места для установки продиктован значительными преимуществами: в данном секторе отсутствуют крупномасштабные потребители электроэнергии с высоким уровнем потребления реактивной мощности и не имеется регулируемых приводов с низким коэффициентом мощности.

Это обстоятельство значительно упрощает задачу компенсации реактивной мощности и снижает общую нагрузку на электросеть, что делает процесс более эффективным и менее обременительным для всей системы электроснабжения.

Окончательно выбираем два трансформатора ТМГ-250/10 со следующими техническими характеристиками:

Таблица 4 – Технические характеристики силового трансформатора

Тип	Номинальная мощность	ВН	НН	Схема и группа соединений обмоток	Потери ХХ	Потери КЗ	Напряжения КЗ	Ток ХХ
ТМГ-250/10	кВА	кВ	кВ	-	кВт	кВт	%	%
	250	10	0,4	У/У <sub>н</sub> -0	0,74	3,7	4,5	2,3

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне высокого напряжения определяется:

$$Q_{\text{ВБК}} = Q_{\text{КУ}} + \Delta Q_{\text{T}} - Q_{\text{НБК}}, \quad (27)$$

где  $\Delta Q_{\text{T}}$  – потери реактивной мощности в трансформаторах цеховой ТП.

Рассчитаем потери реактивной мощности в трансформаторах:

$$\Delta Q_{\text{T}} = \Delta Q_{\text{ХХ}} + K_3^2 \cdot Q_{\text{р}}, \quad (28)$$

$$\Delta Q_{\text{ХХ}} = \frac{N \cdot S_{\text{НОМТР}} \cdot i_{\text{ХХ}}}{100} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 2,3}{100} = 11,5 \text{ квар}, \quad (29)$$

$$\Delta Q_{\text{р}} = \frac{N \cdot S_{\text{НОМТР}} \cdot U_{\text{к}}}{100} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 4,5}{100} = 22,5 \text{ квар}, \quad (30)$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = 11,5 + 0,7^2 \cdot 22,5 = 22,53 \text{ кВАр}$$

Мощность КУ на стороне высокого напряжения:

$$Q_{\text{ВБК}} = 109,04 + 22,53 - 0 = 131,57 \text{ квар}$$

Выбираем на стороне высшего напряжения два компенсирующих устройства типа АУКРМ-60-10,5 УЗ.

Выводы по разделу: в третьем разделе ВКР произведен выбор силовых цеховых трансформаторов по полной расчетной нагрузке. Выбраны силовые трансформаторы масляные герметичные (марка ТМГ) с номинальной мощностью 250 кВА. Далее произведен расчет компенсирующих устройств на стороне низкого напряжения, определено их количество исходя из технико-экономического расчета по наиболее выгодному количеству киловольтампер реактивных с точки зрения генерации на шинах ЦТП 0,4 кВ. Также произведен расчет требуемой генерации реактивной мощности на шинах ВН центра питания.

На стороне как низкого, так и высокого напряжения выбраны компенсирующие устройства с автоматической регуляцией.

#### 4 Расчет силовой электрической сети цеха

Сечение проводников в общепромышленных сетях напряжением до 1 кВ выбирается по условию выдерживания нагрева длительно допустимым током,  $I_{\text{дд}} \geq I_{\text{рабmax}}$ .

Выбранные проводники электрической сети проверяются по потере напряжения.

В цехе предусмотрены основные системы электрической сети: технологическое оборудование, осветительные приборы и розетки для подсоединения различных устройств. В качестве проводников энергии используется кабель типа АВВГ с напряжением 0,66 кВ, расположенный на открытых лотках.

Компоненты электромонтажа отбираются в соответствии с требованиями безопасности, с учетом уровня влажности и опасности возгорания в помещениях: каждое изделие соответствует своей категории защиты [17].

Питающие и контрольные кабели укладываются в металлические лотки модели НЛ-20 П1 87УЗ. Кабельные пучки, размещенные на лотках, фиксируются с применением бандажей – на горизонтальных участках с интервалом не более 4,5 метров, на вертикальных – не более 1 метра.

Особое внимание необходимо обратить на крепление в местах изгибов кабельной трассы, где допустимое расстояние между креплениями составляет не более 0,5 метра от самого поворота [18].

Лотки монтируются на кирпичные или бетонные поверхности с использованием дюбелей и распорных гаек (модель К436) или капроновых дюбелей (модель У658) со швеллерными хомутами.

Присоединение лотков к металлическим поверхностям разрешается выполнять с помощью винтов.

В случаях, когда кабельные лотки пролегают под перекрытиями с выступающими элементами, их крепление на балках должно быть

надежным. Если же между балками расстояния превышают 2 метра, фиксация требуется и в местах соединения различных секций лотков.

Для фиксации кабелей на лотках применяют ленту К226 с кнопками К227 или металлические полоски шириной 8-9 мм. Совместное размещение кабелей осветительной и силовой сетей на одних и тех же лотках допускается.

В случае направления кабелей к электродвигателям, проложенных открыто, необходимо обеспечить защиту кабелей от механических повреждений, удерживая их на высоте не менее 2 метров от уровня пола.

Используются защитные профили, швеллеры, стальные короба или трубы. При использовании трубной защиты рекомендуется осуществлять их соединение на резьбе со специальными муфтами для вводных устройств электродвигателей.

Основные трассы кабелей в цехе должны быть размещены на высоте не менее 2 метров от рабочей площадки для обеспечения безопасности и удобства обслуживания. По возможности лучше располагать их на высоте от 2,5 до 4 метров [20].

При проектировании системы кабельной прокладки важно выбрать такие трассы, чтобы минимизировать риск воздействия химически активных веществ, содержащихся в технологических трубопроводах, на кабели и лотки. Для обеспечения безопасности и долговечности кабельных систем следует придерживаться следующих рекомендаций:

- в зонах классифицированных как В-Па, где существует вероятность воздействия легковоспламеняющихся продуктов, кабели должны быть проложены ниже трубопроводов, по которым перемещаются пары или газы с плотностью меньше 0,8 по сравнению с плотностью воздуха, чтобы тяжелые горючие составляющие не опускались на кабельные конструкции;
- если же горючие пары или газы имеют плотность, превышающую

плотность воздуха, кабели следует размещать выше трубопроводов, чтобы предотвратить соприкосновение с опасными веществами, поднимающимися вверх.

В проектной документации должны быть четко указаны привязки кабелей, исключаящие их контакт с задвижками, вентилями, обратными клапанами и другой арматурой на расстоянии не менее 150 мм для избегания случайных повреждений.

При пересечении или параллельном прохождении кабельных трасс с трубопроводами, по которым транспортируются горючие жидкости, между ними должно быть соблюдено минимальное расстояние в 500 мм во избежание воспламенения или перегрева кабелей.

Необходимо, чтобы весь инвентарь в производственных помещениях соответствовал классу взрывозащиты ВІа, а также удовлетворял требованиям температурных классов согласно указаниям для электроустановок.

Для конкретизации выбора кабеля для электроприемника, обозначенного как А1.1, производится анализ и выбор кабеля, основываясь на условиях, таких как текущая нагрузка, условия прокладки, необходимая степень защиты и соответствие нормам безопасности.

$$I_{\text{дд}} \geq I_{\text{р}} \quad (31)$$

$$75 \cdot 0,92 = 69 \text{ А} \geq 59,25 \text{ А}$$

где  $I_{\text{дд}}$  – длительно-допустимый ток кабеля, принимается в соответствии с [7] для трехжильного кабеля с алюминиевыми жилами и ПВХ изоляцией, проложенного в трубе. Данному длительно-допустиому току соответствует сечение 25 мм<sup>2</sup>. Выбираем кабель АВВГ 4x25.

Произведем проверку кабеля по допустимой потере напряжения.

$$\Delta U = \frac{R_{\text{л}} \cdot P_{\text{МП}} + X_{\text{л}} \cdot Q_{\text{МП}}}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot 100\%, \quad (32)$$

где  $R_{\text{л}}$ ,  $X_{\text{л}}$  — соответственно активное и реактивное сопротивление питающей линии [19].

$$\Delta U = \frac{96,625 \cdot 33,724 + 7,0,34 \cdot 27,035}{380^2} \cdot 100 = 2,388\%$$

Так как потеря напряжения в кабеле не превышает 5%, выбор кабеля считается завершенным [2].

Для остального оборудования производится аналогичный расчет и далее не приводится. Результаты расчета сведены в таблицу 5.

Выводу по разделу: в данном разделе произведен расчет распределительной цеховой сети 0,4 кВ. Выбраны проводники для прокладки по конструкциям, на лотках для питания электроприемников. В качестве кабельной линии выбран кабель марки АВВГ-0.66 – алюминиевый, с поливинилхлоридной изоляцией, поливинилхлоридной поясной изоляцией, номинальным напряжением 0,66 кВ. Потери напряжения в выбранных кабельных линиях не превышают допустимых значений в 5%.

Таблица 5 - Расчет электрической сети цеха

Обозначение кабеля, провода	Трасса						прокладка кабеля в трубах и на лотках			Протяжной ящик №	Кабель, провод		
	Начало			Конец			Обозначение	Диаметр по стандарту, мм	Длина, м		по проекту		
											Марка	Кол., число и сечение жил	Длина, м
1	2			3			4	5	6	7	8	9	10
H1	РП -1	QF1	пом.№	A1.1	пресс	пом.№	T001	40	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x25)	30
H2	РП -1	QF2	пом.№	A1.2	пресс	пом.№	T002	40	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x25)	35
H3	РП -1	QF3	пом.№	A1.3	пресс	пом.№	T003	40	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x25)	40
H4	РП -1	QF4	пом.№	A1.4	пресс	пом.№	T004	40	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x25)	45
H5	РП -1	QF5	пом.№	A2.1	пресс	пом.№	T005	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	35
H6	РП -1	QF6	пом.№	A2.2	пресс	пом.№	T006	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	40
H7	РП -1	QF7	пом.№	A2.3	пресс	пом.№	T007	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	45
H8	РП -1	QF8	пом.№	A2.4	пресс	пом.№	T008	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	50
H9	РП -1	QF9	пом.№	A3	рушка	пом.№	T009	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x10)	40
H10	РП -1	QF10	пом.№	A4.1	фильтр	пом.№	T010	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x2.5)	45
H11	РП -1	QF11	пом.№	A4.2	фильтр	пом.№	T011	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x2.5)	50
H12	РП -1	QF12	пом.№	A4.3	фильтр	пом.№	T012	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x2.5)	55
H13	РП -1	QF13	пом.№	A5.1	насос	пом.№	T013	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x2.5)	35
H14	РП -1	QF14	пом.№	A5.2	насос	пом.№	T014	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x2.5)	40
H15	РП -1	QF15	пом.№	A5.3	насос	пом.№	T015	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x2.5)	45
H16	РП -1	QF16	пом.№	A6	конвейер	пом.№	T016	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	40
H17	РП -1	QF17	пом.№	A7	нория	пом.№	T017	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	50

Продолжение таблицы 5

1	2			3			4	5	6	7	8	9	10
H18	РП -1	QF18	пом.№	A8	нория	пом.№	T018	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	50
H19	РП -1	QF19	пом.№	A9	вентилятор	пом.№	T019	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	50
H20	РП -1	QF20	пом.№	A10	сепаратор	пом.№	T020	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x2.5)	45
H21	РП -1	QF21	пом.№	A11	весы	пом.№	T021	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x2.5)	50
H22	РП -1	QF22	пом.№	A12	конвейер	пом.№	T022	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	50
H23	РП -1	QF23	пом.№	A13	конвейер	пом.№	T023	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	65
H24	РП -1	QF24	пом.№	A14	конвейер	пом.№	T024	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	60
H25	РП -1	QF25	пом.№	A15	погрузчик	пом.№	T025	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	70
H26	РП -1	QF26	пом.№	A16	насос	пом.№	T026	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	50
H27	РП -1	QF27	пом.№	A17	насос	пом.№	T027	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	50
H28	РП -1	QF28	пом.№	A18	насос	пом.№	T028	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	50
H29	РП -1	QF31	пом.№	A21	вентилятор	пом.№	T029	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	50
H30	РП -1	QF32	пом.№	A22	вентилятор	пом.№	T030	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	50
H31	РП -1	QF33	пом.№	A23	транспортер	пом.№	T031	25	5	-	АВВГ-0.66	1 (4x6)	90
H32	РП -1	QF34	пом.№	A24	транспортер	пом.№	T032	25	5	-	АВВГ-0.67	1 (4x4)	40
H33	РП -1	QF35	пом.№	A25	транспортер	пом.№	T033	25	5	-	АВВГ-0.68	1 (4x4)	70
M1	ЩО-1	Гр.1-1	пом.№	ЩР-1	Теплогенер	пом.№	-	-	-	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	25
H34	РП -1	QF36	пом.№	ЩО-1	Щит освещ.	пом.№	-	-	-	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	40
H35	РП -1	QF37	пом.№	ЩО-2	Щит освещ.	пом.№	-	-	-	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	35
H36	РП -1	QF38	пом.№	ЩО-3	Щит освещ.	пом.№	-	-	-	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	20
H37	РП -1	QF39	пом.№	ЩО-4	Щит освещ.	пом.№	-	-	-	-	АВВГ-0.66	1 (4x4)	35
-	ЩО-1	I этаж	-	освещение		I этаж	-	20	115	-	-	1 (3x1,5)	135
-	ЩО-2	I этаж	-	освещение цеха		I этаж	-	20	255	-	-	1 (3x2,5)	280
-	ЩО-1	I этаж	-	розетки		I этаж	-	20	40	-	-	1 (3x2,5)	50
-	ЩО-2	II этаж	-	освещение		II этаж	-	20	95	-	-	1 (3x1,5)	115
-	-	-	-	освещение цеха		II этаж	-	20	265	-	-	1 (3x1,5)	290

Окончание таблицы 5

1	2			3		4	5	6	7	8	9	10
-	ЩО-2	II этаж	-	розетки	II этаж	-	20	50	-	ПУНП-0.66	1 (3x2,5)	65
-	ЩО-3	III этаж	-	освещение	III этаж	-	20	60	-	ПУНП-0.66	1 (3x1,5)	70
-	-	-	-	освещение цеха	III этаж	-	20	135	-	ВВГнг	1 (3x1,5)	150
-	ЩО-3	III этаж	-	розетки	III этаж	-	20	50	-	ПУНП-0.66	1 (3x2,5)	60
-	ЩО-4	IV этаж	-	освещение	IV этаж	-	20	55	-	ПУНП-0.66	1 (3x1,5)	65
-	-	-	-	освещение цеха	IV этаж	-	20	145	-	ВВГнг	1 (3x1,5)	170
-	ЩО-4	IV этаж	-	розетки	IV этаж	-	20	40	-	ПУНП-0.66	1 (3x2,5)	50
-	ЩР-1	I этаж	-	освещение	I этаж	-	20	50	-	ВВГнг	1 (3x1,5)	55
-	ЩР-1	I этаж	-	розетки+эл.оборудов.	I этаж	-	20	40	-	ВВГнг	1 (3x2,5)	50

В следующем разделе произведем расчет токов короткого замыкания.

## 5 Расчет токов короткого замыкания

Для расчета токов КЗ необходимо рассчитать сопротивления каждого элемента схема. Сопротивления нулевой и прямой последовательности приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Значения сопротивлений элементов схемы

Элемент	$r^{(3)}$	$x^{(3)}$	$r^{(1)}$	$x^{(1)}$
Энергосистема	-	6,57	-	-
Трансформатор	31,5	65,7	31,5	65,7
Электродуга	-	-	15	-
Вводной автомат НН (с учетом контактных соединений)	2,15	1,2	2,15	1,2
Сопротивление одного контактного соединения	0,003	-	0,003	-
Вводной аппарат РП (с учетом контактных соединений)	1,1	0,5	1,1	0,5
РУ	0,015	-	0,015	-
РП	0,02	-	0,02	-
Сборные шины РУ	0,315	0,18	3,15	0,72
Автомат ЭП (с учетом контактных соединений)	7	4,5	7	4,5

Сопротивления трансформатора, принимаются в соответствии с справочными данными, сопротивление энергосистемы принимается как

$x_c = 0,1 \cdot x_T$ , соотношения сопротивлений кабелей прямой и нулевой последовательностей:  $r_0 = 10 \cdot r_1$ ,  $x_0 = 4 \cdot r_0$  [19].

Определим суммарное активное сопротивление прямой последовательности:

$$r_{1\Sigma} = r_T + r_{KB} + r_{PY} + r_{Ш} + r_K = 31,5 + 2,15 + 0,015 + 0,315 + 3 \cdot 0,003 = 33,99 \text{ мОм.}$$

Определим суммарное реактивное сопротивление прямой последовательности:

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_T + x_{KB} + x_{Ш} = 6,57 + 65,7 + 1,2 + 0,18 = 73,65 \text{ мОм.}$$

Определим суммарное активное сопротивление нулевой последовательности:

$$r_{0\Sigma} = r_{T0} + r_{KB0} + r_{PY0} + r_{Ш0} + r_{K0} + r_D = 31,5 + 2,15 + 0,015 + 3,15 + 3 \cdot 0,003 + 15 = 51,82 \text{ мОм.}$$

Определим суммарное реактивное сопротивление прямой последовательности:

$$x_{0\Sigma} = x_{T0} + x_{KB0} + x_{Ш0} = 65,7 + 1,2 + 0,72 = 67,62 \text{ мОм.}$$

Тогда, установившееся значение тока трехфазного короткого замыкания будет равно:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2)}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(33,99^2 + 73,65^2)}} = 2,85 \text{ кА, ударное значение тока}$$

трехфазного короткого замыкания

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{K3}^{(3)} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 2,85 \cdot 1,6 = 6,45 \text{ кА,}$$

где  $k_{уд}$  — ударный коэффициент, значение которого принимается в соответствии с [19].

Установившееся значение однофазного тока короткого замыкания:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}{\sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 33,99 + 51,82)^2 + (2 \cdot 73,65 + 67,62)^2}} = 2,82 \text{ кА.}$$

Для остальных точек расчет токов КЗ производится аналогично, результаты сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Расчет токов короткого замыкания

Точка КЗ	Сопротивление схемы замещения, мОм				Ток КЗ, кА		
	трехфазное КЗ		однофазное КЗ		трехфазное КЗ		однофазное КЗ, действующее значение
	$r^{(3)}$	$x^{(3)}$	$r^{(1)}$	$x^{(1)}$	действующее значение	ударное значение	
Шины РУ-0,4 кВ	33,99	73,65	51,82	67,62	2,85	6,45	2,82
Ввод РП	131,72	81,18	1019,18	96,26	1,49	3,37	0,53
Зажимы ЭП №1	182,50	86,09	1463,71	102,38	1,09	2,47	0,36
Зажимы ЭП №2	237,50	86,60	2013,71	104,42	0,87	1,97	0,26
Зажимы ЭП №3	292,50	87,11	2563,71	106,47	0,72	1,63	0,21

Продолжение таблицы 7

Точка КЗ	Сопrotивление схемы замещения, мОм				Ток КЗ, кА		
	трехфазное КЗ		однофазное КЗ		трехфазное КЗ		однофазное КЗ, действующее значение
	$r^{(3)}$	$x^{(3)}$	$r^{(1)}$	$x^{(1)}$	действующее значение	ударное значение	
Зажимы ЭП №4	355,00	87,69	3188,71	108,79	0,60	1,36	0,17
Зажимы ЭП №5	398,75	88,09	3626,21	110,41	0,54	1,22	0,15
Зажимы ЭП №6	456,25	88,63	4201,21	112,54	0,47	1,06	0,13
Зажимы ЭП №7	201,23	86,54	1651,01	104,18	1,00	2,26	0,32
Зажимы ЭП №8	236,37	87,02	2002,46	106,11	0,87	1,97	0,26
Зажимы ЭП №9	280,89	87,63	2447,63	108,55	0,75	1,70	0,22
Зажимы ЭП №10	418,75	88,28	3826,21	111,15	0,51	1,15	0,14
Зажимы ЭП №11	451,25	88,58	4151,21	112,36	0,48	1,09	0,13
Зажимы ЭП №12	223,38	85,17	1872,46	98,72	0,92	2,08	0,28
Зажимы ЭП №13	277,13	85,67	2409,96	100,71	0,76	1,72	0,22
Зажимы ЭП №14	330,88	86,17	2947,46	102,71	0,64	1,45	0,18
Зажимы ЭП №15	405,88	86,87	3697,46	105,49	0,53	1,20	0,15
Зажимы ЭП №16	465,88	87,43	4297,46	107,72	0,46	1,04	0,13
Зажимы ЭП №17	480,88	87,56	4447,46	108,28	0,45	1,02	0,12
Зажимы ЭП №18	203,38	84,99	1672,46	97,98	1,00	2,26	0,31
Зажимы ЭП №19	254,63	85,46	2184,96	99,88	0,82	1,86	0,24
Зажимы ЭП №20	241,77	85,89	2056,44	101,58	0,86	1,95	0,26
Зажимы ЭП №21	290,98	86,57	2548,47	104,28	0,72	1,63	0,21
Зажимы ЭП №22	321,44	86,98	2853,06	105,95	0,66	1,49	0,19
Зажимы ЭП №23	149,43	85,07	1132,96	98,28	1,28	2,90	0,45
Зажимы ЭП №24	168,70	85,44	1325,73	99,76	1,16	2,62	0,39
Зажимы ЭП №25	187,98	85,81	1518,50	101,24	1,06	2,40	0,34
Зажимы ЭП №26	348,38	86,66	3122,46	104,63	0,61	1,38	0,17
Зажимы ЭП №27	423,38	87,35	3872,46	107,42	0,51	1,15	0,14
Зажимы ЭП №28	198,38	85,27	1622,46	99,06	1,02	2,31	0,32
Зажимы ЭП №29	239,63	85,65	2034,96	100,60	0,86	1,95	0,26
Зажимы ЭП №30	269,63	85,93	2334,96	101,71	0,78	1,76	0,23
Зажимы ЭП №31	240,53	86,18	2043,96	102,70	0,86	1,95	0,26

Продолжение таблицы 7

Точка КЗ	Сопротивление схемы замещения, мОм				Ток КЗ, кА		
	трехфазное КЗ		однофазное КЗ		трехфазное КЗ		однофазное КЗ, действующее значение
	$r^{(3)}$	$x^{(3)}$	$r^{(1)}$	$x^{(1)}$	действующее значение	ударное значение	
Зажимы ЭП №32	278,80	86,70	2426,65	104,80	0,75	1,70	0,22
Зажимы ЭП №33	327,22	87,36	2910,87	107,45	0,65	1,47	0,18
Зажимы ЭП №34	222,38	82,70	1925,46	102,32	0,92	2,08	0,28
Зажимы ЭП №35	227,38	83,07	1975,46	103,78	0,91	2,06	0,27
Зажимы ЭП №36	370,13	77,26	3402,96	80,55	0,58	1,31	0,16
Зажимы ЭП №37	340,13	76,98	3102,96	79,44	0,63	1,43	0,17

Далее произведем выбор защитной и коммутационной аппаратуры.

Выводы по разделу: в разделе произведен расчет трехфазных и однофазных токов короткого замыкания в характерных точках схемы электроснабжения цеха, для проверки аппаратов защиты по условию правильности их выбора, на срабатывание.

## 6 Выбор защитной и коммутационной аппаратуры

В цеховых электросетях защиту шин распределительных устройств напряжением 0,4 кВ, питающих и распределительных кабельных линий, а также электроприемников от коротких замыканий обеспечиваем с использованием автоматических выключателей воздушного типа [21].

Эти устройства автоматически отключают электрический цепь в случае возникновения повышенного тока короткого замыкания, обеспечивая таким образом безопасность и надежность работы электрооборудования.

Предохранители выбираются по условиям:

$$\begin{aligned} I_{\text{НОМПАТ}} &\geq K_3 \cdot I_{\text{МІ}}, \\ I_{\text{НОМПВ}} &\geq \frac{I_{\text{ПИК}}}{K_{\text{П}}}, \end{aligned} \quad (33)$$

где  $K_3 = 1,2 \dots 1,5$ ;  $K_{\text{П}}$  — коэффициент пуска, учитывающий характер пуска.

Автоматические выключатели выбираются по условиям:

$$\begin{aligned} I_{\text{НОМАВ}} &\geq K_3 \cdot I_{\text{МІ}}, \\ I_{\text{НОМАВ.Р.}} &\geq K_3 \cdot I_{\text{МІ}}, \\ I_{\text{НОМАВЭМГ}} &\geq K_3 \cdot I_{\text{ПИК}}, \end{aligned} \quad (33)$$

где  $K_3 = 1,25 \dots 1,3$  — коэффициент запаса.

Для защитных аппаратов необходимо произвести проверку по коэффициенту чувствительности.

Для автоматических выключателей:

с номинальным током автоматов до 100 А:

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I_{\text{КЗМІН}}}{I_{\text{НОМАВЭМГ}}} \geq 1,4;$$

с номинальным током автоматов более 100 А:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кзmin}}}{I_{\text{НОМАВЭМГ}}} \geq 1,25.$$

Для предохранителей:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кзmin}}}{I_{\text{НОМПВ}}} \geq 3.$$

Когда дело касается подбора автоматического выключателя для ввода низкого напряжения, важно внимательно изучить и учесть ряд ключевых характеристик и параметров электросети. Эти параметры включают в себя:

- Номинальное напряжение системы: необходимо убедиться, что выключатель соответствует рабочему напряжению системы.
- Максимальный ток нагрузки: выключатель должен быть способен пропускать максимальный ток, который может потребоваться в сети.
- Ток короткого замыкания: выключатель должен обладать достаточной динамической и термической устойчивостью к токам короткого замыкания, встречающимся в сети.
- Селективность: это способность выключателя реагировать на перегрузки и короткие замыкания, избирательно отключая только зону с неполадкой.
- Характеристику время-токовой защиты: выбранный выключатель должен обеспечивать правильное время срабатывания для защиты электроустановки и предотвращения ненужных отключений.
- Тип нагрузки: учитываются индуктивные, резистивные или емкостные характеристики подключаемых устройств.
- Условия окружающей среды: влияние температуры, влажности и других факторов среды на характеристики выключателя.
- Координирование с другими защитными устройствами: конструкция системы защиты должна предусматривать правильное

взаимодействие между всеми устройствами [22].

Тщательный анализ упомянутых показателей гарантирует не только безопасность и надежность электроустановок, но и эффективность защиты, обеспечиваемой автоматическими выключателями.

Также необходимо рассмотреть следующие аспекты:

- Максимальный рабочий ток на стороне низкого напряжения. Этот параметр отображает наибольшую токовую нагрузку, которую может выдержать сеть без перегрузок и риска выхода из строя.
- Максимальный ток трансформатора. Эта характеристика определяется способностью трансформатора выдерживать определенный уровень тока длительное время не переходя в режим тепловой неустойчивости. Мощность трансформатора и его ток полной нагрузки обычно указываются в технических характеристиках устройства.
- Наибольший пиковый ток от релейной защиты (РП). В периоды коротких замыканий или других экстремальных условий в сети, система релейной защиты может испытывать кратковременные пиковые токи, значительно превышающие нормальный рабочий ток.

При проектировании системы защиты особое внимание уделяется подбору автоматического выключателя, который должен быть способен переносить кратковременные перепады тока, присущие нормальной работе электросети.

Чтобы гарантировать надежную работы без нежелательных отключений, автоматический выключатель выбирают с особым учетом его способности выдерживать повышенные токовые нагрузки.

Таким образом, автоматический выключатель должен соответствовать или превосходить максимальный предполагаемый рабочий ток системы низкого напряжения.

Кроме того, важно убедиться, что номинальный ток выключателя выше

максимально допустимого тока трансформатора, учитывая максимальные возможные пиковые токи. Такой подход обеспечивает, что выключатель способен справиться с условными перегрузками без отключения до тех пор, пока токи не вернуться к нормальным рабочим значениям в соответствии с параметрами системы защиты.

Также важно учесть класс автоматического выключателя по отключающей способности, которая должна быть достаточной для обеспечения защиты при максимально возможных кратковременных токах короткого замыкания.

$$I_{\text{номав}} \geq \frac{1,25 \cdot 1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 252,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{номавт.р.}} \geq \frac{1,25 \cdot 1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 252,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{номавт.р.}} \geq 1,25 \cdot \left( \frac{1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} + 333,512 \right) = 732,64 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА51-35.

Таблица 8 – Выбор автомата в ТП на отходящий фидер

$I_{\text{макс тр, А}}$	$K_3$	$I_{\text{кз}}^{(1)}, \text{ А}$	$I_{\text{пик}}, \text{ А}$	Тип автомата	$I_{\text{ном ав}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном ав т.р.}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном ав эмг}}, \text{ А}$
252,6	1,25	2820	732,64	ВА51-35	400	400	1000

Произведем проверку выбранного автоматического выключателя по условию чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{2820}{1000} = 2,82 \geq 1,25.$$

Следовательно, выбранный аппарат удовлетворяет условию

чувствительности.

Таблица 9 – Выбор аппаратов защиты

Участок, номер ЭП	Тип защитного аппарата	Ином	Ином расц, А	Ипв/отс, А	Кч
1	2	3	4	5	6
1	ВА57Ф35	25	25	100	4,5
2	ВА57Ф35	25	25	100	3,1
3	ВА57Ф35	16	16	80	3
4	ВА57Ф35	16	16	80	2,375
5	ВА57Ф35	16	16	80	2
6	ВА57Ф35	16	16	80	1,75
7	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	3,9
8	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	3,1
9	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	2,5
10	ВА57Ф35	16	16	80	1,875
11	ВА57Ф35	16	16	80	1,75
12	ВА57Ф35	20	20	80	4,125
13	ВА57Ф35	20	20	80	3,125
14	ВА57Ф35	16	16	80	2,5
15	ВА57Ф35	16	16	80	2
16	ВА57Ф35	16	16	80	1,625
17	ВА57Ф35	16	16	80	1,625
18	ВА57Ф35	25	25	100	3,7
19	ВА57Ф35	25	25	100	2,7
20	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	2,1
21	ВА57Ф35	16	16	80	2
22	ВА57Ф35	16	16	80	1,75
23	ВА57Ф35	40	40	125	4,64
24	ВА57Ф35	40	40	125	3,92
25	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	3,3
26	ВА57Ф35	16	16	80	2,375
27	ВА57Ф35	16	16	80	1,875
28	ВА57Ф35	16	16	80	4,875
29	ВА57Ф35	16	16	80	3,75
30	ВА57Ф35	16	16	80	3,25
31	ВА57Ф35	25	25	100	3
32	ВА57Ф35	25	25	100	2,5
33	ВА57Ф35	16	16	80	1,75
34	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	4,8
35	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	4,7
36	ВА57Ф35	16	16	80	3,5
37	ВА57Ф35	16	16	80	4,125

Далее рассмотрим релейную защиту и автоматику.

Выводы по разделу: в разделе произведен выбор и проверка автоматических выключателей для защиты от ненормальных и аварийных режимов работы электрической сети.

Выбраны автоматические выключатели типа ВА57Ф35 (воздушные автоматические выключатели). Данные выключатели имеют совмещают в себе тепловой расцепитель, который защищает от токовых перегрузок и электромагнитную отсечку, которая в свою очередь защищает от токов коротких замыканий. При выборе номиналов выключателей учтены пусковые токи электрических двигателей потребителей.

Произведена проверка по чувствительности выбранных защит к токам однофазных коротких замыканий, все защиты соответствуют требованиям чувствительности.

## 7 Релейная защита и автоматика

### 7.1 Токовая защита линии 10 кВ

Для защиты отходящих КВЛ применяется терминал Сириус 2-Л.

Рассчитаем в качестве примера одну отходящую КВЛ. Данные по КВЛ приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор аппаратов защиты

Длина КЛ, км	Марка, сечение КЛ	$K_I$	$I_{\max \text{ раб}}$
7,1	АПВБШВ - 3x50	50/5	9,24

Рассчитаем ток в конце КВЛ №01 за трансформатором 10/0,4 кВ:

Сопротивление КЛ:

$$Z_{\text{л}} = (r_{\text{уд}} + jx_{\text{уд}}) \cdot l = (0,62 + j0,09) \cdot 7,1 = 4,402 + j0.64$$

Сопротивление трансформатора 10/0,4 кВ 400 кВА:

$$Z_{\text{т}} = \frac{u_{\text{к}}\%}{100} \cdot \frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{10,5^2}{0,400} = 28,94 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{к max КЛ}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot (X_{\text{с1 max}} + Z_{\text{л}} + Z_{\text{т}})} =$$
$$= \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(4.402)^2 + (0.614 + 0.64 + 28,94)^2}} = 198 \text{ А}$$

$$I_{\text{сз01}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{к max КЛ}}^{(3)} = 1,15 \cdot 198 = 228 \text{ А}$$

Проверим чувствительность защиты на 20% протяженности КЛ №01:

$$I_{\text{кз min 20\%КЛ}}^{(2)} = \frac{U_{\text{ВН}}}{2 \cdot (X_{\Sigma}^{\text{MAX}} + 0,2 \cdot Z_{\text{л}})} = \frac{10,5}{2 \cdot \sqrt{(0,2 \cdot 4.402)^2 + (0,68 + 0,2 \cdot 0.64)^2}}$$
$$= 4393 \text{ А}$$

По условию чувствительности:

$$I_{к\ min\ 20\%КЛ}^{(2)} \geq I_{сз01}$$

Неравенство верное, следовательно защита удовлетворяет условию чувствительности.

$$I_{ср01} = \frac{I_{сз01} \cdot K_{сх}}{K_I} = \frac{228 \cdot 1}{50/5} = 22,8 \text{ А}$$
$$t_{сз} = 0 \text{ с}$$

2 ступень – МТЗ с выдержкой времени:

$$I_{сз01} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сзп} \cdot I_{ном}}{K_B} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 9,24}{0,9} = 11,81 \text{ А}$$
$$I_{ср01} = \frac{I_{сз01} \cdot K_{сх}}{K_I} = \frac{11,81 \cdot 1}{20/5} = 2,95 \text{ А}$$
$$K_{ч} = \frac{I_{кзmin}}{I_{сз01}} = \frac{830 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{11,81} = 60,86 > 1,5$$
$$t_{сз} = t_{сз\ пред} + \Delta t = 0 + 0,3 = 0,3 \text{ с}$$

Таким образом была рассмотрена токовая защита линии 10 кВ.

## 7.2 АВР 0,4 кВ

На рынке систем электрозащиты, предложения для напряжения 0,4 кВ не столь разнообразны по сравнению с решениями для более высоких напряжений, таких как 10 кВ.

В данном контексте важность приобретает использование устройств, повышающих надежность электроснабжения.

В области энергетических систем повышение надежности работы является приоритетной задачей, и здесь важную роль играют инновационные решения, такие как микропроцессорные устройства автоматического включения резерва (АВР).

Например, модель «Сириус 2-0,4 АВ» представляет собой высокотехнологичное оборудование, задача которого не ограничивается только контролем сигнализации и автоматическим управлением в экстренных ситуациях.

Данное устройство АВР способно оперативно реагировать на отключения в сетях 0,4 кВ, жизненно важных для функционирования комплектных трансформаторных подстанций, и, кроме того, оно выполняет функции релейной защиты.

Это значит, что «Сириус 2-0,4 АВ» не просто предотвращает длительное отсутствие энергоснабжения, переключая питание на резервные линии, но и обеспечивает защиту от перегрузок и коротких замыканий, что является необходимым условием для обеспечения безопасности и долгосрочной стабильности энергосистем.

Кроме того, «Сириус 2-0,4 АВ» может использоваться на объектах различного типа, от электростанций до производственных предприятий.

Микропроцессорное устройство АВР «Сириус 2-0,4 АВ» включает в себя несколько фундаментальных функциональных возможностей, благодаря которым оно выделяется на фоне традиционных систем автоматизации.

Речь идет о таких возможностях, как взаимодействие с элементами модификации «Сириус-2-0,4 ВВ». Взаимодействие с такими элементами позволяет интегрировать систему АВР (или автоматического включения резерва).

Такое взаимодействие позволяет более эффективно переключать на дополнительные (или резервные) источники питания. Также подобное взаимодействие позволяет впоследствии восстановить нормальный,

стандартный режим функционирования в том случае, если на секции 0,4 кВ происходят какие-либо неполадки.

Вторая особенность заключается в возможности нормальной работы в отсутствие секционных выключателей, что расширяет сферу применения данного устройства, так как оно способно обеспечить надежную работу даже при конфигурациях сети, не имеющих специальных аварийных вводов для каждого участка.

Наконец, стоит отметить и реализацию функции дистанционного резервирования. Данная возможность позволяет устранить все те риски, которые имеют такую-или иную связь с отказом распределительных защит и выключателей соединенных с шинами 0,4 кВ.

Устройство обладает особой функцией, которая позволяет избежать нежелательного срабатывания систем защиты во время включения и автоматического перезапуска электродвигателей. Эта функция не позволяет защитным механизмам реагировать на избыточные токи, которые обычно появляются при старте двигателей. В результате обеспечивается надежность и безотказность работы системы с электропитанием.

Даже в случае выхода из строя одного или двух основных источников питания, данное устройство способствует поддержанию высококачественного электроснабжения, ограждая производственное оборудование от неожиданных сбоев и остановок.

Такой комплексный подход к защите и управлению энергосистемой позволяет не только избегать продолжительных простоев, но и обеспечивает оперативное реагирование на аварийные изменения в сети, существенно повышая общую надежность электроснабжения.

Рассчитаем параметры срабатывания АВР. Отстройка от снижения напряжения при КЗ за элементами с сосредоточенными параметрами:  $U_{\text{ср1}} \leq \frac{U_{\text{ост}}}{K_{\text{отс}} \cdot K_U} = \frac{0,7 \cdot 400}{1,1 \cdot 100} = 2,5 \text{ В}$ . Отстройка от снижения напряжения при самозапуске

асинхронных двигателей:  $U_{ср2} \leq \frac{U_{ост}}{K_{отс} \cdot K_B \cdot K_U} = \frac{0,8 \cdot 400}{1,2 \cdot 1,25 \cdot 100} = 2,13 \text{ В}$ . В качестве напряжения срабатывания принимается наименьшее:  $U_{ср} = 2,13 \text{ В}$ .

Уставка АВР по времени срабатывания:  $t_{авр} \geq t_{ав} + \Delta t = 0,25 + 0,25 = 0,5 \text{ с}$ .

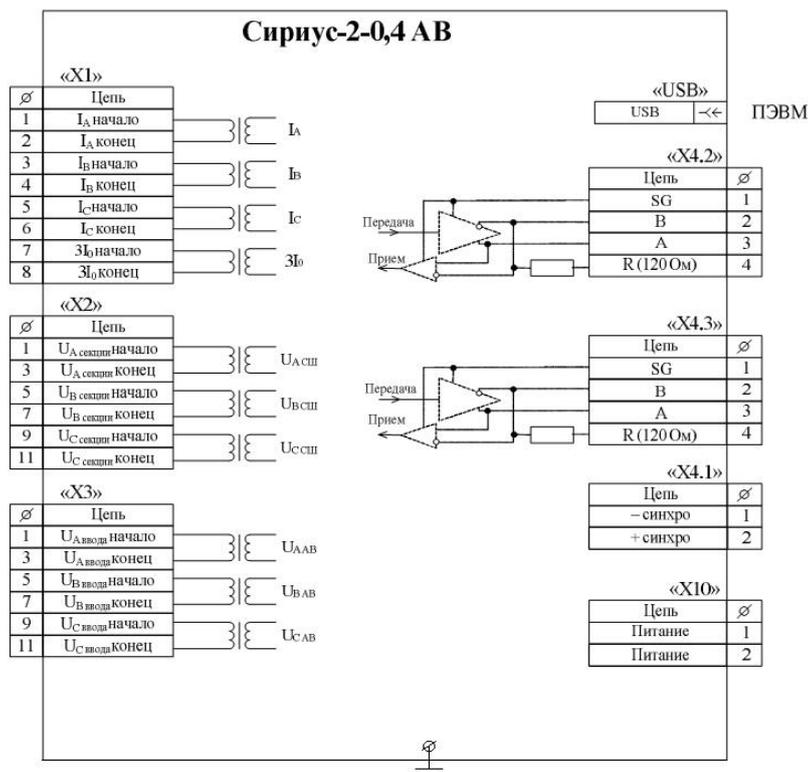


Рисунок 3 - Подключение внешних цепей устройства

Далее будут рассмотрены молниезащита и заземление.

Выводы по разделу: в разделе рассмотрены основные токовые релейные защиты и автоматика включения резерва, наличие которых значительно повышает надежность электроснабжения потребителей.

## 8 Молниезащита и заземление

### 8.1 Расчет заземления цеха

В соответствии с требованиями ПУЭ для электроустановок линейным напряжением 380 В, имеющей общий заземляющий контур сопротивление току растекания заземлителя должно быть  $r_{3М} = 4 \text{ Ом}$ .

С учетом искусственных заземлителей и различных естественных заземлителей суммарным сопротивлением  $R_e = 4,1 \text{ Ом}$ , искомое сопротивление заземляющего контура определяется:

$$R_{и} = \frac{R_e \cdot r_{3М}}{R_e - r_{3М}} = \frac{4,1 \cdot 4}{4,1 - 4} = 10 \text{ Ом}.$$

В качестве вертикального заземлителя применяется стальной электрод круглого сечения длиной  $l=2,5 \text{ м}$ , диаметром  $d=0,05 \text{ м}$  с заглублением в грунт  $t=0,7 \text{ м}$ . Расчетное сопротивление данного электрода для грунта типа суглинок  $\rho_0 = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  с учетом повышающего коэффициента  $k=1,4$  (для стержневых электродов для климатической зоны №2 [16]) составит:  $\rho = \rho_0 \cdot k = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Сопротивление растеканию одного вертикального электрода:

$$R_{овз} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right) = \frac{140}{2 \cdot \pi \cdot 2,5} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 0,7 + 2,5}{4 \cdot 0,7 - 2,5} \right) \right) = 53,8 \text{ Ом}.$$

Примерное число вертикальных заземлителей при коэффициенте использования:

$$K_{ивз} = 0,55; n = \frac{R_{овз}}{K_{ивз} \cdot R_{и}} = \frac{53,8}{0,55 \cdot 0,917} = 107.$$

В качестве горизонтального заземлителя применяется стальная полоса длиной  $l=456 \text{ м}$  (равная периметру контура), шириной  $d=0,04 \text{ м}$  с заглублением

в грунте  $t=0,7$  м. Расчетное сопротивление данного электрода для грунта типа суглинков  $\rho_0 = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  с учетом повышающего коэффициента  $k=2$  (для стержневых электродов для климатической зоны №2) составит:  $\rho = \rho_0 \cdot k = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Сопротивление растеканию одного вертикального электрода:

$$R_{\text{огз}}' = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} \right) = \frac{200}{2 \cdot \pi \cdot 456} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot 456^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 1,15 \text{ Ом}.$$

С учетом коэффициента использования  $K_{\text{игз}} = 0,24$ :

$$R_{\text{огз}} = \frac{R_{\text{огз}}' \cdot 1,15}{K_{\text{игз}} \cdot 0,24} = 4,79 \text{ Ом}.$$

Уточняем необходимое сопротивление вертикальных заземлителей:

$$R_{\text{вз}} = \frac{R_{\text{гз}} \cdot R_{\text{и}}}{R_{\text{гз}} - R_{\text{и}}} = \frac{4,79 \cdot 10}{10 - 4,79} = 1,134 \text{ Ом}.$$

Уточняем число вертикальных заземлителей при коэффициенте использования:

$$K_{\text{ивз}} = 0,6; n = \frac{R_{\text{овз}}}{K_{\text{ивз}} \cdot R_{\text{вз}}} = \frac{53,8}{0,6 \cdot 1,134} = 79.$$

Проверка горизонтальных заземлителей по условию термической стойкости (при времени отключения короткого замыкания на землю  $t_{\text{откл}} = 1,1$  с, токе короткого замыкания на землю  $I_{\text{кз}}^{(1)} = 3400$  А

$$S = \frac{I_{\text{кз}}^{(1)} \cdot \sqrt{t_{\text{откл}}}}{c} = \frac{3400 \cdot \sqrt{1,1}}{74} = 48,2 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, выбранные горизонтальные электроды удовлетворяют данному условию.

## 8.2 Расчет молниезащиты цеха

Среднегодовая продолжительность гроз в Самарской области:  $n_{\text{ч}} = 20-40$  ч/год. Среднегодовое число ударов молнии в  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности (удельная плотность ударов молнии в землю):  $n = 2 \text{ 1}/(\text{км}^2 / \text{год})$ . Количество поражений молнией объекта в год:

$$N = ((S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) - 7,7 \cdot h^2) \cdot n \cdot 10^{-6}$$

$$= ((2880 + 6 \cdot 6) \cdot (72 + 6 \cdot 6) - 7,7 \cdot 11^2) \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,49$$

На углах здания устанавливаем 6 стержневых молниеотводов высотой  $h=7$  м, зона защиты соседней пары которых рассчитывается как зона защиты двойного стержневого молниеотвода [15].

Пара молниеотводов 1-2 (расстояние между двумя молниеотводами  $L = 24$  м).

Выполняется условие  $h < L < 6h$ . Расчет зоны защиты производится на уровне земли и высоте 6 м.

$$h_0 = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 13 = 11,96\text{м},$$

$$r_0 = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 13 = 19,5\text{м},$$

$$r_x = 1,5 \cdot (h - h_x/0,92) = 1,5 \cdot (13 - 6/0,92) = 11,4\text{м},$$

$$h_c = h_0 - 0,14(L - h) = 11,96 - 0,14(24 - 13) = 10,42\text{м},$$

$$r_c = r_0 = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 13 = 19,5\text{м},$$

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x)/h_c = 19,5 \cdot (13 - 6)/10,42 = 13,1\text{м}.$$

Расчет для остальных пар молниеотводов при условии  $h < L < 6h$  аналогичен и далее не приводится. Результаты расчета сведены в таблицу.

Таблица 11 – Расчет зон защиты молниеотводов

Пара молниеотводов	L, м	$h_0$ , м	$r_0$ , м	$r_x$ , м	$h_c$ , м	$r_c$ , м	$r_{cx}$ , м
1-2	24	11,96	19,5	11,4	10,42	19,5	13,1
2-3	24	11,96	19,5	11,4	10,42	19,5	13,1
4-5	24	11,96	19,5	11,4	10,42	19,5	13,1
5-6	24	11,96	19,5	11,4	10,42	19,5	13,1

Выводы по разделу: в разделе рассчитаны системы молниезащиты и заземления проектируемого цеха, как наиболее важные системы обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала.

На этом расчеты закончены, подведем итоги.

## Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы была разработана и представлена система электроснабжения для ООО «Автоп», специализирующегося на производстве растительного масла из семян подсолнечника. Работа выполнена с целью создания надежной и эффективной системы электроснабжения, соответствующей высоким стандартам качества и надежности.

Предприятие, специализируется на производстве подсолнечного масла, представляет собой высокотехнологичное и экологически чистое производство, ориентированное как на местный, так и на экспортный рынки.

В процессе переработки семян подсолнечника используются современные методы экстракции, которые обеспечивают максимальное извлечение масла и минимальные потери сырья. Внедрение автоматизированных линий и систем управления процессами позволяет достигать высокой энергоэффективности и снижать себестоимость продукции.

Электроснабжение производственного цеха ООО «Автоп», где осуществляется переработка семян подсолнечника, обеспечивается через специализированные распределительные узлы.

В каждом таком узле установлены компоненты, обеспечивающие надежность и безопасность электропитания: это включает в себя вводные автоматические выключатели для защиты сети, счетчики для измерения потребления активной и реактивной энергии, а также устройства компенсации реактивной мощности модели АУКРМ 0,4-150 для оптимизации энергопотребления.

Кроме того, функционируют блоки управления электрооборудования, оснащенные автоматами и магнитными пускателями, что позволяет обеспечить контролями и регулицией работы машин и агрегатов.

Выбор напряжения для внутрицеховых электросетей является важной технико-экономической задачей, сопряженной с тщательным анализом спецификаций оборудования и требований к эффективности распределения энергии. Основываясь на предписаниях, изложенных в рекомендации [19], можно сделать ряд важных выводов относительно выбора напряжения:

- Установка напряжения 660 В целесообразна в случаях, когда основную нагрузку на сеть формируют электродвигатели мощностью более 10 кВт и дистанция распределительных и питающих линий достаточно велика, что может сопровождаться существенными потерями при передаче электроэнергии.
- Для систем освещения, использующих лампы накаливания или люминесцентные лампы, напряжение 660 В является неподходящим. Следовательно, в таких случаях целесообразнее предусмотреть применение стандартного напряжения в 380/220 В.
- Кроме того, важно учесть, что управляющие цепи для электродвигателей в проектируемых системах обычно работают на напряжении 220 В.

Из этого следует, что использование напряжения 660 В для данного цеха не представляется оптимальным. Таким образом, предпочтительнее выбрать вариант разработки сети с рабочим напряжением 380 В, что будет отвечать потребностям оборудования и требованиям безопасности.

При разработке проекта осветительной системы особое внимание уделяется энергоэффективности и способам ее повышения. Важным аспектами в этом контексте является выбор экономичных источников света. Современные линейные люминесцентные лампы являются примером эффективных источников света, предлагая высокую светоотдачу при заметном снижении потребления энергии. К тому же, они имеют значительно более длительный срок службы (в некоторых случаях до 20 раз дольше) по сравнению с традиционными лампами накаливания.

Важным аспектом оптимизации освещения на предприятии является контроль уровня освещенности. Для более гибкого управления освещением можно использовать систему, предусматривающую группировку световых источников. Это дает возможность включать освещение выборочно в зависимости от потребности. Например, можно организовать освещение таким образом, чтобы светильники включались по рядам либо чередовались в определенном порядке, напоминая расстановку фигур на шахматной доске. Такой подход позволяет достигать необходимой освещенности в рабочих зонах, не излишне расходуя электроэнергию.

В процессе разработки системы освещения акцентируется внимание на оптимальном размещении источников света (ИС) для достижения требуемого уровня освещенности, сохраняя при этом энергетическую эффективность установки.

Точечные источники света (точечные ИС), такие как светодиодные или галогенные светильники, обычно устанавливаются в соответствии с определенными геометрическими конфигурациями, часто в виде квадратов или прямоугольников, где каждый светильник располагается на вершинах этих многогранников. Трубчатые источники света, например, люминесцентные лампы, размещаются вдоль светящихся линий, которые ориентируются вдоль длинных сторон помещения для создания непрерывной линии освещения. Критерием для определения того, что набор трубчатых ИС формирует светящуюся линию, служит расстояние между окончаниями соседних светильников: если оно не превышает половину высоты подвеса светильника ( $0,5h$ ), то такие ИС представляют единую светящуюся линию. В рамках данной дипломной работы выбор пал на установку фабрично-изготовленной комплектной трансформаторной подстанции (КТП) для цеха, что обуславливается ее более высоким уровнем готовности и производственной завершенности по сравнению с сборными аналогами. В рассматриваемой ситуации предпочтение будет отдано, первую очередь,

подстанциям изготовления самарского предприятия «Электрощит» серии КТПШ, конструктивно выполненным в виде блочно-модульных зданий.

Такой выбор гарантирует более оперативную установку и запуск подстанции, а также уменьшает трудозатраты на ее монтаж. КТП комплектуется трансформаторами тока, подбор которых осуществляется в соответствии с допустимыми продолжительными токами подключаемых устройств. Расчет максимально-допустимого тока вводного присоединения ведется на основе совокупной нагрузки электрооборудования второго уровня и нагрузки от систем освещения цеха.

В цехе предусмотрены основные системы электрической сети: технологическое оборудование, осветительные приборы и розетки для подсоединения различных устройств. В качестве проводников энергии используется кабель типа АВВГ с напряжением 0,66 кВ, расположенный на открытых лотках.

Компоненты электромонтажа отбираются в соответствии с требованиями безопасности, с учетом уровня влажности и опасности возгорания в помещениях: каждое изделие соответствует своей категории защиты. Питающие и контрольные кабели укладываются в металлические лотки модели НЛ-20 П1 87У3. Кабельные пучки, размещенные на лотках, фиксируются с применением бандажей – на горизонтальных участках с интервалом не более 4,5 метров, на вертикальных – не более 1 метра. Особое внимание необходимо обратить на крепление в местах изгибов кабельной трассы, где допустимое расстояние между креплениями составляет не более 0,5 метра от самого поворота.

Лотки монтируются на кирпичные или бетонные поверхности с использованием дюбелей и распорных гаек (модель К436) или капроновых дюбелей (модель У658) со швеллерными хомутами.

В процессе выполнения работы был решен ряд инженерных задач, которые включали в себя:

- Анализ существующих и планируемых электрических нагрузок для определения текущих и будущих потребностей предприятия.
- Выбор оптимальной конфигурации электросети с напряжением 0,38 кВ, обеспечивающей наилучшее соотношение эффективности и затрат.
- Подбор сечений кабельно-проводниковой продукции, гарантирующей достаточную пропускную способность и соответствие стандартам качества электроэнергии.
- Расчет потерь напряжения в сети для обеспечения его стабильности на всем протяжении.
- Определение длительных нагрузок, с которыми будет сталкиваться система.
- Проверка настроек токовой защиты автоматических выключателей в контексте однофазных и коротких замыканий.
- Определение и подбор необходимого светотехнического оборудования и электротехнической арматуры.
- Подбор и расчет устройств релейной защиты и автоматизации для отвечаия нормам безопасности.
- Разработка систем защитного заземления и молниезащиты для предотвращения поражения электрическим током и повреждений от молний.

Проект системы электроснабжения был успешно завершен и полностью соответствует действующим нормативно-техническим документам (НТД), обеспечивая тем самым необходимые условия для функционирования предприятия с учетом всех требований по безопасности и эффективности электроснабжения.

## Список используемой литературы

1. Белый В. Б., Куницын Р. А. Оценка способов снижения потерь напряжения в системах сельского электроснабжения //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – №. 4 (222). – С. 107-113.
2. Бирюлин В. И., Куделина Д. В. Разработка модели для анализа способов снижения несимметрии напряжений в системах электроснабжения //Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. – 2022. – Т. 24. – №. 2. – С. 72-85.
3. Виноградов А. В., Сейфуллин А. Ю. Анализ концепций построения систем электроснабжения сельских потребителей, содержащих несколько источников электрической энергии //Вестник НГИЭИ. – 2020. – №. 2 (105). – С. 32-44.
4. СП 256.1325800.2016 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа.- Новосибирск: Сиб.унив.изд-во, 2016. - 84 с.
5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. – М.: Стандартинформ, 2014. - 20 с.
6. ГОСТ 14209-97. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые перегрузки.- Новосибирск: Сиб.унив.изд-во, 2017. - 76 с.
7. Демиденко А. С., Шведов Г. В. Суточные графики электрических нагрузок многоквартирных домов в системах электроснабжения городов //энергосбережение теория и практика. – 2020. – С. 123-127.
8. Демидов К. А., Шведов Г. В. Оценка целесообразности применения систем накопления электроэнергии для бытовых потребителей в системах электроснабжения городов //Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – №. 5. – С. 54-59.

9. Дьяков А. Ф. Обеспечение надёжного и безопасного электроснабжения потребителей Московского региона в условиях реформирования электроэнергетики //Энергетик. – 2021. – №. 11. – С. 24-29.
10. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. / Э.А. Киреева. - М.: Кнорус, 2018. - 368 с.
11. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2018. - 480 с.
12. Липа О. А. и др. Анализ причин отказов в распределительных сетях Московского региона в контексте повышения надёжности электроснабжения потребителей //Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2021. – №. 37. – С. 65-69.
13. Львов М. Ю., Камнев Д. Ю. Применение класса напряжения 20 кВ в системах электроснабжения современных мегаполисов //Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2020. – №. 5. – С. 83-88.
14. Лыкин А. В. Проектирование электрических сетей: Учебное пособие. НГТУ, 2021 – 88 с.
15. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. - М.: НЦ ЭНАС, 2022. - 184 с.
16. Правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации. - М.: НЦ ЭНАС, 2017. - 40 с.
17. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. -М.: Омега-Л, 2024. - 256 с.
18. Правила устройства электроустановок, действующие 6-е, 7-е изд. - М.: НЦ ЭНАС, 2016. - 512 с.
19. СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. - М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2009. - 96 с.

20. Полити В. В. Концептуальные направления инновационной модернизации и строительства энергосистем мегаполисов // Журнал прикладных исследований. – 2022. – Т. 1. – №. 1. – С. 31-38.

21. Постановление Правительства РФ №861 в ред. от 29.11.2023.

22. Солёная О. Я., Солёный С. В. Электрические системы и сети. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022 – 79 с.

23. Соловьева А. С., Шведов Г. В. Сравнительный анализ зимних и летних графиков электрической нагрузки рабочих и выходных дней многоквартирных домов с электроплитами в системах электроснабжения крупных городов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2023. – Т. 23. – №. 1. – С. 27-37.

24. Сунчугашева И. А. Электроснабжение административного здания, г. Москва, Ленинградский проспект, 80, корпус 66 : дис. – Сибирский федеральный университет; Хакасский технический институт—филиал СФУ, 2021.

25. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. - М.: НЦ ЭНАС, 2014. - 355 с.