

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 монтажного цеха ООО «УПЦ Самаргосэнергонадзора»

Обучающийся

С.М. Борисов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

При выполнении выпускной квалификационной работы (ВКР) исследованы вопросы оптимизации системы электроснабжения монтажного цеха ООО «УПЦ Самарагосэнергонадзора». Цель работы заключается в повышении эффективности и надежности электроснабжения, а также снижении затрат на электроэнергию при соблюдении всех норм и требований безопасности.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: анализ существующей системы электроснабжения цеха, выявление существенных проблем и недостатков, разработка предложений по модернизации системы, включая выбор оборудования со всеми требуемыми необходимыми расчетами.

Результаты работы показывают, что предложенные меры позволяют значительно улучшить надежность системы электроснабжения монтажного цеха, снизить потери электроэнергии и эксплуатационные затраты. Реализация разработанных предложений способствует повышению экономической эффективности деятельности предприятия и обеспечивает соблюдение требований по энергосбережению и экологической безопасности.

Выпускная квалификационная работа включает в себя теоретический анализ проблемы, описание методологии исследования, анализ полученных данных, разработку практических рекомендаций и оценку их эффективности. Работа содержит графические материалы, таблицы и расчеты, подтверждающие предложенные решения.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 55 стр., дополняемой 17 таблицами, 9 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ основных параметров системы электроснабжения.....	5
1.1 Описание цеховой системы электроснабжения.....	5
1.2 Формулировка основных целей и задач работы .....	10
2 Реализация мероприятий по разработке системы электроснабжения цеха .	12
2.1 Расчет электрических нагрузок цеха.....	12
2.2 Оценка силовых трансформаторов на подстанции цеха на предмет допустимой перегрузки .....	19
2.3 Выбор проводников по нагреву длительно допустимым током.....	20
2.4 Расчет токов короткого замыкания .....	24
2.5 Выбор и проверка оборудования для систем электроснабжения цеха..	29
2.6 Расчет заземляющего устройства .....	37
2.7 Расчет компенсирующего устройства .....	42
3 Разработка системы освещения цеха .....	44
3.1 Выбор типа светильников и высота подвеса.....	44
3.2 Размещение светильников в помещениях цеха .....	45
3.3 Светотехнический расчет освещения цеха.....	48
Заключение .....	53
Список используемой литературы и используемых источников.....	54

## Введение

В современных условиях экономики и промышленного производства вопросы повышения эффективности использования электроэнергии приобретают особую актуальность. Оптимизация систем электроснабжения на предприятиях позволяет не только снизить затраты на электроэнергию, но и повысить надежность работы оборудования, а также способствует повышению экологической безопасности и устойчивости производственных процессов.

Целью, данной выпускной квалификационной работы является разработка предложений по оптимизации системы электроснабжения монтажного цеха ООО «УПЦ Самаргосэнергонадзора», направленных на улучшение эффективности и надежности электроснабжения, а также на снижение эксплуатационных затрат.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- провести анализ существующей системы электроснабжения монтажного цеха;
- идентифицировать основные проблемы и недостатки существующей системы;
- разработать предложения по модернизации системы электроснабжения, включая выбор оптимального оборудования.

В ходе работы использованы методы технического и экономического анализа, моделирование систем электроснабжения, а также нормативно-правовая база в области электроэнергетики и энергосбережения.

Практическая значимость работы проявляется в возможности применения разработанных предложений на предприятии для повышения эффективности и надежности системы электроснабжения, что способствует снижению затрат и улучшению экологических показателей производства.

# **1 Анализ основных параметров системы электроснабжения**

## **1.1 Описание цеховой системы электроснабжения**

На территории «УПЦ Самараэнергонадзора» располагаются различные производственные и административные объекты. Рассматриваемый монтажный цех относится к производственному объекту. В данном цехе выполняется широкий спектр работ: приемка и проверка материалов и комплектующих, механическая обработка деталей, сварочные работы, сборочные работы, покрасочные и антикоррозийные работы, техническое обслуживание и ремонт оборудования. Данный цех является наиболее энергоемким объектом, расположенным на территории предприятия.

Основным источником электроснабжения предприятия «УПЦ Самараэнергонадзора» является КТП-22 10/0,4 кВ, расположенная непосредственно в монтажном цеху, и получающая питание от существующей подстанции ПС-35/10 кВ «Зайцевская». Питание КТП-22 осуществляется двумя независимыми ЛЭП 10 кВ, длина линии составляет 4 км, сечение — 35 мм<sup>2</sup>.

КТП 22 представляет собой двухтрансформаторную комплектную подстанцию внутренней установки с воздушным вводом и с резервированием со стороны 10 и 0,4 кВ.

Питание подстанции монтажного цеха выполнено воздушными линиями марки АС-35/6,2 по радиальной схеме и не предусматривает никаких ответвлений к другим потребителям.

Ввод 10 кВ КТП-22 выполнен в виде закрытого распределительного устройства. В эксплуатацию РУ-10 кВ было введено в 1988 году.

Главным устройством РУ-10 кВ, питающей КТП-22 монтажного цеха, являются ячейки КСО-366, которые уже давно выработали свой эксплуатационный ресурс.

На рисунке 1 показан внешний вид ячейки КСО, установленной на стороне 10 кВ КТП-22.



Рисунок 1 - Внешний вид ячейки КСО, установленной на стороне 10 кВ КТП-22

Данные ячейки оборудованы разъединителями РВ-10 и высоковольтными выключателями ВМП-10, которые были установлены в 1988 году еще во время ввода в эксплуатацию ячеек.

Эти устройства подверглись моральному и физическому износу, как и сами ячейки РУ-10 кВ. Следовательно, в работе предлагается заменить данное

оборудование на новое с выполнением всех необходимых технических расчетов.

Следующее устройство на КТП-10/0,4 монтажного цеха являются силовые трансформаторы, преобразующие напряжение с 10 кВ на 0,4 кВ, от которого получают питание объекты «УПЦ Самараэнергонадзора» и ВРУ монтажного цеха.

В действующей схеме КТП-10/0,4 кВ монтажного цеха размещены два силовых трансформатора марки ТМГ-400/10. Схема КТП изображена на рисунки 2.

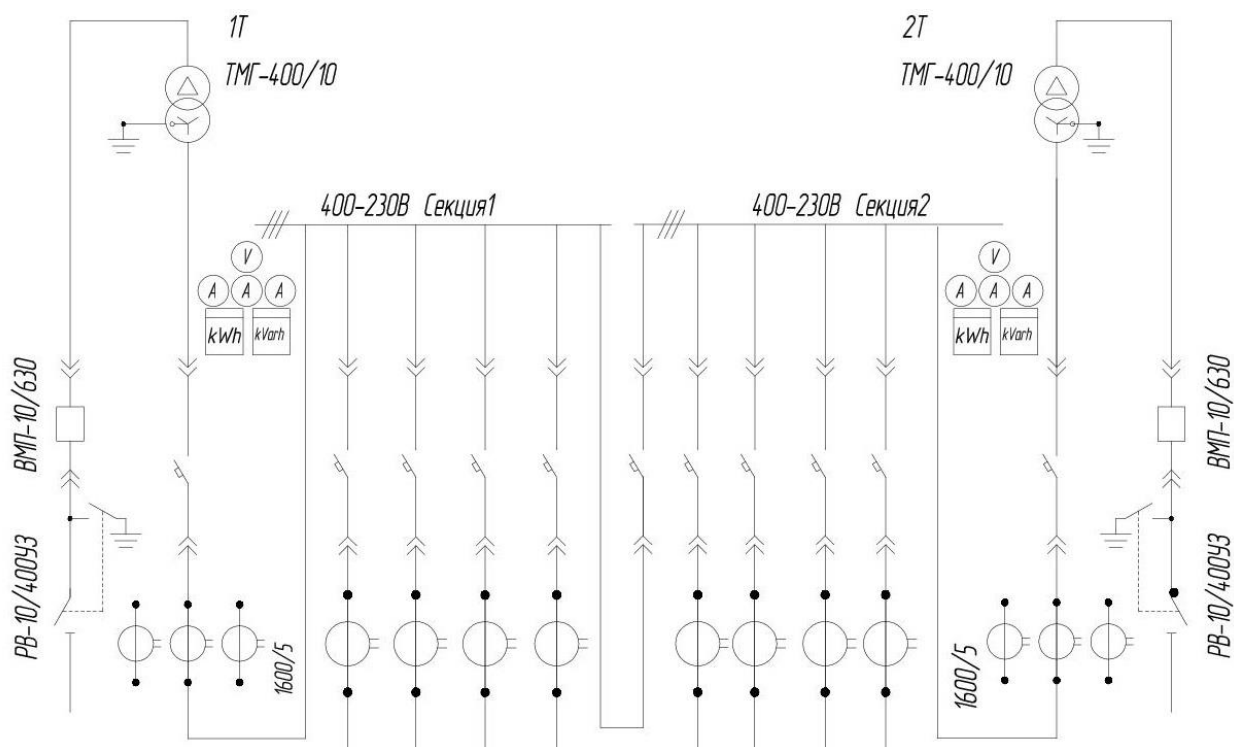


Рисунок 2 – Действующая схема КТП

Силовые трансформаторы ТМГ 400/10 были установлены в цеху в 2015 году. Как известно из нормативно-технической литературы, полный срок службы силовых трансформаторов составляет 25 лет.

Далее в работе трансформаторы будут проверяться на условия аварийной перегрузки, и окончательно будет принято решение о возможности их дальнейшей эксплуатации.

Схема электроснабжения РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ выполнена с одной рабочей сборной шиной с секционированием автоматическим выключателем [18].

Наличие резервирования на стороне 0,4 кВ обеспечивает условия I и II категории надежности потребителей не только монтажного цеха, но и всего предприятия в целом.

В 2020 году на стороне 0,4 кВ подстанции монтажного цеха была выполнена полная модернизация. Все установленное оборудование в данный момент является современным, надежным и не требует замены.

Следующее устройство в системе электроснабжения монтажного цеха является вводное распределительное устройство (ВРУ).

Все технологическое оборудование выполнено на напряжении 0,4 кВ. Для обеспечения электроэнергии монтажного цеха на напряжении 0,4 кВ проложены две кабельные линии к ВРУ от РУ-0,4 кВ подстанции, расположенному рядом с помещением трансформаторной подстанции. От ВРУ-0,4 кВ получают питание распределительные щиты (РЩ), распределительные шинопроводы (ШРА) и щиты освещения (ЩО).

Подробная схема существующей системы электроснабжения представлена в графической части работы на слайде 2.

Все распределительные щиты и щиты освещения соединяются алюминиевыми кабелями АВВГ с ВРУ 0,4 кВ, а потребители цеха соединены с распределительными щитами алюминиевыми проводами марки АПВ, проложенными в металлических трубах.

Далее в работе будет предложено мероприятие по замене всех алюминиевых проводников на медные, чтобы повысить надежность электроснабжения цеха и обеспечить соответствие современным требованиям технической литературы.

Также следует отметить моральный и физический износ всего освещения в цеху. Для освещения помещений цеха используются



люминесцентные лампы. В ходе дальнейшей работы предполагается произвести замену всех светильников на современные светодиодные.

В ходе модернизации была также осуществлена замена основной части технологического оборудования цеха. В рамках данной работы замена или внедрение нового производственного оборудования не планируется.

Перечень технологического оборудования, установленного в цеху, и его технические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики исходного технологического оборудования

Тип установленного оборудования	Кол-во	Руст, кВт	Категория
Токарные станки для обработки деталей вращением	7	17	II
Кран-балка	1	2,2	II
Шлифовальные станки	1	4,5	II
Станки для лазерной, плазменной и газовой резки металла	4	8,8	II
Моечная машина	3	4,5	II
Резьбонакатной станок	1	9,8	II
Станки для гибки и резки арматуры, трубогибы	1	14	II
Многорезцовый полуавтомат	1	17	II
Оборудование для пескоструйной обработки	1	7,6	II
Накатной станок	3	10	II
Алмазно-расточной станок	1	6,2	II
Агрегатно-сверлильный станок	3	17	II
Зубострогальный станок	1	11,6	II
Пресс	2	10	II
Ультразвуковое оборудование для неразрушающего контроля сварных швов	4	7	II
Аппараты для аргодуговой сварки (TIG)	1	4,6	II
Агрегатно-расточной станок	7	30	II
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	3	24,8	II
Автоматный станок	2	12,4	II
Волоочильный стан	1	34,6	II
Камерная печь	1	26	II
Компрессоры	2	12,4	I
Сварочный трансформатор	5	22	II
Вентиляторы	2	2,2	I
Итого:	58	883,2	-

Основываясь на данных, представленных в таблице 1, будет произведён расчёт электрических нагрузок цеха. Данный расчет является неотъемлемым элементом при проектировании сетей электроснабжения. Значение, полученное в результате расчета, будет учитываться при проверке силовых трансформаторов, выборе питающих линий, защитных устройств и т.д.

Расположение технологического оборудования представлено в графической части работы на слайде 1.

## **1.2 Формулировка основных целей и задач работы**

Исходя из представленной информации, раздела «Описание системы электроснабжения цеха» можно сказать, что основной целью, данной выпускной квалификационной работы является разработка комплексного проекта системы электроснабжения монтажного цеха ООО «УПЦ Самараэнергонадзор» в целях повышения надежности, эффективности и безопасности технологического процесса, а также снижения эксплуатационных затрат.

Задачи работы, следующие:

- реконструкция РУ-10 кВ с заменой ячеек КСО-366 (разработать техническое решение по замене устаревших ячеек на современные аналоги с улучшенными характеристиками надежности и безопасности эксплуатации);
- оценка условий эксплуатации и возможной аварийной перегрузки силовых трансформаторов ТМГ 400/10 (провести технический анализ для определения возможности дальнейшей эксплуатации трансформаторов или необходимости их замены);
- модернизация системы освещения монтажного цеха (разработать проект замены существующих люминесцентных ламп на светодиодные светильники для повышения эффективности освещения и сокращения энергопотребления);

- замена алюминиевых проводников на медные (сформулировать рекомендации по замене проводников для повышения надежности и безопасности электроснабжения);
- обеспечить соответствие всех предлагаемых изменений действующим нормам и стандартам в области безопасности, энергоэффективности и охраны окружающей среды.

Решение поставленных основных задач, с внедрением полученных и обоснованных предложений, осуществляется в работе далее.

Выводы по разделу 1.

В ходе детального исследования основных параметров системы электроснабжения монтажного цеха были сформулированы следующие ключевые выводы:

- установлено, что ячейки КСО-366, разъединители РВ-10 и высоковольтные выключатели ВМП-10, установленные в 1988 году, значительно выработали свой ресурс и подверглись моральному и физическому износу. Это угрожает надежности всей системы электроснабжения и требует немедленной замены на современные аналоги;
- силовые трансформаторы ТМГ 400/10, установленные в 2015 году, еще могут эксплуатироваться в течение оставшегося срока службы, но требуют дополнительной проверки на предмет возможных аварийных перегрузок и общего технического состояния;
- выявлено, что система освещения, использующая люминесцентные лампы, устарела и не соответствует современным требованиям энергоэффективности и экологической безопасности. Ее замена на светодиодные светильники позволит значительно снизить потребление энергии и улучшить качество освещения в цехе.

## **2 Реализация мероприятий по разработке системы электроснабжения цеха**

### **2.1 Расчет электрических нагрузок цеха**

В данном разделе работы осуществляется тщательный анализ и расчет электрических нагрузок монтажного цеха ООО «УПЦ Самараэнергонадзора». Этот процесс является ключевым этапом в проектировании и модернизации системы электроснабжения, поскольку позволяет определить реальные потребности цеха в электроэнергии, обеспечить его надежное и бесперебойное электроснабжение, а также спроектировать систему с учетом возможных расширений или изменений в производственных процессах.

Расчет электрических нагрузок включает в себя определение суммарной мощности всех потребителей электроэнергии, а также анализ характера их потребления. Это важно для правильного выбора параметров электрооборудования, включая силовые трансформаторы, линии электропередачи, защитное оборудование и системы автоматики. Кроме того, расчет позволяет определить необходимость в резервировании источников питания, учитывая требования к надежности электроснабжения различных категорий потребителей.

Основываясь на данных о существующем оборудовании цеха и планируемом его развитии, будут применены нормативно-методические подходы и формулы для точного расчета электрических нагрузок. В расчетах учитываются как текущие, так и предполагаемые изменения в структуре и объеме производства, что позволит обеспечить оптимальное проектирование системы электроснабжения, способствующее повышению эффективности производственных процессов и снижению эксплуатационных затрат.

Исходные данные - паспортная мощность оборудования, а также значения коэффициентов использования и мощности - отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для определения электрических нагрузок

Наименование ЭП	n, шт	Номинальная установленная мощность, кВт		k <sub>и</sub>	cosφ
		одного ЭП, кВт	Общая, кВт		
РЦ					
Сварочный трансформатор	5	22	110	0,1	0,5
Вентиляторы	2	2,2	4,4	0,65	0,8
Итого по РЦ:	7		114,4		
ШРА 1					
Токарные станки для обработки деталей вращением	3	17	51	0,16	0,5
Станки для лазерной, плазменной и газовой резки металла	2	8,8	17,6	0,25	0,65
Агрегатно-сверлильный станок	2	17	34	0,25	0,65
Алмазно-расточной станок	1	6,2	6,2	0,25	0,65
Ультразвуковое оборудование для неразрушающего контроля сварных швов	1	7	7	0,65	0,8
Волоочильный стан	1	34,6	34,6	0,65	0,8
Зубострогальный станок	1	11,6	11,6	0,25	0,65
Камерная печь	1	26	26	0,65	0,8
Накатной станок	3	10	30	0,25	0,65
Резьбонакатной станок	1	9,8	9,8	0,14	0,5
Моечная машина	2	4,5	9	0,25	0,65
Агрегатно-расточной станок	3	30	90	0,16	0,5
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	1	24,8	24,8	0,65	0,8
Автоматный станок	2	12,4	24,8	0,65	0,8
Компрессоры	2	12,4	24,8	0,65	0,8
Итого по ШРА 1:	26		401,2		
ШРА 2					
Станки для лазерной, плазменной и газовой резки металла	2	8,8	17,6	0,25	0,65
Агрегатно-сверлильный станок	1	17	17	0,25	0,65
Моечная машина	1	4,5	4,5	0,25	0,65
Токарные станки для обработки деталей вращением	4	17	68	0,16	0,5
Ультразвуковое оборудование для неразрушающего контроля сварных швов	3	7	21	0,65	0,8

Продолжение таблицы 2

Наименование ЭП	n, шт	Номинальная установленная мощность, кВт		k <sub>и</sub>	cosφ
		одного ЭП, кВт	Общая, кВт		
Шлифовальные станки	1	4,5	4,5	0,16	0,5
Аппараты для аргодуговой сварки (TIG)	1	4,6	4,6	0,1	0,5
Пресс	2	10	20	0,25	0,65
Оборудование для пескоструйной обработки	1	7,6	7,6	0,65	0,8
Кран-балка	1	2,2	2,2	0,1	0,1
Станки для гибки и резки арматуры, трубогибы	1	14	14	0,14	0,5
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	2	24,8	49,6	0,65	0,8
Многорезцовый полуавтомат	1	17	17	0,16	0,65
Агрегатно-расточной станок	4	30	120	0,16	0,5
Итого по ШРА 2:	25		367,6		
Итого по цеху:	58				

Вычисления силовой нагрузки будет осуществляться по расчетному коэффициенту нагрузки [2].

Алгоритм расчета электрических нагрузок представлен далее.

Средневзвешенный коэффициент использования [2]:

$$K_{u,ср} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_u \cdot P_H)_i}{P_{\Sigma H}}, \quad (1)$$

где  $K_u$  – коэффициент использования потребителя [3];

$P_H$  – номинальная мощность потребителя, кВт;

$P_{\Sigma H}$  – суммарная номинальная мощность потребителей в группе, кВт.

Эффективное число электроприёмников определяется по следующему выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{[P_{\Sigma H}]^2}{\sum_{i=1}^n (n \cdot P_H^2)_i}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество одноименных потребителей, шт.

Активная, реактивная и полная расчетные мощности электроприёмников пункта рассчитываются согласно следующим формулам:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n (K_u \cdot P_H)_i, \quad (3)$$

$$Q_p = K'_p \cdot \sum_{i=1}^n (K_u \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi)_i, \quad (4)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (5)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчетной нагрузки активной мощности [5];

$K'_p$  - коэффициент расчетной нагрузки реактивной мощности [5].

Расчетный ток пункта:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (6)$$

где  $U_{\text{НОМ}}$  - номинальное напряжение электроприемников, В.

«Номинальная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по удельной плотности осветительной нагрузки и площади цеха:

$$P_{\text{н.о.}} = P_{\text{уд.о}} F, \quad (7)$$

где  $P_{\text{уд.о}}$  - удельная плотность осветительной нагрузки, кВт/м<sup>2</sup> [6],

$F$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>.

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{н.о.}} K_{\text{со}}, \quad (8)$$

$$Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot tg\varphi, \quad (9)$$

где  $K_{co}$  - коэффициент спроса для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов [13];

$tg\varphi$  - коэффициент мощности для люминесцентных и светодиодных ламп» [13].

Ниже представлен расчет освещения согласно формулам (7) – (9):

$$P_{н.о.} = 0,015 \cdot 1944 = 29,16 \text{ кВт},$$

$$P_{p.o.} = 29,16 \cdot 0,95 = 27,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o.} = 27,7 \cdot 0,33 = 9,14 \text{ квар}.$$

Результаты расчетов по всему цеху отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные по расчету мощности цеха

ЭП	$\Sigma P$ , кВт	$k_{и}$	$\cos$	$K_{и}P_{н}$	$K_{и}P_{нт} \cdot g\varphi$	$np^2$	$n_{э}$	$Kp$	$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВА	$I$ , А
РЦ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный трансформатор	110	0,1	0,5	11	19,05	2420	-	-	-	-	-	-
Вентиляторы	4,4	0,65	0,8	2,86	2,15	9,68	-	-	-	-	-	-
Итого по РЦ:	114,4	0,12	0,55	13,8	21,2	2429	5,39	1,28	17,74	23,32	29,3	42,29
ШРА 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Токарные станки для обработки деталей вращением	51	0,16	0,5	8,16	14,13	867	-	-	-	-	-	-
Станки для лазерной, плазменной и газовой резки металла	17,6	0,25	0,65	4,4	5,14	154,88	-	-	-	-	-	-
Агрегатно-сверлильный станок	34	0,25	0,65	8,5	9,94	578	-	-	-	-	-	-



Продолжение таблицы 3

ЭП	$\sum P$ , кВт	$k_{и}$	$\cos$	$K_{и}P_{н}$	$K_{и}P_{нт}$ гФ	$np^2$	$n_{э}$	$K_{р}$	$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВА	$I$ , А
Алмазно-расточной станок	6,2	0,25	0,65	1,55	1,81	38,44	-	-	-	-	-	-
Ультразвуковое оборудование для неразрушающего контроля сварных швов	7	0,65	0,8	4,55	3,41	49	-	-	-	-	-	-
Волоочильный стан	34,6	0,65	0,8	22,49	16,87	1197	-	-	-	-	-	-
Зубострогальный станок	11,6	0,25	0,65	2,9	3,39	134,5	-	-	-	-	-	-
Камерная печь	26	0,65	0,8	16,9	12,68	676	-	-	-	-	-	-
Накатной станок	30	0,25	0,65	7,5	8,77	300	-	-	-	-	-	-
Резьбонакатной станок	9,8	0,14	0,5	1,372	2,38	96,04	-	-	-	-	-	-
Моечная машина	9	0,25	0,65	2,25	2,63	40,5	-	-	-	-	-	-
Агрегатно-расточной станок	90	0,16	0,5	14,4	24,94	2700	-	-	-	-	-	-
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	24,8	0,65	0,8	16,12	12,09	615	-	-	-	-	-	-
Автоматный станок	24,8	0,65	0,8	16,12	12,09	307,5	-	-	-	-	-	-
Компрессоры	24,8	0,65	0,8	16,12	12,09	307,5	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА 1:	401,2	0,36	0,71	143,33 2	142,3 6	8061	19,9	1	143	142,3	202, 01	291, 58
ШРА 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Станки для лазерной, плазменной и газовой резки металла	17,6	0,25	0,65	4,4	5,14	154,8 8	-	-	-	-	-	-
Агрегатно-сверлильный станок	17	0,25	0,65	4,25	4,97	289	-	-	-	-	-	-
Моечная машина	4,5	0,25	0,65	1,125	1,32	20,25	-	-	-	-	-	-
Токарные станки для обработки деталей вращением	68	0,16	0,5	10,88	18,84	1156	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

ЭП	$\Sigma P$ , кВт	$k_{и}$	$\cos$	$K_{иP_{н}}$	$K_{иP_{нt}}$ гф	$np^2$	$n_{э}$	$K_p$	$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВА	$I$ , А
Ультразвуковое оборудование для неразрушающего контроля сварных швов	21	0,65	0,8	13,65	10,24	147	-	-	-	-	-	-
Шлифовальные станки	4,5	0,16	0,5	0,72	1,25	20,25	-	-	-	-	-	-
Аппараты для аргонодуговой сварки (TIG)	4,6	0,1	0,5	0,46	0,8	21,16	-	-	-	-	-	-
Пресс	20	0,25	0,65	5	5,85	200						
Оборудование для пескоструйной обработки	7,6	0,65	0,8	4,94	3,71	57,76	-	-	-	-	-	-
Кран-балка	2,2	0,1	0,1	0,22	2,19	4,84	-	-	-	-	-	-
Станки для гибки и резки арматуры, трубогибы	14	0,14	0,5	1,96	3,39	196	-	-	-	-	-	-
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	49,6	0,65	0,8	32,24	24,18	1230,08	-	-	-	-	-	-
Многорезцовый полуавтомат	17	0,16	0,65	2,72	3,18	289	-	-	-	-	-	-
Агрегатно-расточной станок	120	0,16	0,5	19,2	33,26	3600	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА 2:	367,6	0,28	0,65	101,76 5	118,3 2	7386, 22	18,2 9	1	101, 77	118,3 2	156, 07	225, 27
Итого силовая нагрузка:	883,2	0,29	0,68	258,95 7	281,8 8	1787 7,56	43,6 3	0,75	194, 22	281,8 8	342, 31	494, 08
Освещение:	-	-	-	-	-	-	-	-	27,7	9,14	29,1 7	42,1
Итого нагрузка на ВРУ:	-	-	-	-	-	-	-	-	221, 92	291,0 2	365, 98	528, 25

На основании полученных расчетных нагрузок далее в работе будут проверены силовые трансформаторы, выбрано коммутационное и защитное оборудование, питающие и распределительные линии, вводные распределительные устройства, щиты освещения, шинопроводы и т.д.

## 2.2 Оценка силовых трансформаторов на подстанции цеха на предмет допустимой перегрузки

Как упоминалось ранее, на предприятии установлены два силовых трансформатора марки ТМГ 400/10, которые были введены в эксплуатацию в 2015 году и ещё не выработали свой эксплуатационный ресурс.

Необходимая номинальная мощность трансформатора будет определена с учётом сторонней нагрузки, получающей питание от данной подстанции, согласно следующему выражению:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p + P_{\text{ст}}}{N \cdot \beta_T}, \quad (10)$$

где  $S_{\text{ном.т}}$  – «номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, кВА;

$S_{\text{ном.т.р}}$  - расчетная мощность трансформатора, кВА;

$P_p$  – суммарная активная нагрузка потребителей монтажного цеха, кВт;

$P_{\text{ст}}$  - суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от данной подстанции, кВт» [21].

Согласно выражению (10):

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{221,92 + 285,9}{2 \cdot 0,7} = 362,73 \text{ кВА.}$$

По результатам расчета, для установки в монтажном цеху КТП-10/0,4 кВ, в рамках работы предлагается не менять установленные в настоящее время на питающей КТП-22 силовые трансформаторы ТМГ-400/10.

Проверка трансформаторов в нормальном и аварийном режиме выполняется согласно следующим выражениям:

$$K_{з.норм} = \frac{P_p + P_{ст}}{N \cdot S_{ном.т.р}} \leq 0,7, \quad (11)$$

$$K_{з.норм} = \frac{221,92 + 285,9}{2 \cdot 400} = 0,63 \leq 0,7,$$

$$K_{з.ав} = \frac{P_p + P_{ст}}{(N - 1) \cdot S_{ном.т.р}} \leq 0,7, \quad (12)$$

$$K_{з.ав} = \frac{221,92 + 285,9}{(2 - 1) \cdot 400} 1,27 \leq 1,4.$$

Все условия соблюдены, поэтому принято окончательное решение не осуществлять замену действующих силовых трансформаторов.

### **2.3 Выбор проводников по нагреву длительно допустимым током**

В контексте необходимости модернизации системы электроснабжения монтажного цеха ООО «УПЦ Самараэнергонадзора», важным аспектом является обеспечение безопасности и надежности электрических сетей. Замена линии от РУ-0,4 кВ подстанции до ВРУ, линий, питающих распределительные щиты и шинопроводы, а также самих шинопроводов, ставит задачу грамотного выбора новых проводников. Основным критерием выбора является способность проводников выдерживать длительно допустимые токи без чрезмерного нагрева, что может привести к деградации материала и снижению безопасности всей системы.

Рассмотрение вопроса выбора проводников по нагреву длительно допустимым током позволит не только обеспечить соответствие современным требованиям безопасности и эффективности, но и предусмотреть возможности для будущего развития и расширения производственных мощностей цеха без необходимости повторной модернизации электросетей. Такой подход способствует созданию устойчивой и адаптивной инфраструктуры, способной выдерживать возрастающие нагрузки и обеспечивать надежное электроснабжение всех участков производства.

В этом разделе будут рассмотрены методология и критерии выбора проводников, основанные на анализе их способности к длительной работе при определенных токовых нагрузках без риска перегрева. Анализ будет включать расчеты допустимой нагрузки для различных типов проводников, с учетом их материала, сечения, а также условий эксплуатации. Особое внимание будет уделено сравнению алюминиевых и медных проводников, их преимуществам и недостаткам в контексте конкретных условий использования в системе электроснабжения монтажного цеха.

Таким образом, данный раздел играет ключевую роль в обеспечении долгосрочной надежности и безопасности электрических сетей цеха, лежащих в основе его производственной деятельности.

Выбор линии для секции КТП-ВРУ.

На начальном этапе рассчитывается максимальный ток в линии [7]:

$$I_{pВРУ} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}, \quad (13)$$
$$I_{pВРУ} = \frac{365,98}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 528,25 \text{ A.}$$

где  $S_p$  – максимальная нагрузка на ВРУ, кВА.

В связи с достаточно высокими токами на вводном распределительном устройстве в работе предлагается использовать в качестве соединительного проводника между КТП и ВРУ шинопровод [9].

Предварительно выбирается шинопровод ШРА – 4 на 630 А [8].

Проводник сборных шин проверяется на нагрев длительно допустимым током при следующем условии:

$$I_{н.шра} \geq I_{pВРУ}, \quad (14)$$
$$630 \text{ A} \geq 528,25 \text{ A.}$$

где  $I_{н.шра}$  – номинальный ток шинопровода.

Условие выполняется, значит, шина выбрана правильно.

Внешний вид прямой секции ШРА-4 изображён на рисунке 3.

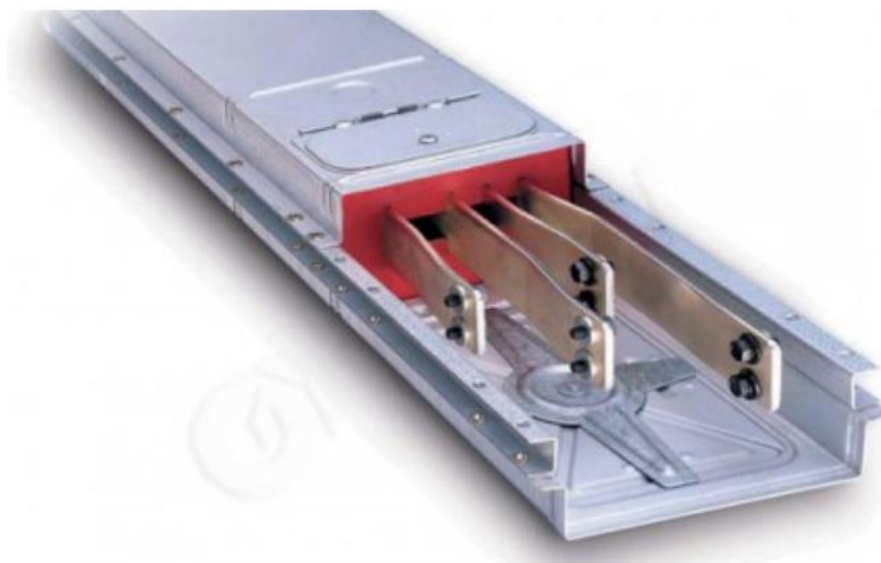


Рисунок 3 – Прямая секция ШРА-4

Для цеховых распределительных шинопроводов все расчеты выполняются аналогично, итоги расчетов отражены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика выбранных шинопроводов

Обозначение на плане	Расчетный ток группы, А	Марка шинопровода	Номинальный ток ШРА, А
ШРА 1	291,58	ШРА 4 400	400
ШРА 2	225,27	ШРА 4 250	250

В качестве проводников, питающих непосредственно технологическое оборудование (различные станки, компрессоры и т. д.), в работе предлагается применить кабели марки ВВГ; способ прокладки - в трубах.

Расчетный ток технологического оборудования определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{эп}} = \frac{P_{\text{уст}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi}, \quad (15)$$

где  $P_{\text{уст}}$  – «установленная мощность оборудования [2], кВт;

$U_n$  - номинальное напряжение сети [2], кВ;

$\cos\varphi$  - номинальный коэффициент мощности ЭП» [2].

Выбор проводников технологического оборудования представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор проводников технологического оборудования

Наименование оборудования	$I_p$ , А	$I_{доп}$ , А	Марка кабеля	Способ прокладки
<b>РЩ</b>				
Сварочный трансформатор	63,51	75	ВВГ (4×16)	в трубе
Вентиляторы	3,97	19	ВВГ(4×1,5)	в трубе
<b>ШРА 1</b>				
Токарные станки для обработки деталей вращением	49,07	55	ВВГ (4×10)	в трубе
Станки для лазерной, плазменной и газовой резки металла	19,54	25	ВВГ(4×2,5)	в трубе
Агрегатно-сверлильный станок	37,75	42	ВВГ (4×6)	в трубе
Алмазно-расточной станок	13,77	19	ВВГ(4×1,5)	в трубе
Ультразвуковое оборудование для неразрушающего контроля сварных швов	12,63	19	ВВГ(4×1,5)	в трубе
Волоочильный стан	62,43	75	ВВГ (4×16)	в трубе
Зубострогальный станок	25,76	35	ВВГ (4×4)	в трубе
Камерная печь	46,91	55	ВВГ (4×10)	в трубе
Накатной станок	22,21	25	ВВГ(4×2,5)	в трубе
Резьбонакатной станок	28,29	35	ВВГ (4×4)	в трубе
Моечная машина	9,99	19	ВВГ(4×1,5)	в трубе
Агрегатно-расточной станок	86,6	95	ВВГ (4×25)	в трубе
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	44,74	55	ВВГ(4×10)	в трубе
Автоматный станок	22,37	25	ВВГ(4×2,5)	в трубе
Компрессоры	22,37	25	ВВГ(4×2,5)	в трубе
<b>ШРА 2</b>				
Станки для лазерной, плазменной и газовой резки металла	19,54	25	ВВГ(4×2,5)	в трубе
Агрегатно-сверлильный станок	37,75	42	ВВГ (4×6)	в трубе
Моечная машина	9,99	19	ВВГ(4×1,5)	в трубе
Токарные станки для обработки деталей вращением	49,07	55	ВВГ (4×10)	в трубе

Продолжение таблицы 5

Наименование оборудования	$I_p$ , А	$I_{доп}$ , А	Марка кабеля	Способ прокладки
Ультразвуковое оборудование для неразрушающего контроля сварных швов	12,63	19	ВВГ(4×1,5)	в трубе
Шлифовальные станки	12,99	19	ВВГ (4×1,5)	в трубе
Аппараты для аргонодуговой сварки (TIG)	13,28	19	ВВГ(4×1,5)	в трубе
Пресс	22,21	25	ВВГ(4×2,5)	в трубе
Оборудование для пескоструйной обработки	13,71	19	ВВГ(4×1,5)	в трубе
Кран-балка	31,75	35	ВВГ (4×4)	в трубе
Станки для гибки и резки арматуры, трубогибы	40,41	42	ВВГ (4×6)	в трубе
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	44,74	55	ВВГ (4×10)	в трубе
Многорезцовый полуавтомат	37,75	42	ВВГ (4×6)	в трубе
Агрегатно-расточной станок	86,6	95	ВВГ (4×25)	в трубе

Выбор проводников распределительных пунктов представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор проводников распределительных пунктов

Наименование оборудования	Расчетный ток группы, А	$I_{доп}$ , А	Марка кабеля	Способ прокладки
РЩ	42,29	55	ВВГ (4×10)	открыто
ШРА-1	291,58	305	ВВГ (4×150)	открыто
ШРА-2	225,27	260	ВВГ (4×120)	открыто

Как следует из приведенной выше таблицы, расчетные токи распределительного щита и распределительных шин не превышают длительно допустимые токи указанных проводников.

## 2.4 Расчет токов короткого замыкания

В рамках обеспечения надежности и безопасности эксплуатации электроэнергетических систем монтажного цеха ООО «УПЦ Самараэнергонадзора» особое внимание уделяется анализу режимов коротких замыканий. Токи короткого замыкания представляют собой один из наиболее критичных параметров, определяющих требования к элементам системы



электроснабжения, включая проводники, защитное оборудование и коммутационные аппараты. Оценка токов короткого замыкания позволяет определить способность системы справляться с экстремальными режимами, гарантируя ее стабильность и защиту от повреждений.

Расчет токов короткого замыкания является обязательным этапом проектирования и модернизации систем электроснабжения, позволяя выполнить подбор оборудования и защит с учетом наихудших условий работы системы. Эти расчеты не только способствуют оптимизации конструктивных характеристик системы и выбору подходящего защитного оборудования, но и обеспечивают соблюдение норм и стандартов электробезопасности.

В данном разделе будет проведен тщательный расчет токов короткого замыкания для различных участков электрической сети монтажного цеха, с учетом существующих и планируемых изменений в конфигурации сети. Будут определены максимальные значения токов короткого замыкания для каждого элемента системы.

«Расчет токов КЗ ведем в относительных единицах. Для этого все расчетные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности.

Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения рисунок 4.

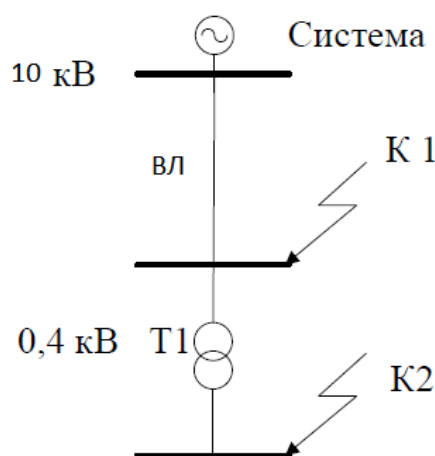


Рисунок 4 – Упрощенная схема для расчета токов короткого замыкания в максимальном режиме

На рисунке 5 показана схема замещения, построенная по расчетной схеме с целью вычисления токов короткого замыкания.

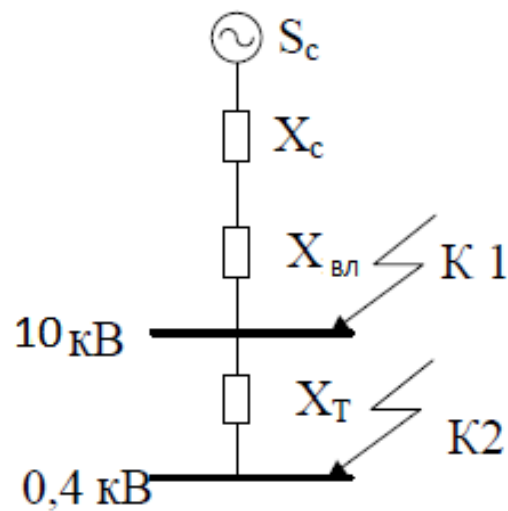


Рисунок 5 – Схема замещения для расчета токов КЗ

За базисную мощность при расчете принимается номинальная мощность трансформаторов, установленных на цеховой подстанции:

$$S_{\text{б}} = 400 \text{ кВА} = 0,4 \text{ МВА.}$$

Базисные напряжения в схеме определяются согласно следующему выражению:

$$U_{\text{б}} = 1,05 \cdot U_{\text{НОМ}}, \text{ кВ.} \quad (16)$$

По формуле (16):

$$\begin{aligned} U_{\text{б}1} &= 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ,} \\ U_{\text{б}2} &= 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ} \gg [16]. \end{aligned}$$

Базисные токи на ступени 10 и 0,4 кВ рассчитываются по формуле:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}. \quad (17)$$

По формуле (17)

$$I_{61} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,022 \text{ кА},$$

$$I_{62} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,577 \text{ кА}.$$

Согласно [10], при отсутствии информации о параметрах системы допустимо принять сопротивление системы равным:

$$X_c = 0.$$

Сопротивление линии, обеспечивающей питание КТП [14]:

$$X_{ВЛ} = x_{0ВЛ} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (18)$$

$$R_{ВЛ} = r_{0кЛ} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (19)$$

где  $x_{0ВЛ}$  – индуктивное сопротивление воздушной линии, Ом/км [14];

$l$  – длина воздушной линии, км;

$r_{0кЛ}$  – активное сопротивление воздушной линии, Ом/км [14].

Для воздушной линии схемы:

$$X_{ВЛ} = 0,4 \cdot 4 \cdot \frac{0,4}{10,5^2} = 0,0058 \text{ о. е.},$$

$$R_{ВЛ} = 0,777 \cdot 4 \cdot \frac{0,4}{10,5^2} = 0,0113 \text{ о. е.}$$

Сопротивление трансформатора [12]:

$$X_{\text{трКТП}} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{н.тр}}}, \quad (20)$$

$$X_{\text{трКТП}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{0,4}{0,4} = 0,045 \text{ о. е.},$$

где  $U_k$  – напряжение к.з., % [12];

$S_{\text{н.тр}}$  – «номинальная мощность трансформатора, МВА» [12].

Полное сопротивление и ток КЗ до точки К1:

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{R_{\text{ВЛ}}^2 + (X_c + X_{\text{ВЛ}})^2}, \quad (21)$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{0,0113^2 + (0 + 0,0058)^2} = 0,0127 \text{ о. е.},$$

$$I_{\text{к,к1}} = \frac{I_6}{Z_{\text{к1}}}, \quad (22)$$

$$I_{\text{к,к1}} = \frac{0,022}{0,0127} = 1,732 \text{ кА.}$$

Полное сопротивление и ток КЗ до точки К2 [15]:

$$Z_{\text{к2}} = \sqrt{R_{\text{ВЛ}}^2 + (X_c + X_{\text{ВЛ}} + X_{\text{трКТП}})^2}, \quad (23)$$

$$Z_{\text{к2}} = \sqrt{0,0113^2 + (0 + 0,0058 + 0,045)^2} = 0,052 \text{ о. е.},$$

$$I_{\text{к,к2}} = \frac{I_6}{Z_{\text{к2}}}, \quad (24)$$

$$I_{\text{к,к2}} = \frac{0,577}{0,052} = 11,1 \text{ кА.}$$

«Ударный ток в рассматриваемых точках:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{к,к}}, \quad (25)$$

$$i_{y1} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,732 = 3,429 \text{ кА},$$

$$i_{y2} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 11,1 = 15,7 \text{ кА},$$

где  $k_y$  - ударный коэффициент» [16].

«Для более наглядного представления результаты расчетов занесены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчетов токов КЗ

Параметр	Размерная величина	Точка К1	Точка К2
$I_{к,к}$	кА	1,732	11,1
$i_y$	кА	3,429	15,7

Полученные результаты расчетов токов короткого замыкания будут применены далее при выборе и проверке оборудования на стороне 10 и 0,4 кВ»[16].

## 2.5 Выбор и проверка оборудования для систем электроснабжения цеха

Затем с учетом технических исходных данных трансформаторной подстанции и на основе полученных итогов вычислений электрических нагрузок, эксплуатационных и наибольших токов, а кроме того трехфазных токов короткого замыкания, в работе осуществляется выбор и проверка основной аппаратуры КРУ в порядке проведения технологической модернизации монтажного цеха, для чего производится полная замена элементов и аппаратов в ЗРУ-10 кВ.

В предыдущих главах было выявлено, что на подстанции КТП-10/0,4 кВ монтажного цеха в РУ-10 кВ применяются устаревшие масляные выключатели высокого напряжения. Эти устройства, из-за морального и физического износа, не соответствуют современным стандартам и требуют

обновления на новые модели аналогичных марок, чтобы обеспечить надежное функционирование электрооборудования.

Дополнительно выяснилось, что все устаревшие ячейки РУ-10 кВ модели КСО-366 также нуждаются в обновлении.

Предлагается заменить вышеупомянутое оборудование на современные, надежные и быстродействующие аналоги отечественного производства.

После изучения производителей оборудования среднего напряжения, предложено к установке комплектное распределительное устройство серии КРУ-СЭЩ-80.

«КРУ-СЭЩ-80 – это самое современное и безопасное комплектное распределительное устройство среднего напряжения в линейке оборудования производства Электроцит Самара, отвечающее самым высоким требованиям не только российских, но и международных стандартов.

Технические характеристики КРУ – СЭЩ-80 представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики КРУ – СЭЩ-80

Наименование параметра	КРУ-СЭЩ-80
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Номинальный ток главных цепей, А	630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 3150; 4000
Номинальный ток отключения выключателя, кА	20; 25; 31,5; 40
Габаритные размеры, мм: Ширина × Высота × Глубина	600 (750, 1000) × 2715 × 1650

Внешний вид ячеек КРУ-СЭЩ-80 представлен на рисунке 6» [4].



Рисунок 6 – Внешний вид КРУ-СЭЩ-80

К предварительной установке и монтажу в новые ячейки КРУ-СЭЩ-80 предлагаются вакуумные выключатели промышленного назначения, разработанные для монтажа в ячейки КРУ, марки ВВУ-СЭЩ.

В конструкции данных КРУ не предусмотрена установка разъединителей; их заменяют втычные контакты, следовательно, выбор и расчёт разъединителей не требуется.

Затем по результатам проведенных вычислений предстоит осуществить проверку предварительно выбранного для установки на подстанции КТП-10/0,4 кВ вновь вводимого в эксплуатацию оборудования.

Далее изложен алгоритм проверки высоковольтных выключателей.

«По номинальному напряжению [17]:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}; \quad (26)$$

где  $U_{\text{уст}}, U_{\text{н}}$  - соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя, кВ [17].

По максимальному рабочему току:

$$I_{\text{раб.макс.}} \leq I_{\text{н}}. \quad (27)$$

где  $I_{\text{раб.макс.}}, I_{\text{н}}$  - соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя, А.

Проверка коммутационных аппаратов на симметричные токи отключения [17]:

$$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{отк.ном}}. \quad (28)$$

где  $I_{\text{п.т}}$  - значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов [16];

$I_{\text{отк.ном}}$  - номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА [16].

Для аппаратов с функцией отключения аperiodическая составляющая тока короткого замыкания в процессе проведения данной работы проверяется на отключение [19]:

$$i_{\text{а.т}} \leq i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{ном}} \cdot I_{\text{отк.ном}}, \quad (29)$$



где  $\beta_{ном}$  – «номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе [16];

$i_{a.ном}$  – номинальное допускаемое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени [16].

По величине ударного тока [20]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (30)$$

где  $i_{дин.}$  – «номинальный ток электродинамической стойкости аппарата [1].

Проведение испытаний электрических устройств на термостойкость [2]:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (31)$$

где  $I_T$  – предельный ток термической стойкости по каталогу [20];

$t_T$  – длительность протекания тока термической стойкости, с» [20].

Результаты расчетов и испытаний выключателя приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчетов и испытаний выключателя ВВУ-СЭЩ [4]

Место установки	Паспортные данные					Тип выключателя	Расчетные данные				
	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{откл}$	$i_{пр.с}$	$I_T^2 t_T$		$U_{сети}$	$I_{макс}$	$I_{по}$	$i_y$	$B_k$
	кВ	А	кА	кА	кА <sup>2</sup> ·с		кВ	А	кА	кА	кА <sup>2</sup> ·с
РУ-10 кВ	10	1000	20	52	1200	ВВУ-СЭЩ-10 20/1000 [4]	10	30,8	1,73	3,43	12,42

Как видно из таблицы 8, все расчетные данные значительно меньше паспортных данных рассматриваемого выключателя, следовательно, данное устройство может быть принято к установке на КТП.

Вместе с этими силовыми выключателями в камерах дополнительно монтируются ограничители перенапряжения данной марки ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1 [19].

Также вместе с высоковольтными выключателями, в ячейках РУ-10 кВ КТП-10/0,4 кВ монтажного цеха монтируются трансформаторы тока. Выбор и проверка трансформатора тока представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты расчетов и испытаний трансформатора тока ТОЛ-СЭЦ-10 [4]

Место установки	Паспортные данные					Тип трансформатора тока	Расчетные данные				
	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{откл}$	$i_{пр.с}$	$I_T^2 t_T$		$U_{сети}$	$I_{макс}$	$I_{по}$	$i_y$	$B_k$
	кВ	А	кА	кА	кА <sup>2</sup> ·с		кВ	А	кА	кА	кА <sup>2</sup> ·с
РУ-10 кВ	10	75	40	100	1600	ТОЛ-СЭЦ-10	10	30,8	1,73	3,43	12,42

На слайде 3 изображены все выбранные электрические устройства 10 кВ.

В дальнейшем осуществляется поверочный расчет электроаппаратов электросети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения монтажного цеха.

В рамках модернизации системы электроснабжения монтажного цеха ООО «УПЦ Самараэнергонадзора» предусмотрена установка автоматических выключателей в качестве защитных аппаратов во всех распределительных пунктах. Этот выбор обусловлен рядом существенных преимуществ автоматических выключателей по сравнению с традиционными предохранителями.

Автоматические выключатели обеспечивают высокий уровень защиты электрических цепей, отключая питание при коротких замыканиях, перегрузках и других нештатных ситуациях. В отличие от предохранителей, которые требуют замены после срабатывания, автоматические выключатели могут быть быстро возвращены в исходное состояние, что значительно

сокращает время на устранение аварий и восстановление электроснабжения. Это не только повышает надежность и безопасность системы, но и снижает эксплуатационные расходы.

Кроме того, автоматические выключатели позволяют более точно настраивать параметры защиты, адаптируя их под конкретные условия эксплуатации и характеристики защищаемой цепи. Это обеспечивает более эффективную защиту и предотвращение ложных срабатываний, которые могут возникать при использовании предохранителей. Наличие дополнительных функций, таких как защита от утечки тока на землю и дистанционное управление, дополнительно расширяет возможности автоматических выключателей, делая их предпочтительным выбором для современных систем электроснабжения.

Таким образом, установка автоматических выключателей в качестве защитных аппаратов во всех распределительных пунктах является важной мерой по повышению эффективности, надежности и безопасности электроснабжения производственных площадок.

Далее изложен алгоритм расчета и выбор автоматических выключателей.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата выбираются, исходя из условий» [21]:

$$I_{н.авт} \geq I_{р,} \quad (32)$$

$$I_{у.т.р.} \geq 1,1I_{р,} \quad (33)$$

где  $I_{н.авт}$  – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{у.т.р.}$  – уставка теплового расцепителя автоматического выключателя, А.

«Ток электромагнитного расцепителя» [1]:

$$I_{у.э.р.} \geq K_{т.о.} \cdot I_{р,} \quad (34)$$

где  $K_{т.о.}$  – кратность срабатывания токовой отсечки

Выбор автоматических выключателей для питающей сети отражен в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора автоматов для питающей сети

Участок	$I_p, A$	$1,1I_p, A$	Тип выключателя [1]	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
Вводные автоматы ВРУ	528,25	581,08	ВА88-40	630	630	6300
Секционный автомат ВРУ	264,125	290,54	ВА88-37	400	400	4000
ВРУ-РЩ	42,29	46,52	ВА88-33	50	50	500
ВРУ-ШРА1	291,58	320,74	ВА88-37	315	315	3150
ВРУ-ШРА2	225,27	247,8	ВА88-35	250	250	2500
ВРУ-освещение	42,1	46,31	ВА88-33	50	50	500

Результаты выбора автоматов распределительной сети отражены в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор автоматов распределительной сети

ЭП	$I_p, A$	$1,1I_p, A$	Тип выключателя	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
Токарные станки для обработки деталей вращением	49,07	53,98	ВА57-35	100	63	630
Шлифовальные станки	12,99	14,29	ВА57-35	100	16	160
Станки для лазерной, плазменной и газовой резки металла	19,54	21,49	ВА57-35	100	25	250
Моечная машина	9,99	10,99	ВА57-35	100	12,5	125
Резьбонакатной станок	28,29	31,12	ВА57-35	100	32	320
Станки для гибки и резки арматуры, трубогибы	40,41	44,45	ВА57-35	100	50	500
Многорезцовый полуавтомат	37,75	41,53	ВА57-35	100	50	500
Накатной станок	22,21	24,43	ВА57-35	100	25	250
Алмазно-расточной станок	13,77	15,15	ВА57-35	100	16	160
Агрегатно-сверлильный станок	37,75	41,53	ВА57-35	100	50	500
Зубострогальный станок	25,76	28,34	ВА57-35	100	32	320
Пресс	22,21	24,43	ВА57-35	100	25	250

Продолжение таблицы 12

ЭП	$I_p$ , А	$1,1I_p$ , А	Тип выключателя	$I_{ном.а}$ , А	$I_{у.т.р.}$ , А	$I_{у.э.р.}$ , А
Ультразвуковое оборудование для неразрушающего контроля сварных швов	12,63	13,89	ВА57-35	100	16	160
Аппараты для аргодуговой сварки (TIG)	13,28	14,61	ВА57-35	100	16	160
Агрегатно-расточной станок	86,6	95,26	ВА57-35	100	100	1000
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	44,74	49,21	ВА57-35	100	50	500
Автоматный станок	22,37	24,61	ВА57-35	100	25	250
Волоочильный стан	62,43	68,67	ВА57-35	100	80	800
Камерная печь	46,91	51,6	ВА57-35	100	63	630
Компрессоры	22,37	24,61	ВА57-35	100	25	250
Сварочный трансформатор	63,51	69,86	ВА57-35	100	80	800
Оборудование для пескоструйной обработки	13,71	15,08	ВА57-35	100	16	160
Вентиляторы	3,97	4,37	ВА57-35	100	12,5	125
Кран-балка	31,75	34,93	ВА57-35	100	40	400

Как видно из таблиц 11 и 12, в качестве защитных аппаратов выбран автомат серии ВА. Основным преимуществом автоматов серии ВА является высокая надежность и способность эффективно защищать электрические сети от перегрузок и коротких замыканий.

## 2.6 Расчет заземляющего устройства

Обеспечение безопасности на производстве является приоритетной задачей для любого предприятия, и важной составляющей этой задачи выступает система заземления. На предприятии ООО «УПЦ Самараэнергонадзора», как и на любом другом объекте с интенсивным использованием электроэнергии, создание надежного заземляющего устройства имеет важнейшее значение. Это не только требование электротехнических норм и стандартов безопасности, но и ключевой элемент обеспечения защиты жизни и здоровья сотрудников, а также защиты оборудования от повреждений, вызванных электрическими авариями.

Заземление выполняет несколько важных функций:

- предотвращение возникновения опасных потенциалов на корпусах электрооборудования, что исключает риск поражения электрическим током персонала и посетителей предприятия;
- обеспечение надежной работы систем защиты и автоматики, позволяя быстро локализовать и устранять неисправности в электросети;
- снижение риска возникновения пожаров, вызванных электрическими причинами, за счет эффективного отвода токов короткого замыкания и утечки на землю.

В этом разделе будет проведен тщательный расчет заземляющего устройства, который включает в себя выбор типа заземления, определение необходимого сопротивления заземляющего контура и подбор соответствующих материалов и технологий его реализации. Расчеты будут основаны на текущих нормативных требованиях, учете специфики производственных процессов и геологических условий местности, что позволит обеспечить максимальную эффективность и надежность заземляющего устройства.

«Сопротивление заземляющего устройства электрооборудования 0,38 кВ должно быть не более 4 Ом, поэтому это требование является определяющим для расчёта  $R_z \leq 4 \text{ Ом}$ , [10].

Заземляющее устройство выполняем вертикальными стержнями длиной 5 м и диаметром 16 мм, заглублёнными на 0,7 м от поверхности земли и связанными между собой стальной полосой с площадью сечения  $40 \times 4 \text{ мм}^2$ .

Вертикальные стержни забиваются по контуру на расстоянии 1 м от площади, занимаемой цехом [10].

Исходные данные для расчёта заземляющего устройства:

- ТП 22 (двухтрансформаторная подстанция 2х400кВА напряжением 10/0,4кВ);
- режим работы с изолированной нейтралью;

- общая длина электрически связанных воздушных линий напряжением 10 кВ - 4 км. (отходят две воздушных линии);
- естественные заземлители при расчете не учитываются;
- удельное сопротивление грунта (садовая земля) в районе расположения подстанции при нормальной влажности (10-20 % к весу грунта)  $\rho=40$  Ом·м. [21];

Расчётное сопротивление грунта с учётом сезонного коэффициента  $K_c$  для вертикальных электродов» [21]:

$$\begin{aligned}\rho_{\text{расч}} &= \rho_{\text{уд}} \cdot K_c, \\ \rho_{\text{расч}} &= 2 \cdot 40 = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м},\end{aligned}\tag{35}$$

где  $\rho_{\text{уд}}$  – удельное сопротивление глины [20], Ом·м;

$K_c$  – «сезонный коэффициент удельного сопротивления грунта» [20].

Для горизонтальных полос связи:

$$\rho_{\text{расч}} = 5 \cdot 40 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Сопротивление стержня:

$$\begin{aligned}R_{\text{в.о}} &= \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \\ R_{\text{в.о}} &= \frac{0,366 \cdot 80}{5} \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 21,39 \text{ Ом},\end{aligned}\tag{36}$$

где  $l$  – длина полосы, м;

$d$  – диаметр штыревого заземлителя, мм.

Сопротивление полосы связи:

$$R_{\text{го}} = \frac{0,366 \rho_{\text{расч}}}{l} \ln \frac{2l^2}{bt},\tag{37}$$

$$R_{го} = \frac{0,366 \cdot 200}{31} \ln \frac{242^2}{0,04 \cdot 0,7} = 8,87 \text{ Ом},$$

где  $b$  – ширина полосы, мм;

$t$  – глубина заложения, м.

«Необходимое число вертикальных заземлителей определим по формуле:

$$N = \frac{R_{во}}{R_3}, \quad (38)$$

$$N = \frac{21,39}{4} = 5,35 \approx 6.$$

Эти 6 стержней располагается по периметру подстанции, тогда расстояние между вертикальными электродами:

$$a = \frac{l}{N}, \quad (39)$$

$$a = \frac{31}{6} = 5,2 \text{ м}.$$

Действительное число вертикальных электродов с учётом коэффициента экранирования при  $n_T = 6$  и  $a/l = 7/5 = 1,04$ , по справочнику определим  $\eta_B = 0,58$ » [20].

Тогда  $n_D$ :

$$n_D = \frac{N}{\eta_B}, \quad (40)$$

$$n_D = \frac{6}{0,58} \approx 10,$$

где  $\eta_B$  - коэффициент использования вертикальных электродов [20].



Производится проверочный расчёт, определяется  $\eta_B$  при  $n = 9$  и  $a/l = 11,6/9/5=0,26$ ,  $\eta_B = 0,52$ :

$$R_3 = \frac{R}{n \cdot \eta_B}, \quad (41)$$

$$R_3 = \frac{21,39}{10 \cdot 0,58} = 3,69 < 4 \text{ Ом.}$$

«Действительное число вертикальных электродов с учётом присоединённого сопротивления горизонтальных полос  $R_\Gamma$ » [20].

«Сопротивление полосы в контуре из 6 электродов» [20]:

$$R_\Gamma = \frac{R_{\Gamma 0}}{\eta_\Gamma}, \quad (42)$$

$$R_\Gamma = \frac{8,87}{0,34} = 26,09 \text{ Ом,}$$

где  $\eta_\Gamma$  - коэффициент использования горизонтальных электродов [20].

Тогда действительное число стержней:

$$n_D = \frac{R_B}{\eta_B} \cdot \left[ \frac{1}{R_3 \cdot \eta_\Gamma} \cdot \frac{1}{R_{\Gamma 0}} \right], \quad (43)$$

$$n_D = \frac{21,39}{0,44} \cdot \left[ \frac{1}{4 \cdot 0,4} \cdot \frac{1}{8,87} \right] \approx 9,96.$$

Принимается к монтажу 10 стержней и выполняем проверочный расчёт при  $n = 10$ ,  $a = 31/10 = 3,1$  м,  $a/l = 3,1/5 = 0,62$  и  $\eta_B = 0,52$ ,  $\eta_\Gamma = 0,34$ .

Далее выполняется проверка сопротивления ЗУ:

$$R_{\text{расч}} = \frac{R_{B0} R_{\Gamma 0}}{R_{B0} \cdot \eta_\Gamma + R_{\Gamma 0} \cdot \eta_B \cdot n}, \quad (44)$$

$$R_{\text{расч}} = \frac{21.39 \cdot 8.87}{(21.39 \cdot 0.34 + 8.87 \cdot 0.52 \cdot 10)} = 3,55 \text{ Ом.}$$

Что меньше требуемых 4 Ом. Таким образом, десяти заземляющих электродов достаточно, чтобы обеспечить требуемое сопротивление.

## 2.7 Расчет компенсирующего устройства

Эффективность и надежность систем электроснабжения на современных производственных предприятиях, таких как ООО «УПЦ Самараэнергонадзора», в значительной степени зависят от качества электроэнергии. Одним из важных аспектов обеспечения высокого качества электроэнергии является компенсация реактивной мощности, которая способствует снижению потерь в электрических сетях, повышению их пропускной способности и увеличению эффективности использования электроэнергетического оборудования. В этом контексте ключевую роль играют компенсирующие устройства, задача которых — поддержание коэффициента мощности электрической сети на заданном уровне.

Значение расчетной реактивной мощности установки конденсаторов по условию:

$$Q_{\text{к.расч}} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (45)$$

где  $\alpha$  - коэффициент, учитывающий увеличение  $\cos\varphi$  [11];

$tg\varphi$ - коэффициент реактивной мощности до компенсации;

$tg\varphi_k$ - коэффициент реактивной мощности после компенсации.

Определяется мощность компенсирующих устройств для рассматриваемого цеха:

$$Q_{\text{к.р}} = 0,9 \cdot 221.92 \cdot (1.08 - 0,33) = 149.8 \text{ квар.}$$

В качестве компенсирующих устройств на ВРУ монтажного цеха приняты две установки УКРМ-0,4-75-10 УХЛ мощностью 75 квар каждая.

Производится вычисление фактических  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{факт}}$  и  $\cos\varphi_{\text{факт}}$  после внедрения компенсирующих приборов:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{факт}} = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{к.ст}}}{\alpha \cdot P_{\text{р}}}, \quad (46)$$
$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{факт}} = 1,08 - \frac{2 \cdot 75}{0,9 \cdot 221,92} = 0,33.$$

Результаты показывают, что выбранной мощности конденсаторных установок достаточно для поддержания приемлемого коэффициента реактивной мощности в сети.

Выводы по разделу 2

В данном разделе были выработаны и реализованы следующие ключевые мероприятия:

- во всех распределительных пунктах были установлены автоматические выключатели вместо предохранителей, что повысило надежность и упростило обслуживание системы электроснабжения;
- разработка и реализация надежного заземляющего устройства обеспечили дополнительную безопасность для персонала и оборудования цеха, существенно снизив риск аварийных ситуаций, связанных с электричеством;
- установка компенсирующих устройств позволила оптимизировать потребление электроэнергии, уменьшить потери и повысить качество электроэнергии, что влияет на продолжительность службы и надежность работы электрооборудования.

### 3 Разработка системы освещения цеха

#### 3.1 Выбор типа светильников и высота подвеса

Для помещения основного производства, которое имеет высоту  $H=7,0$  м, принимаются светильники Оптолукс-Скай-300МП [13], со степенью защиты  $IP65$ . Данные светильники имеют КПД 90%, большой срок службы, высокий световой поток светодиодов.

На рисунке 7 представлен внешний вид светильника Оптолукс-Скай-300МП.



Рисунок 7 – Светильник светодиодный Оптолукс-Скай-300МП

Коэффициент пульсации светильников Оптолукс составляет не более 1%. Также для уменьшения пульсации светильники подключаются на разные фазы трехфазной сети.

В таблице 13 представлен выбор светильников рабочего освещения.

Таблица 13 – Выбор светильников рабочего освещения

Наименование помещения	Характеристика помещения	Светильники			
		Тип	Степень защиты	КСС	КПД, %
Основное производство	Пыльная, пожароопасная. особоопасная	Оптолюкс-Скай-300МП	IP 65	Д2	90
Электрощитовая	Сухая без повышенной опасности	ДИУС-45S	IP 54	Д1	90
КТП	Сухая без повышенной опасности	ДИУС-45S	IP 54	Д1	90
Компрессорная	Пыльная, пожароопасная особоопасная	ДИУС-45S	IP 54	Д1	90
Склад	Пыльная, пожароопасная особоопасная	ДИУС-45S	IP 54	Д1	90
Венткамера	Пыльная, пожароопасная особоопасная	ДИУС-45S	IP 54	Д1	90

Для помещений электрощитовой, КТП, компрессорной, венткамеры и склада выбраны светильники типа ДИУС-45S [13] (подвешенные на монтажном профиле со свесом от 1 до 2м).

### 3.2 Размещение светильников в помещениях цеха

«Высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью ( $H_p$ ) – расчетная высота подвеса светильников в значительной степени определяет характеристику и технико-экономические показатели установки.

На рисунке 8 представлена схема размещения светильника над освещаемой поверхностью.

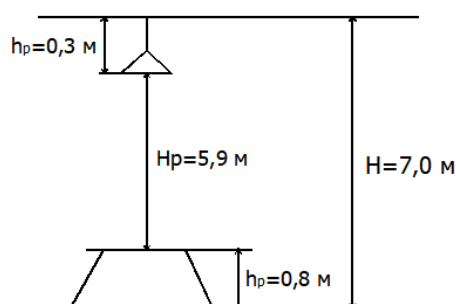


Рисунок 8 - Размещение светильника по высоте помещения

В общем случае расчетная высота подвеса светильников определяется по выражению:

$$H_p = H - (h_c + h_p), \quad (47)$$

где  $H$  - высота помещения, м;

$h_c$ - высота свеса светильников, м;

$h_p$  - высота рабочей поверхности, м» [6].

«Для основного производства по [6] и условию доступности их обслуживания принимается, что в цеху имеется кран- балка с площадкой для мастера, высота свеса светильников принимается равной 0,3 м., тогда расчетная высота подвеса светильников составит:

$$H_p = 7 - (0,3 + 0,8) = 5,9 \text{ м.}$$

Для остальных помещений по [6] выбор аналогичен, расчет представлен в таблице 14» [6].

Таблица 14 - Расчёт высоты подвеса светильников

Наименование помещения	Высота $H$ , м	$h_c$ , м	$h_p$ , м	$H_p$ , м	Тип светильника	Способ подвеса
Основное производство	7,0	0,3	0,8	5,9	Оптолюкс-Скай-300МП	На монтажный профиль, который крепится на подвесах к фермам
Электрощитовая	6,0	1,5	0,0	4,5	ДИУС-45S	На монтажный профиль
КТП	6,0	1,5	0,0	4,5	ДИУС-45S	На монтажный профиль
Компрессорная	6,0	1,5	0,0	4,5	ДИУС-45S	На монтажный профиль
Склад	6,0	1,5	0,0	4,5	ДИУС-45S	На монтажный профиль
Венткамера	6,0	1,5	0,0	4,5	ДИУС-45S	На монтажный профиль

В начале расчета определяется расстояние между соседними светильниками:

«Расчетное расстояние между соседними светильниками определяется по выражению:

$$L = (L / H_p) \cdot H_p. \quad (48)$$

Схема расположения светильников показана на слайде 4.

Число рядов светильников:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L}. \quad (49)$$

Принимается, что в основном цеху рабочих мест возле стен нет.

Число светильников определяется по формуле:

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l}{L}. \quad (50)$$

Реальные расстояния между рядами светильников:

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l}{R - 1}. \quad (51)$$

Реальные расстояние между центрами светильников в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l}{N_R - 1}. \quad (52)$$

Общее число светильников в помещении:

$$N_R = R \cdot N_R. \quad (53)$$

Параметры размещения светильников представлены в таблице 15» [6].

Таблица 15 – Параметры размещения светильников

Наименование помещения	Кол-во светильников	Расстояния, м			
		L <sub>A</sub>	L <sub>B</sub>	l <sub>a</sub>	l <sub>b</sub>
Основное производство	36	10	9,5	4,0	3,75
Электрощитовая	3	4	3	2	-
КТП	15	2,4	2	1,2	1
Компрессорная	18	2,3	2	1,2	1
Склад	4	3	3	1,5	1,5
Венткамера	8	3	3	1,5	1,5

Равномерность распределения света и выбор подходящих типов светильников способствуют повышению производительности и снижению риска профессиональных заболеваний.

### 3.3 Светотехнический расчет освещения цеха

«Основной задачей светотехнического расчета является определение:

- количество единичной мощности ИС осветительной установки, обеспечивающей требуемую освещенность в помещении (на рабочей поверхности);
- для существующей спроектированной установки рассчитать освещенность любой точки поверхности освещаемого помещения.

При расчете по методу коэффициента использования световой поток светильника, лампы, или ряда светильников необходимый для создания заданной минимальной освещенности определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (54)$$

где  $E$  - заданная минимальная (нормируемая) освещенность [6], лк;



$K$  - коэффициент запаса [6];

$S$  - площадь помещений,  $m^2$ ;

$z$  - отношение  $E_{cp}/E_{min}$  [6];

$N$  - количество светильников, ламп или рядов светильников;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока, о.е» [6].

«Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{H_p(A + B)}, \quad (55)$$

где  $A$  – длина помещения, м;

$B$  – ширина помещения, м;

$H_p$  - расчетная высота подвеса светильников, м» [6].

Расчитанные и выбранные данные светотехнического расчёта рабочего освещения основного производства помещено в таблицу 16.

Таблица 16 – Результаты светотехнического расчета основного производства

Помещение	$H_p$ , м	$i$	$\eta$	$N$ , шт	$\Phi_{тр}$ , лм	Тип светильника	Тип лампы	Световой поток лампы $\Phi_l$ , лм	$P_{уд}$ , Вт/м <sup>2</sup>	Погрешность, $\Delta$ %
Основное производство	5,9	3,33	0,597	36/36	28252	Оптолюкс-Скай-300МП	Светодиод 302Вт	27900	6,59	-1,25

Расчет мощности ламп вспомогательных помещений.

Удельная мощность равна:

$$P_{уд} = \frac{P_{y.t} \cdot K_z \cdot E_n}{K_{з.т.} \cdot \eta \cdot 100}, \quad (56)$$

где  $P_{y.t}$  - табличное значение удельной мощности освещения [6];

$K_3$  - фактический коэффициент запаса [6];

$K_{з.т.}$  - табличные коэффициенты запаса [6];

$\eta$  – КПД светильника.

Установленная мощность источника света в помещении:

$$P = P_{уд} \cdot S. \quad (57)$$

Мощность светильника определяет по формуле:

$$P_{расч} = \frac{P}{\eta}. \quad (58)$$

Выбор источников света для вспомогательных помещений представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Выбор ИС для вспомогательных помещений

Наименование помещения	$E_{min}$ , лк	$H_p$ , м	Тип ИС	$S$ , м <sup>2</sup>	$P_{уд}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$P_{уст}$ , Вт	$P_{расч.одн.ой лампы}$ , Вт	Кол-во светильников
Электрощитовая	50	2,7	СД	72	3,35	241,4	40,23	3
КТП	300	2,2	СД	72	18,3	1320	44	15
Компрессорная	300	3,7	СД	42	35,2	1478,4	41,1	18
Склад	75	4,5	СД	36	11,57	416,6	52,1	4
Венткамера	150	1,5	СД	72	9,42	678,9	42,4	8

«Источником питания рабочего освещения будет служить ВРУ-0,4 кВ, что допускается в соответствии с [18], т.к. отсутствуют другие источники питания в цеху. Электрическую осветительную сеть питаем по радиальной схеме. Преимущество радиальной схемы является надежность работы сети и селективность защит» [18].

На рисунке 9 представлено наглядное изображение осветительной установки.

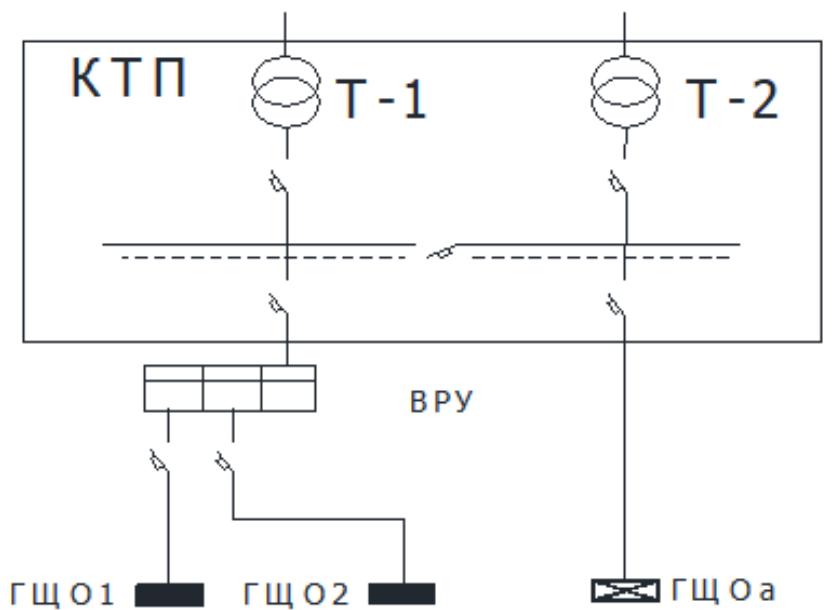


Рисунок 9 – Схемы питания осветительной установки монтажного цеха

«На плане цеха намечается два групповых щитка ГЩО1 и ГЩО2 по разные стороны цеха, т.к. вспомогательные помещения в цеху находятся в разных сторонах цеха. Питание групповых щитков (ГЩО) рабочего освещения осуществляется, непосредственно от ВРУ по радиальной схеме. Радиальная схема выбрана для увеличения надежности осветительной сети, т.к. при коротком замыкании отключается групповая сеть одного щитка. Также не целесообразно питать магистральной линией ГЩО2-ГЩО1, т.к. щиток ГЩО2 имеет небольшую нагрузку, а щиток ГЩО1 намного большую нагрузку, чем щиток ГЩО2. При питании магистральной линией придется принимать сечение проводника по максимальному току обеих линий.

Питание щитков аварийного освещения ГЩОа согласно [6] должно иметь самостоятельное от независимого источника, т.к. в данном проекте в качестве источников питания указана 2-х трансформаторная КТП, питание щитка ГЩОа осуществляем от второго трансформатора КТП» [6].

### Выводы по разделу 3

В ходе разработки системы освещения монтажного цеха были предприняты важные меры для обеспечения оптимального освещения рабочих зон, повышения эффективности работы персонала и обеспечения безопасности производственных процессов. Основные направления работ включали:

- для основного производственного помещения были выбраны светильники Оптолюкс-Скай-300МП с высоким КПД и степенью защиты IP65, обеспечивающие достаточный уровень освещенности и высокую надежность в условиях производственного помещения;
- для вспомогательных помещений, включая электрощитовую, КТП, компрессорную, вентакамеру и склад, оснащаются светильниками ДИУС-45S, отличающимися высоким КПД и пылевлагозащитным исполнением;
- аварийное освещение осуществляется от независимого источника (второго трансформатора), что гарантирует безопасность персонала и продолжение работы в случае аварийных ситуаций.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен комплексный анализ существующей системы электроснабжения монтажного цеха ООО «УПЦ Самараэнергонадзора». Были определены ключевые направления её оптимизации и разработаны рекомендации по повышению эффективности, надежности и безопасности электроснабжения.

Основными результатами работы стали разработка осветительной системы через внедрение светодиодных светильников в основном производственном помещении и вспомогательных помещениях, что позволило значительно улучшить качество освещения, снизить энергопотребление и эксплуатационные расходы.

Также была усовершенствована система электроснабжения за счет замены устаревших элементов системы на современные аналоги, что обеспечило повышение надежности и эффективности электроснабжения цеха.

Важным аспектом стало повышение уровня безопасности работы персонала и защиты оборудования от возможных аварийных ситуаций за счет внедрения автоматических выключателей и оптимизации заземляющего устройства.

Ключевым моментом работы стало внедрение компенсирующих устройств для оптимизации потребления реактивной мощности. Это позволило снизить общие потери в системе электроснабжения и улучшить качество подаваемой электроэнергии, что в свою очередь обеспечивает дополнительную экономическую выгоду для предприятия за счет уменьшения расходов на электроэнергию.

Реализация предложенных мероприятий способствует значительному снижению затрат на электроэнергию и эксплуатацию системы электроснабжения, обеспечивая высокий уровень безопасности и комфортные условия труда для сотрудников.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Выключатели автоматические ВА. [Электронный ресурс]: URL: [https://www.iek.ru/products/catalog/silovoe\\_oborudovanie\\_zashchity\\_i\\_kommutatsii/silovye\\_avtomaticheskie\\_vyklyuchateli\\_v\\_litom\\_korpuse\\_i\\_dop\\_ustroystva/silovye\\_avtomaticheskie\\_vyklyuchateli\\_karat\\_i\\_dop\\_ustroystva/silovye\\_avtomaticheskie\\_vyklyuchateli\\_va88\\_i\\_dop\\_ustroystva/silovye\\_avtomaticheskie\\_vyklyuchateli\\_va88/vyklyuchatel\\_avtomaticheskiy\\_va88\\_40\\_3r\\_500a\\_35ka\\_iek](https://www.iek.ru/products/catalog/silovoe_oborudovanie_zashchity_i_kommutatsii/silovye_avtomaticheskie_vyklyuchateli_v_litom_korpuse_i_dop_ustroystva/silovye_avtomaticheskie_vyklyuchateli_karat_i_dop_ustroystva/silovye_avtomaticheskie_vyklyuchateli_va88_i_dop_ustroystva/silovye_avtomaticheskie_vyklyuchateli_va88/vyklyuchatel_avtomaticheskiy_va88_40_3r_500a_35ka_iek) (дата обращения: 30.03.2024).
2. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения. /Электронное учебно- методическое пособие. Тольятти, 2016. 78 с.
3. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения промышленного потребителя. Москва: Торус Пресс, 2019. 408 с.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
5. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2016. 368 с.
6. Кнорринг Г.М., Фадин И.М. , Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1992. – 650 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей / Под редакцией В.М.Блок. М.: Высшая школа, 1981. 304 с.
9. Полуянович Н. К. Монтаж и наладка систем электроснабжения: учебник. М.: Лань, 2019. 400 с.

10. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. СПб.: Издательство ДЕАН., 2002. 928 с.
11. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.
12. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
13. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1995. 528 с.
14. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.
15. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 368 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
17. Сивков А. А., Сайгаш А. С., Герасимов Д. Ю. Основы электроснабжения: Учебное пособие. М. : Юрайт, 2016. 174 с.
18. Суворин А. В. Электрические схемы электроустановок. Составление и монтаж: Практическое пособие. М. : Феникс, 2015. 544 с.
19. Хорольский В. Я., Таранов М. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие. М. : ДРОФА, 2013. 128 с.
20. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М.: ФОРУМ : ИНФРА – М, 2014. 214 с.
21. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие. М. : Форму ; ИнфраМ, 2014. 596 с.