

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 Модернизация системы электроснабжения завода по производству
осветительного оборудования

Обучающийся

Р.Т. Давлетов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. И.В. Горохов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения надежного и экономичного электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, требующих стабильной подачи энергии для поддержания микроклимата и работы оборудования. В данной работе представлены результаты комплексного проектирования системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования. В ходе исследования определены расчетные электрические нагрузки объекта, обоснован выбор оптимальной мощности силового трансформатора, рассчитаны токи короткого замыкания и на их основе выбрана защитно-коммутационная аппаратура.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 58 страниц, дополняемой 9 таблицами, 4 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая характеристика объекта	6
1.1 Основные исходные данные	6
1.2 Анализ требований к электроснабжению объекта	11
1.3 Расчет электрических нагрузок	14
2 Разработка системы электроснабжения.....	24
2.1 Разработка схемы электроснабжения	24
2.2 Выбор трансформаторов, кабелей и коммутационного оборудования.....	26
2.3 Расчет токов короткого замыкания	38
2.4 Разработка релейной защиты.....	42
3 Обеспечение надежности и безопасности хозяйства	48
3.1 Охрана труда.....	48
3.2 Молниезащита объекта.....	51
Заключение	54
Список используемых источников.....	56

Введение

Электроснабжение объектов выделяется как критически важный сегмент, оказывающий непосредственное влияние на эффективность и бесперебойность функционирования всей экономической системы. Надежное и качественное электроснабжение является основополагающим фактором для обеспечения бесперебойной работы оборудования, поддержания заданных параметров производственных процессов и, в конечном итоге, достижения планируемых экономических показателей предприятия.

Электроснабжение объектов неразрывно связано с технологическими процессами предприятия и подчиняется строгим нормам и стандартам энергопотребления. В условиях непрерывного технологического обновления и модернизации производственных мощностей, включая расширение площадей, внедрение нового оборудования и автоматизированных систем управления, системы электроснабжения должны обладать высокой степенью адаптивности и гибкости.

В современных промышленных условиях системы электроснабжения призваны обеспечивать не только постоянную подачу электроэнергии к различным типам потребителей, но и минимизировать электрические потери. Снижение потерь электроэнергии достигается за счет применения современных энергоэффективных технологий, оптимизации режимов работы электрооборудования, а также внедрения систем компенсации реактивной мощности. Это позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты и повысить экономическую эффективность предприятия в целом.

«Настоящая работа посвящена разработке системы электроснабжения для завода по производству осветительного оборудования. В рамках поставленной задачи необходимо решить следующий комплекс вопросов:

- определение расчетных нагрузок завода по производству осветительного оборудования;
- выбор оптимальной мощности трансформатора;

– определение токов короткого замыкания и выбор защитной аппаратуры.» [8]

«Объект проектирования: завод по производству осветительного оборудования.

Предмет проектирования: модернизация системы электроснабжения завода.» [18]

При разработке проекта были использованы актуальные нормативно-технические документы (ПУЭ, ГОСТы, СП), справочные материалы, каталоги ведущих производителей электрооборудования, а также передовой опыт в области модернизации СЭС промышленных предприятий.

Каждый из перечисленных этапов является неотъемлемой частью проектирования эффективной и безопасной системы электроснабжения. Объект проектирования: предприятие завода по производству осветительного оборудования. Предмет проектирования: система электроснабжения.

1 Общая характеристика объекта

1.1 Основные исходные данные

Надежное и бесперебойное электроснабжение является критически важным фактором для эффективного функционирования современного завода по производству осветительного оборудования. Разнообразие технологических процессов, применяемых на заводе, обуславливает использование широкого спектра электрических приемников, каждый из которых выполняет специфическую функцию и характеризуется определенными параметрами энергопотребления. Правильная классификация и детальный анализ электрических приемников являются необходимой предпосылкой для корректного расчета электрических нагрузок и последующего проектирования эффективной системы электроснабжения. Основные исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные

U_H , кВ	S_{K3} , МВА	L , км	Схема	Норм. $\tan\varphi$	$V_{\text{цпmin}}$	$V_{\text{цпmax}}$
10	250	1,2	Радиальная	0,25	+2%	0%

В таблице 1 приняты следующие обозначения:

U_H – номинальное напряжение;

S_{K3} – мощность короткого замыкания от энергосистемы;

L – длина питающей линии;

$\tan\varphi$ – коэффициент реактивной мощности;

$V_{\text{цпmin}}, V_{\text{цпmax}}$ – минимальное и максимальное отклонение напряжения.

В данном заводе предусмотрено использование нижеперечисленных типов электрических приемников.

Характеристики вышеприведенных электроприемников приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Перечень электрических приемников

Наименование ЭП	Кол-во, шт	Мощность, кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$U_n, В$	K_u
Токарные станки	9	18	0,50	1,73	380	0,13
Фрезерные станки	8	9	0,50	1,73	380	0,14
Радиально-сверлильные станки	4	20	0,65	1,17	380	0,17
Станки для резки металла	6	10	0,65	1,17	380	0,12
Линия конвейерной сборки светодиодных светильников	6	19	0,50	1,73	380	0,14
Машина для сборки потолочных светильников	9	14	0,65	1,17	380	0,13
Стенд для проверки светильников	1	6	0,70	2,68	380	0,35
Вентилятор	7	4	0,80	0,75	380	0,80
Сварочная машина дуговой сварки	2	17,7	0,70	1,02	380	0,35
Сварочный выпрямитель	8	14	0,65	1,17	380	0,35
Окрасочная камера	5	15	0,65	1,17	380	0,20
Станок для литья пластмассовых деталей	5	60	0,95	0,33	380	0,80
Тепловая завеса (вентилятор)	1	3	0,80	0,75	380	0,80
Кран-балка	2	5	0,52	1,732	380	0,22

Таблица 2 предоставляет информацию о количестве, мощности, коэффициенте мощности $\cos\varphi$, тангенсе угла сдвига фаз $tg\varphi$, номинальном напряжении и коэффициенте использования K_u для каждого типа электроприемника. Рассмотрим более подробно некоторые из них.

Токарные станки с ЧПУ предназначены для высокоточной обработки металлических деталей светильников, таких как корпуса, отражатели, цоколи и другие элементы. Они выполняют операции точения, растачивания, нарезания резьбы и другие. Станки оснащены числовым программным управлением (ЧПУ), что обеспечивает высокую производительность и точность обработки. Низкий коэффициент использования объясняется тем, что станки работают не постоянно, а периодически, в зависимости от производственного задания. Значительное время тратится на переналадку станка под разные типы деталей, смену инструмента, а также на техническое обслуживание.

Фрезерные станки с ЧПУ используются для обработки корпусов светильников и других деталей, требующих сложной формы. Они позволяют создавать пазы, отверстия различной конфигурации, выполнять фрезерование плоскостей и криволинейных поверхностей. Как и токарные станки, фрезерные станки с ЧПУ характеризуются невысоким коэффициентом использования из-за необходимости частой смены режущего инструмента, настройки программ управления и проведения технического обслуживания.

Радиально-сверлильные станки предназначены для сверления отверстий в корпусах светильников и других металлических деталях. Радиально-сверлильная конструкция позволяет обрабатывать отверстия в деталях больших размеров и сложной формы. Коэффициент использования этих станков также невелик, поскольку значительная часть времени уходит на вспомогательные операции: установку и закрепление детали, смену сверла, настройку станка.

Станки для резки металла включают в себя оборудование для раскроя листового металла, из которого изготавливаются корпуса и отражатели светильников. Могут использоваться гильотинные ножницы, станки лазерной или плазменной резки. Низкий коэффициент использования обусловлен тем, что процесс резки металла перемежается с операциями по загрузке материала, подготовке чертежей и настройке оборудования.

Линия конвейерной сборки светодиодных светильников предназначена для серийного производства светодиодных светильников. Линия включает в себя конвейер, по которому перемещаются собираемые изделия, а также различные автоматические и полуавтоматические устройства: роботы-манипуляторы, дозаторы клея или герметика, винтоверты, установки для пайки светодиодов и электронных компонентов, системы контроля качества. Низкий коэффициент использования таких линий может быть связан с неполной загрузкой, необходимостью переналадки линии на выпуск другого типа светильников, а также с проведением планового технического обслуживания.

Машина для сборки потолочных светильников – это полуавтоматическое оборудование, предназначенное для сборки светильников определенного типа (в данном случае – потолочных). Машина выполняет операции по установке компонентов, их креплению, подключению проводов и другие сборочные операции. Низкий коэффициент использования машин для сборки может быть связан с неоптимальной организацией производственного процесса, неритмичной подачей комплектующих или недостаточной загрузкой оборудования. Необходимо провести анализ причин низкого $K_{и}$ и принять меры по его повышению.

Стенд для проверки светильников – это обязательный элемент производства осветительного оборудования. Он предназначен для контроля качества готовой продукции. На стенде проверяются электрические параметры светильников, а также светотехнические характеристики. Стенд оснащен измерительными приборами, источниками питания и другим необходимым оборудованием. Коэффициент использования стенда $K_{и} = 0.35$ выше, чем у большинства станков, так как процесс проверки занимает значительное время и выполняется для каждого выпущенного светильника.

Общецеховые вентиляторы обеспечивают приточно-вытяжную вентиляцию в производственных помещениях завода. Они необходимы для удаления из воздуха вредных веществ, а также для поддержания комфортного микроклимата. Вентиляторы работают практически постоянно, поэтому их коэффициент использования высок.

Сварочные аппараты инверторного типа используются для соединения металлических деталей светильников методом дуговой сварки. Сварка является вспомогательной операцией, поэтому коэффициент использования сварочного оборудования не очень высок. Сварочные выпрямители представляют собой устаревший тип сварочного оборудования. Рекомендуется заменить их на более современные инверторные сварочные аппараты, которые обладают меньшими габаритами и массой, более высоким КПД и лучшими сварочными характеристиками.

Окрасочные камеры предназначены для нанесения защитно-декоративных покрытий на корпуса и другие детали светильников. Камеры оснащены системой принудительной вентиляции для удаления паров растворителей и создания равномерного потока воздуха, а также нагревательными элементами для сушки нанесенного покрытия. Низкий коэффициент использования объясняется технологическим циклом окраски, который включает в себя подготовку поверхности, нанесение краски, сушку и охлаждение изделий. Станок для литья пластмассовых деталей используется для изготовления пластиковых деталей светильников методом литья под давлением. Станки работают циклически: расплавленный пластик впрыскивается в пресс-форму, где он остывает и затвердевает, после чего готовая деталь извлекается. Высокий коэффициент использования обусловлен тем, что станок работает с высокой загрузкой в течение каждого цикла.

Тепловая завеса устанавливается на входе в производственный цех и создает поток нагретого воздуха, который препятствует проникновению холодного воздуха снаружи в зимнее время. Тепловая завеса работает большую часть отопительного сезона, поэтому ее коэффициент использования высок. Кран-балка – это грузоподъемный механизм, предназначенный для перемещения тяжелых грузов внутри цеха. Кран-балка используется периодически, по мере необходимости, поэтому ее коэффициент использования невысок.

Продолжая описание характеристик помещения, отметим, что высота цеха 8 метров выбрана исходя из технологических требований производства светильников, обеспечивая достаточный объем воздуха для вентиляции, размещения технологического оборудования (включая кран-балки и высокие станки), а также удобство проведения монтажных и ремонтных работ. Железобетонные конструкции обеспечивают необходимую прочность, долговечность и пожарную безопасность сооружения. Колонны сечением 0.5 × 0.5 метра, расположенные с шагом 6 метров, создают оптимальное соотношение между несущей способностью и полезной площадью. Наличие

вспомогательных помещений, помимо основного производственного пространства, предусмотрено для размещения систем управления микроклиматом, хранения удобрений, инвентаря и других вспомогательных операций. Общая площадь помещения 7200 м² (60м × 120м) рассчитана исходя из планируемых объемов производства и технологической схемы размещения оборудования.

«Для данного завода по производству осветительного оборудования принята вторая категория надежности электроснабжения в соответствии с требованиями ПУЭ [21]. Это означает, что допускается перерыв электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания, но не более 24 часов» [21]. Выбор второй категории обусловлен тем, что кратковременный перерыв электроснабжения не приведет к значительным экономическим потерям и не создаст угрозы безопасности персонала. «Для обеспечения второй категории надежности предусмотрено резервирование питания от двух независимых источников.

Среда внутри цехов завода классифицируется как нормальная в соответствии с ПУЭ» [21]. Температура, влажность и другие параметры микроклимата контролируются и поддерживаются в пределах, допустимых для нормальной работы электрооборудования. «Однако, следует учитывать повышенную влажность при выборе электрооборудования и материалов для прокладки электропроводки.

Завод по производству осветительного оборудования работает в двухсменном режиме с годовым временем работы электроприемников $T_m = 4000$ часов. Это необходимо учитывать при расчете электрических нагрузок и выборе мощности трансформаторной подстанции.» [13]

1.2 Анализ требований к электроснабжению объекта

Надежность электроснабжения является одним из ключевых факторов, определяющих эффективность и экономическую целесообразность

функционирования завода по производству осветительного оборудования. Бесперебойная подача электроэнергии необходима для поддержания заданных параметров микроклимата, работы систем орошения, освещения, вентиляции и других технологических процессов. Перебои в электроснабжении могут привести к нарушению температурного режима, гибели растений, снижению урожайности и, как следствие, значительным экономическим потерям. Поэтому к системе электроснабжения завода предъявляются повышенные требования по надежности.

Для обеспечения высокой надежности электроснабжения применяется комплекс технических решений, включая:

- резервирование источников питания;
- автоматическое включение резерва (АВР);
- использование надежного электрооборудования;
- регулярное техническое обслуживание.

Резервирование источников питания подразумевает подключение завода по производству осветительного оборудования к двум независимым источникам питания позволяет обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии в случае аварийного отключения одного из них.

Система АВР обеспечивает автоматическое переключение на резервный источник питания в случае отключения основного. Время переключения должно быть минимальным, чтобы исключить нарушение технологических процессов.

Регулярное техническое обслуживание подразумевает планово-предупредительные ремонты и профилактические испытания электрооборудования позволяют своевременно выявлять и устранять потенциальные неисправности, предотвращая аварийные ситуации.

Качество электроэнергии также оказывает значительное влияние на работу завода по производству осветительного оборудования. Основные параметры качества электроэнергии, которые необходимо контролировать:

- отклонение напряжения;

- частота сети;
- коэффициент искажения синусоидальности напряжения;
- фликер.

Допустимые отклонения напряжения составляют $\pm 5\%$ от номинального значения. Значительные отклонения напряжения могут привести к неправильной работе электрооборудования, снижению его срока службы и даже к его выходу из строя.

Для обеспечения требуемого качества электроэнергии применяются различные технические средства, такие как стабилизаторы напряжения, фильтры гармоник, устройства компенсации реактивной мощности и др. Выбор конкретных средств зависит от характеристик электросети и требований к качеству электроэнергии. Это позволит обеспечить надежное и эффективное функционирование завода по производству осветительного оборудования и минимизировать риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с некачественным электроснабжением. Особое внимание уделено компенсации реактивной мощности. Это позволит не только обеспечить бесперебойную работу электрооборудования, но и снизить эксплуатационные затраты за счет повышения энергоэффективности.

Выбор величины напряжения для системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования является важным этапом проектирования, влияющим на безопасность, эффективность и экономичность ее эксплуатации. Необходимо учитывать мощность потребителей, длину линий электропередачи, стоимость электрооборудования и другие факторы.

В данном проекте принято решение использовать стандартную для РФ систему электроснабжения с трехфазным напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью (система TN-C-S). Этот выбор обусловлен следующими преимуществами:

- большинство электроприемников, используемых на заводе, рассчитаны на напряжение 380/220 В;
- система 380/220 В позволяет питать как трехфазные силовые

- приемники, так и однофазные приемники;
- глухозаземленная нейтраль обеспечивает безопасность персонала при возникновении однофазных замыканий на землю;
 - при выбранном напряжении обеспечивается разумный компромисс между стоимостью кабельных линий и потерями электроэнергии в них.

Таким образом, выбранная система электроснабжения с напряжением 380/220 В и объединенным питанием от понижающего трансформатора является оптимальным решением для данного «завода по производству осветительного оборудования, обеспечивая надежное, безопасное и экономичное электроснабжение всех потребителей.» [11]

1.3 Расчет электрических нагрузок

«Надежное и бесперебойное электроснабжение является критически важным фактором для эффективного функционирования современного завода по производству осветительного оборудования. Основные исходные данные приведены в таблице 1. Расчет нагрузок выполнен в соответствии с методикой, изложенной в» [1]. Основными этапами расчета являются:

Определение суммарной мощности электроприемников P_{Σ} . Для каждой группы электроприемников с одинаковыми коэффициентами использования K_i и тангенсом угла сдвига фаз $tg\varphi$ определена суммарная мощность путем умножения мощности одного электроприемника на их количество.

Расчет среднесменной мощности $P_{см}$ и $Q_{см}$. Среднесменная активная мощность рассчитывается путем умножения суммарной мощности на коэффициент использования. Среднесменная реактивная мощность рассчитывается путем умножения среднесменной активной мощности на $tg\varphi$.

$$P_{см} = K_i P_{\Sigma}, \quad (1)$$

$$Q_{см} = P_{см} tg\varphi \quad (2)$$

«Определение эффективного числа электроприемников $n_э$: Этот параметр учитывает неравномерность нагрузки отдельных электроприемников и используется для более точного расчета коэффициента расчетной нагрузки.

$$n_э = \frac{(\sum P_\Sigma)^2}{\sum (nP_l^2)} \quad (3)$$

где $\sum P_\Sigma$ – Мощность всех электрических потребителей;

n – Число электрических потребителей;

P_l – Мощность электрических потребителей.

Расчет среднего коэффициента использования $K_{и\text{ ср}}$ [14]. Этот коэффициент представляет собой отношение суммы среднесменных мощностей всех групп к сумме их суммарных мощностей.

$$K_{и\text{ ср}} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_\Sigma} \quad (4)$$

Определение коэффициента расчетной нагрузки K_p учитывает неодновременность включения электроприемников и зависит от числа электроприемников и их среднего коэффициента использования. Значение K_p определено по таблицам или графикам, приведенным в [16].

«Расчет расчетной активной и реактивной мощности P_p и Q_p : Расчетная активная мощность определена путем умножения суммы среднесменных мощностей на K_p . Расчетная реактивная мощность рассчитывается аналогично.

$$P_p = K_p \sum P_{см} \quad (5)$$

Реактивная мощность:

$$Q_p = K_p \sum Q_{cm} \quad (6)$$

При расчете реактивной нагрузки для электрических сетей до 1 киловольта, необходимо учитывать количество приемников пэ.

$$\text{При } n_{\Sigma} \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum Q_{cm}$$

$$\text{При } n_{\Sigma} > 10 \quad Q_p = \sum Q_{cm} \gg [17]$$

«Учет мощности освещения: При расчете нагрузки на трансформаторную подстанцию необходимо учитывать также мощность осветительных приемников. Она может быть определена методом удельной мощности на единицу площади.

$$P_{p.o} = K_{u.o} P_{y.d.o} F_u \quad (7)$$

$$Q_{p.o} = K_{u.o} P_{y.d.o} F_u \operatorname{tg} \varphi = P_{p.o} \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

где $K_{u.o} = 0,950$ – коэффициент использования;

$P_{y.d.o}$ – удельная мощность, кВт/м².

Расчет полной расчетной мощности S_p и расчетного тока I_p : Полная расчетная мощность рассчитывается по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (9)$$

Рассмотрим пример токарных станков для расчета групповой нагрузки исходного цеха с использованием описанной методики.

Для расчета нагрузок необходимо внести в таблицу все электроприемники, их количество, K_u , $\operatorname{tg} \varphi$, относящиеся к одному узлу питания. При этом возможно объединение электроприемников с одинаковыми

коэффициентами использования и $\operatorname{tg}\varphi$ в одну группу. Также важно учесть мощность осветительной нагрузки цеха.

Суммарная мощность групп электроприемников P_{Σ} .

$$P_{\Sigma} = n \cdot p_n = 9 \cdot 18 = 162 \text{ кВт}$$

Рассчитываются средние (среднесменные) активные и реактивные мощности всех групп электроприемников:

$$P_{cm} = K_u P_{\Sigma} = 0,13 \cdot 162 = 21,06 \text{ кВт},$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg}\varphi = 21,06 \cdot 1,73 = 36,48 \text{ кВАр}.$$

Производится расчета числа электроприемников по формуле:

$$n_3 = \frac{(\sum P_{\Sigma})^2}{\sum (n P_1^2)} = 44,2.$$

n_3 принимаем равным 44 шт.

Рассчитывается средний коэффициент использования $K_{u \text{ ср}}$ [18]

$$K_{u \text{ ср}} = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_{\Sigma}} = 0,35.$$

«Коэффициент расчетной нагрузки K_p определен с использованием справочных данных и принимается равным 1,165» [25].

«Расчетная активная мощность равна:

$$P_p = K_p \sum P_{cm} = 1,165 \cdot 427 = 497,42 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная мощность.

$$Q_p = K_p \sum Q_{cm} = 1,165 \cdot 310 = 360,62 \text{ кВАр}$$

При расчете нагрузки на шинах НН цеховых трансформаторов учитывается расчетная мощность освещения цеха, добавляемая к расчетной мощности силовых электроприемников. В случае отсутствия данных о нагрузке осветительных установок, ее можно примерно определить методом удельной мощности на единицу площади.

$$P_{p.o} = K_{u.o} P_{уд.o} F_{ц} = 0,95 \cdot 20 \cdot 7,2 = 136,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = K_{u.o} P_{уд.o} F_{ц} \operatorname{tg} \varphi = P_{p.o} \operatorname{tg} \varphi = 136,8 \cdot 1,58 = 216,14 \text{ кВАр}$$

где $K_{u.o}$ – коэффициент использования осветительных установок, принимается 0,95;

$P_{уд.o}$ – удельная мощность освещения, кВт/м², для освещения выполненного лампами ДРЛ – 20 кВт/м²; $F_{ц}$ – площадь цеха, м², определен по плану;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, для ламп ДРЛ 0,62.

Полная расчетная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{634,22^2 + 445,4^2} = 775 \text{ кВА}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{775}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1177,48 \text{ А}$$

Результаты расчета нагрузок представлены в таблице 3» [19]. Затем нагрузки распределяются по группам, результаты расчетов в таблицах 4, 5, 6.

Таблица 3 - Расчет нагрузок

Исходные данные							Расчетные величины				Kp	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
По заданию				Справочные данные			Ku·Pn	Ku·Pn·tgφ	n·Pn^2	nэ=(∑Pn)^2/∑n·Pn^2		Активная, кВт	Реактивная,кВАр	Полная, кВА	Ip=Sp/√3·Un
Наименование ЭП	n	Мощность, кВт		Ku	cosφ	tgφ						Pp=Kp·Ku·Pn	Qp=1,1·Ku·Pn·tgφ при n≤10 Qp=Ku·Pn·tgφ при n>10	Sp=√(Pp2+Qp2)	
		Pn макс	∑Pn=n·Pn												
Токарные станки	9	18	162	0,13	0,5	1,73	21,06	36,48	2916	-	-	-	-	-	-
Фрезерные станки	8	9	72	0,14	0,5	1,73	10,08	17,46	648	-	-	-	-	-	-
Радиально-сверлирные станки	4	20	80	0,17	0,65	1,17	13,60	15,90	1600	-	-	-	-	-	-
Станки для резки металла	6	10	60	0,12	0,65	1,17	7,20	8,42	600	-	-	-	-	-	-
Линия конвейерной сборки светодиодных светильников	6	19	114	0,14	0,5	1,73	15,96	27,64	2166	-	-	-	-	-	-
Машина для сборки потолочных светильников	9	14	126	0,13	0,65	1,17	16,38	19,15	1764	-	-	-	-	-	-
Стенд для проверки светильников	1	6	6	0,35	0,7	1,02	2,10	2,14	36	-	-	-	-	-	-
Вентилятор	7	4	28	0,8	0,8	0,75	22,40	16,80	112	-	-	-	-	-	-
Сварочная машина дуговой сварки	2	17,7	35	0,35	0,7	1,02	12,39	12,64	627	-	-	-	-	-	-
Сварочный выпрямитель	8	14	112	0,35	0,65	1,17	39,20	45,83	1568	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

Исходные данные							Расчетные величины				Kp	Расчетная мощность			Расчетны
По заданию				Справочные данные			Ku·Pn	Ku·Pn·tgφ	n·Pn^2	nэ=(∑Pn)/^2/∑n·Pn^2		Активна	Реактивн	Полная	й ток, А
Наименование ЭП	n	Мощность, кВт		Ki	cosφ	tgφ						Pp=Kp·Ku·Pn	Qp=L·1·Ku·Pn·tgφ при nэ≤10 Qp=Ku·Pn·tgφ при nэ>10	Sp=√Pp2+Qp2	
		Pn макс	∑Pn=n·Pn												
Окрасочная камера	5	15	75	0,2	0,65	1,17	15,00	17,54	1125	-	-	-	-	-	-
Станок для литья пластмассовых деталей	5	60	300	0,8	0,95	0,33	240,00	78,88	18000	-	-	-	-	-	-
Тепловая завеса (вентилятор)	4	3	12	0,8	0,8	0,75	9,60	7,20	36	-	-	-	-	-	-
Кран-балка	2	5	10	0,2	0,5	1,73	2,00	3,46	50	-	-	-	-	-	-
Итого	73	76	215	1192	0,36	0,810	0,725	427	310	45	1,165	497,42	360,62	614,39	933,47
Электрическое освещение	7,2	7,2	20	20	0,95	0,85	0,620	136,8	84,78	-	-	136,8	84,78	160,94	244,52
Всего по цеху		-	-	-	-	-	-	563,77	394,33	-	-	634,22	445,40	775,00	1177,48

«Таблица 4 - Расчет ШР 1

наименование	n	Руст1	РустΣ	Ки	tgφ	Рсм	Qсм	пэ	Кр	Рр	Qр	Sp	Ip
Токарные станки	4	18	72	0,13	1,73	9,36	16,21	-	-	-	-	-	-
Фрезерные станки	4	9	36	0,14	1,73	5,04	8,73	-	-	-	-	-	-
Радиально-сверлирные станки	4	20	80	0,17	1,17	13,6	15,90	-	-	-	-	-	-
Вентилятор	4	4	16	0,8	0,75	12,8	9,60	-	-	-	-	-	-
Окрасочная камера	5	15	75	0,2	1,17	15	17,54	-	-	-	-	-	-
Станок для литья пластмассовых деталей	5	60	300	0,8	0,33	240	78,88	-	-	-	-	-	-
Станки для резки металла	6	10	60	0,12	1,17	7,2	8,42	-	-	-	-	-	-
Линия конвейерной сборки светодиодных светильников	6	19	114	0,14	1,73	15,96	27,64	-	-	-	-	-	-
Тепловая завеса (вентилятор)	2	3	6	0,8	0,75	4,8	3,60	-	-	-	-	-	-
Кран-балка	1	5	5	0,2	1,73	1	1,73	-	-	-	-	-	-
Итого силовые электроприемники	41,00	163,00	764,00	0,43		324,76	188,54	23	1,08	350,74	203,62	405,56	616,19

Таблица 5 - Расчет ШР 2

наименование	n	Руст1	РустΣ	Ки	tgφ	Рсм	Qсм	пэ	Кр	Рр	Qр	Sp	Ip
Машина для сборки потолочных светильников	9	14	126	0,13	1,17	16,38	19,15	-	-	-	-	-	-
Вентилятор	3	4	12	0,8	0,75	9,60	7,20	-	-	-	-	-	-
Машина дуговой сварки сварочная	2	17,7	35,4	0,35	1,02	12,39	12,64	-	-	-	-	-	-
Сварочный выпрямитель	8	14	112	0,35	1,17	39,20	45,83	-	-	-	-	-	-
Стенд для проверки светильников	1	6	6	0,7	2,68	4,20	11,24	-	-	-	-	-	-
Токарные станки	5	18	90	0,13	1,73	11,7	20,26	-	-	-	-	-	-
Фрезерные станки	4	9	36	0,14	1,73	5,04	8,73	-	-	-	-	-	-
Тепловая завеса (вентилятор)	2	3	6	0,8	0,75	4,8	3,60	-	-	-	-	-	-
Кран-балка	1	5	5	0,2	1,73	1	1,73	-	-	-	-	-	-
Итого силовые электроприемники	35	90,7	428,40	0,22		94,31	120,41	30	1,12	105,66	134,86	166,30	248,67

Таблица 6 - Расчет СП 1» [24]

наименование	n	Руст1	РустΣ	Ки	tgφ	Рсм	Qсм	пэ	Кр	Рр	Qр	Sp	Ip
Вентилятор	1	4	4	0,8	0,75	3,2	2,4	-	-	-	-	-	-
Машина дуговой сварки сварочная	2	17,7	35,4	0,35	1,02	12,39	12,64	-	-	-	-	-	-
Сварочный выпрямитель	1	14	14	0,35	1,17	4,9	5,73	-	-	-	-	-	-
Стенд для проверки светильников	1	6	6	0,7	2,68	4,2	11,24	-	-	-	-	-	-
Итого силовые электроприемники	5	41,7	59,4	0,42		24,69	32,01	4,03	1,00	24,69	32,01	40,43	61,42

Полученные значения расчетной мощности $P_p = 634,22 \text{ кВт}$, $Q_p = 445.4 \text{ кВАр}$, $S_p = 775 \text{ кВА}$ и расчетного тока $I_p = 1177.48 \text{ А}$ будут использованы для выбора мощности трансформаторной подстанции и сечения кабельных линий.

Выводы:

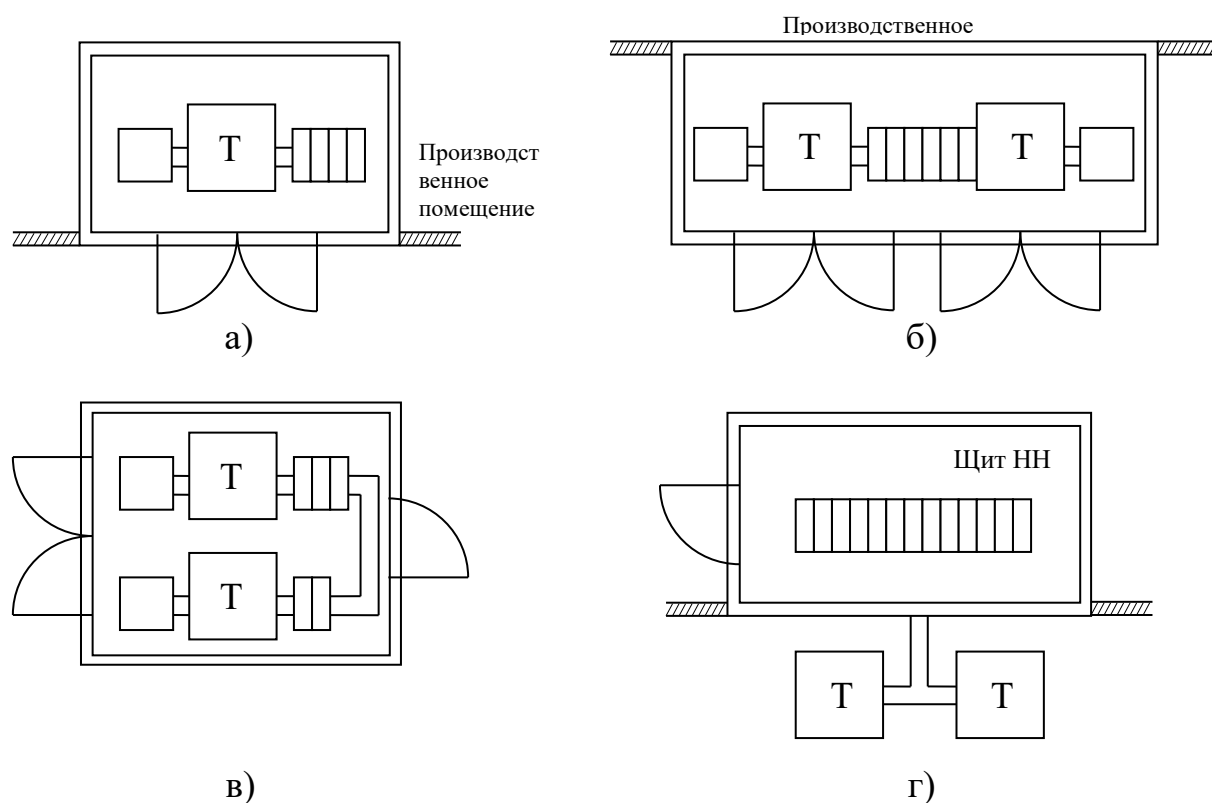
«Важно отметить, что при расчете нагрузок были учтены специфические особенности завода по производству осветительного оборудования, такие как неравномерность нагрузки в течение суток, сезонные колебания энергопотребления, а также высокое потребление реактивной мощности некоторыми электроприемниками.» [21] «Это позволяет обеспечить надежное и экономичное электроснабжение завода по производству осветительного оборудования в любых режимах работы.» [11] Кроме того, для повышения точности расчета были использованы актуальные нормативные документы и справочные материалы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для обеспечения электроснабжения завода по производству осветительного оборудования необходима трансформаторная подстанция достаточно большой мощности.

2 Разработка системы электроснабжения

2.1 Разработка схемы электроснабжения

Выбор схемы цеховой сети электроснабжения играет важную роль в обеспечении надежного, безопасного и экономичного электроснабжения всех потребителей завода по производству осветительного оборудования. При выборе схемы учитываются такие факторы как размещение электропримеников, требования к надежности электроснабжения, возможность расширения и другие факторы.

Варианты размещения цеховых ТП приведены на рисунке 1.



«а – однитрансформаторная встроенная КТП; б – двухтрансформаторная пристроенная КТП однорядного исполнения; в – двухтрансформаторная отдельно стоящая КТП двухрядного исполнения; г – КТП с наружной установкой трансформаторов.» [20]

Рисунок 1 - Варианты размещения цеховых ТП

Место размещения ТП выбирается с учетом расположения ЦЭН, технологического оборудования, коммуникаций и других факторов. В идеальном случае ТП должна быть расположена как можно ближе к ЦЭН, чтобы минимизировать длину кабельных линий и потери напряжения в них.

В данном проекте рассматриваются следующие варианты размещения ТП:

Встроенная КТП, изображенная на рисунке 1 а: Трансформатор размещается непосредственно в производственном помещении. Этот вариант позволяет минимизировать длину кабельных линий, но требует соблюдения повышенных мер безопасности.

Пристроенная КТП, изображенная на рисунке 1 б: ТП пристраивается к зданию цеха. Этот вариант является компромиссным между встроенной и отдельно стоящей ТП.

Отдельно стоящая КТП, изображенная на рисунке 1 в, г: ТП размещается в отдельном здании. Этот вариант обеспечивает наибольшую безопасность, но требует прокладки более длинных кабельных линий.

В данном проекте выбран вариант Пристроенная КТП. Место размещения ТП выбрано с учетом близости к ЦЭН, требованиям пожарной безопасности.

Преимущества выбранной схемы:

- простота и наглядность;
- высокая надежность;
- возможность поэтапного расширения.

Схема цеховой сети представлена на рисунке 2. На схеме показаны трансформатор, магистральный шинопровод, распределительные шинопроводы, электроприемники.

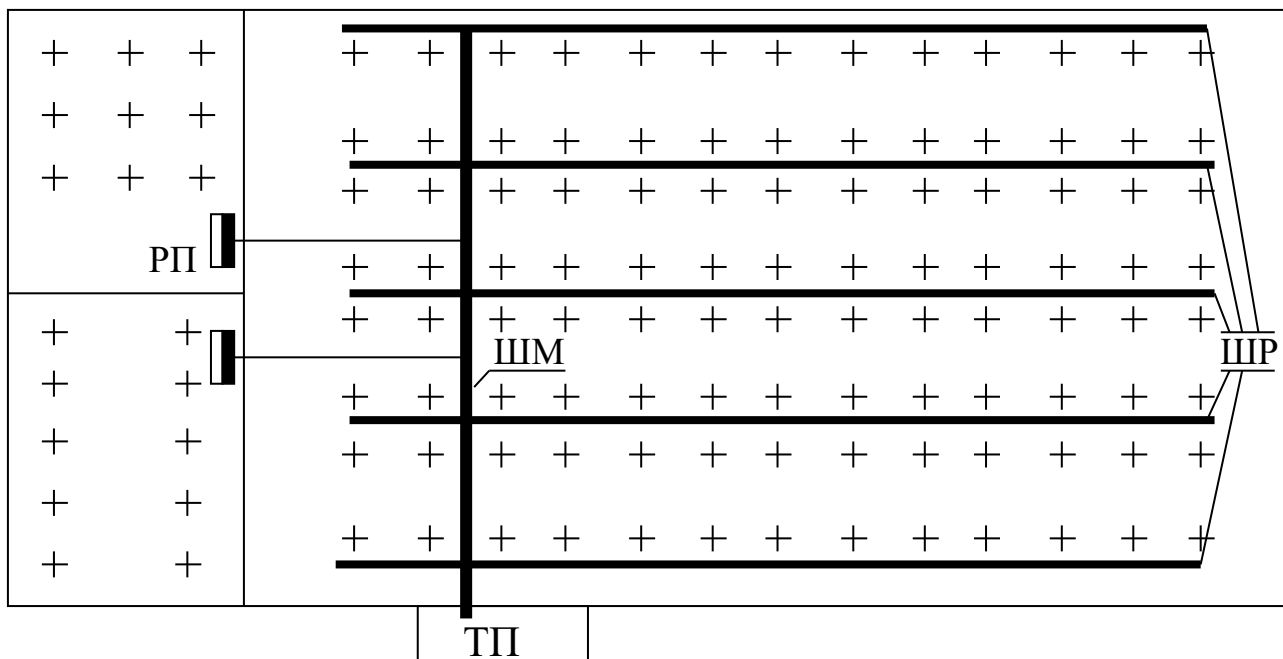


Рисунок 2 - Схема цеховой сети

Для данного завода по производству осветительного оборудования выбрана радиальная схема электроснабжения по принципу "блок трансформатор - магистраль". Эта схема характеризуется относительной простотой, надежностью и экономичностью. Она предусматривает питание электроприемников от магистрального шинопровода (ШМА), проложенного вдоль цеха, с последующим разветвлением на распределительные шинопроводы (ШРА) для отдельных групп потребителей.

2.2 Выбор трансформаторов, кабелей и коммутационного оборудования

Эффективная реактивная мощность:

$$Q_{\text{э}} = P_p \operatorname{tg} \varphi_n = 497,42 \cdot 0,25 = 158,55 \text{ кВАр} \quad (10)$$

Мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{кв}} = Q_p - Q_{\text{с}} = 445,4 - 158,55 = 286,85 \text{ кВар} \quad (11)$$

Рассматривается однотрансформаторная подстанция, поскольку потребители относятся к 3 категории электроснабжения.

Рассматривается вариант с использованием одного трансформатора.

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_p}{1 \cdot K_3} = \frac{634,22}{1 \cdot 0,9} = 704,7 \text{ кВА}, \quad (12)$$

где K_3 – коэффициент загрузки,

«Для двух трансформаторных подстанций рекомендуется принимать коэффициент K_3 в диапазоне от 0,6 до 0,8, а для одной трансформаторной подстанции - от 0,7 до 0,9. N_t обозначает количество трансформаторов.

При использовании трансформатора мощностью 1000 кВА, его максимальная пропускная способность:

$$Q_{\text{тр. max}} = \sqrt{(S_{\text{н.тр}} N_t K_3)^2 - P_p^2} = \sqrt{(1000 \cdot 1 \cdot 0,65)^2 - 634,22^2} = 142,3 \text{ квар} \quad (13)$$

Для улучшения электроснабжения проектируется новая тупиковая подстанция КТП- ТК-1000/10(6)/0,4, стоимость которой составляет 195 тысяч рублей.

Внутри КТП установлен масляный трансформатор ТМГ-1000/10(6)/0,4 с схемой соединения Δ/Y_n-11 , цена которого составляет 470 тысяч рублей. [8]

Технические характеристики трансформатора ТМГ-1000/10(6)/0,4. [12].

$$\Delta P_{\text{хх}} = 1,4 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{кз}} = 10,8 \text{ кВт}$$

Реальный коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{S_m}{S_{н.тр}} = \frac{\sqrt{634,22^2 + 125,4^2}}{1000} = 0,65$$

Потери активной мощности в трансформаторе:

$$\Delta p_{тр} = 1,4 + 0,65^2 \cdot 10,8 = 9,5 \text{ кВт},$$

Удельная стоимость потерь электроэнергии в год по двухставочному тарифу:

$$C_0 = 150 \cdot 12 + 1,02 \cdot 4000 = 5880 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

Потом можно рассчитать варианты по минимуму затрат» [3]

$$\begin{aligned} Z_{пр} &= 0,223 \cdot (370,7 + 470 + 195) + 5,88 \cdot (9,49330 + 4,50) = \\ &= 313,240 \text{ тысяч рублей.} \end{aligned}$$

«Выбор электрооборудования для системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования основывается на результатах расчета нагрузок,» [7] выбранной схеме цеховой сети и требованиях к надежности и безопасности. В этом разделе подробно рассмотрен выбор шинопроводов, кабелей, распределительных пунктов и защитной аппаратуры.

Выбор шинопроводов:

Шинопроводы являются основным элементом цеховой сети и предназначены для распределения электроэнергии между потребителями. При выборе шинопроводов учитываются следующие факторы:

Номинальный ток: Номинальный ток шинопровода должен быть не меньше расчетного тока нагрузки.

Электродинамическая стойкость: Шинопровод должен выдерживать

токи короткого замыкания без механических повреждений.

Потери напряжения: Потери напряжения в шинопроводе должны быть в допустимых пределах.

Способ монтажа: учитывается способ монтажа шинопровода (настенный, потолочный, напольный).

Стоимость: при прочих равных условиях выбирается шинопровод с наименьшей стоимостью.

Ток трансформатора:

$$I_{tr.max} = \frac{K_{д.н.} S_{н.тр}}{\sqrt{3} U_n} \frac{1,2 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1735 \text{ А.} \quad (14)$$

«Для магистрального шинопровода выбран ШМА 4-2000-44-1 УЗ с номинальным током 2000 А. $r_0 = 0,022 \text{ Ом} / \text{км}$, $x_0 = 0,018 \text{ Ом} / \text{км}$, $z\phi - 0 = 0,053 \text{ Ом} / \text{км}$, $i_d = 70 \text{ кА}$. Защита выполнена вводным выключателем ВА Э25В Про с $I_n = 2500 \text{ А}$, установленном в ШНВ.

Расчет распределительных шинопроводов. Согласно ПУЭ, их необходимо выбирать по нагреву. Распределительные шинопроводы необходимо проверить также и на потерю напряжения.

Для ШР1 выбираем распределительный шинопровод ШРА-1-630, типа KLM-R-07-Cu 55-4-1. $I = 630 \text{ А}$, $R_0 = 0,107 \text{ Ом} / \text{км}$, $X_0 = 0,091 \text{ Ом} / \text{км}$, динамическая стойкость $i_{дин} = 93 \text{ кА}$ [2]. Для ШР2 выбираем распределительный шинопровод ШРА-2-250, типа KLM-R-04-Cu 55-4-1. $I = 250 \text{ А}$, $R_0 = 0,226 \text{ Ом} / \text{км}$, $X_0 = 0,165 \text{ Ом} / \text{км}$, динамическая стойкость $i_{дин} = 41 \text{ кА}$ [2]. Для СП-1 имеющая номинальный рабочий ток $I_n = 61,4 \text{ А}$. Выбирается пункт распределительный серии ПР8804-1106 Номинальный ток шкафа $I_n = 63 \text{ А}$ с возможностью подключения до 8 трехфазных электроприемников. СП-1 подключается к ШРА-3-250 через кабель АВВГ $3 \times 25 + 1 \times 16$ с $I_{дд} = 87 \text{ А}$ » [22].

Проектирование надежной и эффективной системы электроснабжения

завода по производству осветительного оборудования требует тщательного выбора защитных аппаратов и определения сечения проводников. Этот процесс должен учитывать различные режимы работы сети – как нормальные, так и аварийные.

При выборе защиты и определении сечения проводников необходимо учитывать следующие критерии:

Нагрев током: Сечение проводника должно быть достаточным, чтобы предотвратить его перегрев как при длительной работе с номинальной нагрузкой, так и при кратковременных перегрузках и токах короткого замыкания. Для оценки нагрева используется ток десятиминутного максимума.

Потери напряжения: Потери напряжения в линии не должны превышать допустимые значения, регламентируемые нормативными документами. Чрезмерные потери напряжения могут привести к неправильной работе электроприемников и снижению их срока службы.

Электродинамическая стойкость: Проводники и аппараты защиты должны выдерживать электродинамические усилия, возникающие при токах короткого замыкания, без механических повреждений.

Селективность защиты: Система защиты должна быть селективной, то есть при возникновении короткого замыкания должен отключаться только поврежденный участок сети, а не вся система электроснабжения. Это достигается за счет правильного выбора временных характеристик защитных аппаратов.

При этом учитываются все подключенные к системе электроприемники, включая однофазные. Важно учитывать, что при питании силовой панели от щита распределения нагрузка панели должна быть включена в расчет нагрузки щита. Если расчетная мощность группы электроприемников оказывается меньше номинальной мощности самого мощного приемника в этой группе, то за расчетную мощность принимается номинальная мощность этого приемника. Это обеспечивает правильный выбор защитных аппаратов.

Сечение проводников для распределительных шинопроводов (ШР) и ответвлений от магистрального шинопровода должно быть выбрано с учетом указанных выше критериев. Точный расчет и выбор защиты проводников являются ключевыми моментами в обеспечении безопасности и эффективности работы сети электроснабжения. Недостаточное сечение проводника может привести к его перегреву и возникновению пожара, а неправильно выбранная защита может не обеспечить отключение поврежденного участка сети.

«Выбор аппаратов защиты осуществляется с учетом типа сети (осветительная или силовая), типа ламп и характера нагрузки. В таблице 7 приведены расчетные формулы для выбора аппаратов защиты.

Таблица 7 - Расчетные формулы для выбора аппаратов защиты в осветительных и силовых сетях

Аппарат защиты	Осветительные сети		Силовые сети	
	Лампы ЛЛ и ЛН	Лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ	Линии к одиночным электроприемникам	Линии к группам электроприемников
Предохранитель (тепловая вставка)	$I_3 \geq I_p$	$I_3 \geq 1,2 I_p$	$I_3 \geq I_n, I_3 \geq I_{\pi} / \alpha$	$I_3 \geq I_{p.гр}, I_3 \geq (I_{\pi}^1 + I_p^1) / \alpha$
Автоматический выключатель с тепловым расцепителем	$I_3 \geq I_p$	$I_3 \geq 1,3 I_p$	$I_3 \geq 1,25 I_n$	$I_3 \geq 1,25 I_p$
Автоматический выключатель с комбинированным расцепителем (эл. магнитным и тепловым)	$I_3 \geq I_p$	$I_3 \geq 1,3 I_p$	$I_3 \geq 1,25 I_n$ $I_{y.эp} \geq 1,2 I_{\pi}$	$I_3 \geq 1,1 I_n$ $I_{y.эp} \geq 1,2 (I_{\pi}^1 + I_p^1)$

В формулах используются следующие обозначения:

I_3 – номинальный ток плавкой вставки или уставка теплового расцепителя автоматического выключателя.

$I_{y.эp}$ – уставка электромагнитного расцепителя мгновенного действия.

I_p – расчетный ток нагрузки.

I_n – номинальный ток электроприемника.

I_n – пусковой ток электроприемника.» [3]

α – коэффициент, учитывающий условия пуска электродвигателей.

При выборе защиты для электродвигателей необходимо учитывать их пусковые токи, которые могут значительно превышать номинальные значения. Коэффициент α позволяет учесть длительность пускового периода и предотвратить ложное срабатывание защиты во время пуска. Для двигателей с большими маховыми массами и длительным пуском коэффициент α может быть уменьшен. Для линий, питающих электроприемники без двигателей, коэффициент α не учитывается.

Расчет и выбор оборудования для ШРА-1-630:

Для шинопровода ШРА-1-630 выбираем автоматический выключатель, устанавливаемый в ответвленной секции магистрального шинопровода. «Номинальный ток выключателя (I_n) должен быть не меньше расчетного тока I_p . В нашем случае, выбираем выключатель ВА-52-39 с $I_n = 630$ А, что соответствует требованию $I_n \geq I_p$. Номинальный ток расцепителя I_{nr} также должен быть больше расчетного тока, и в данном случае $I_{nr} = 630$ А, что удовлетворяет условию $I_{nr} > 616.2$ А. Кратность тока отсечки (КОТС) принимаем равной 10, следовательно, ток отсечки $I_{отс}$ составляет $630 \text{ А} \cdot 10 = 6300$ А. Отключающая способность выключателя (ПКС) – 40 кА.» [7].

«Проверяем несрабатывание отсечки при пиковом токе: $1.3 \cdot I_{пик} \leq I_{отс}$. Пиковый ток $I_{пик}$ рассчитывается как:

$$I_{пик} = I_p + (K_n - 1) \cdot I_{н.макс}, \quad (15)$$

где I_p – расчетный ток группы,

K_n – кратность пускового тока самого мощного электроприемника,

$I_{н.макс}$ – номинальный ток самого мощного электроприемника.» [3]

«В данной группе самым мощным электроприемником является станок для резки металла с $P_n = 60$ кВА и $U_n = 380$ В. Его номинальный рабочий ток $I_n = 95.9$ А.» [1]

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi} = \frac{60}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 95,9 \text{ A}$$

Тогда пиковый ток группы составит:

$$I_{\text{пик}} = 616,2 \text{ A} + (6-1) \cdot 95,9 \text{ A} = 1125,7 \text{ A}$$

Проверка:

$$1,3 \cdot 1125,7 \text{ A} = 1463,41 \text{ A} \leq 6300 \text{ A}.$$

Условие выполнено.

«Выбор сечения кабельной линии ответвления от магистрального к распределительному шинопроводу.» [14]

Для выбора сечения кабеля, соединяющего магистральный и распределительный шинопроводы, учитываем длительно допустимый ток ($I_{\text{дд}}$) кабеля, который должен быть не меньше расчетного тока I_p . Руководствуясь ПУЭ и учитывая, что количество часов работы в году менее 4000, а напряжение «сети ниже 1000 В, выбираем кабель с алюминиевыми жилами, ПВХ изоляцией и прокладкой открыто по стенам. Выбираем кабель АВВГ 2х (3х240 + 1х120) с $I_{\text{дд}} = 718 \text{ A}$.» [13]

Далее проверяем согласование уставки защитного аппарата I_z с выбранным сечением кабеля:

$$I_z \leq K_z \cdot I_{\text{дд}}, \quad (16)$$

где K_z — коэффициент, зависящий от типа защитного аппарата и изоляции кабеля от 0,8 до 1,25. [3].

Для автоматов с комбинированным расцепителем и кабелей с ПВХ изоляцией $K_3 = 1$. [7].

В нашем случае $I_3 = 630 \text{ A}$, $I_{\Delta\Delta} = 718 \text{ A}$.

Проверка:

$$630 \text{ A} \leq 1 \cdot 718 \text{ A}.$$

Условие выполнено.

Расчет и выбор оборудования для ШРА-2-250:

Аналогично предыдущему расчету, для ШРА-2-250 выбираем автоматический выключатель ВА-52-39 с $I_n = 250 \text{ A}$ и $I_{np} = 250 \text{ A}$. $K_{отс} = 10$, $I_{отс} = 250 \text{ A} \cdot 10 = 2500 \text{ A}$. ПКС = 40 кА.

Проверка несрабатывания отсечки при пиковом токе: самым мощным электроприемником в этой группе является сварочная машина с $P_H = 17.7 \text{ кВА}$ и $U_H = 380 \text{ В}$. Её номинальный рабочий ток:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi} = \frac{17,7}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 30,4 \text{ A}$$

Пиковый ток группы:

$$I_{пик} = 248.67 \text{ A} + (6 - 1) \cdot 30.4 \text{ A} = 400.67 \text{ A}.$$

Проверка:

$$1.3 \cdot 400.67 \text{ A} = 520.87 \text{ A} \leq 2500 \text{ A}.$$

Условие выполнено.

Выбираем кабель АВВГ 3х150 + 1х70 с $I_{\Delta\Delta} = 261 \text{ A}$.

Проверка согласования:

$$I_3 = 250 \text{ A} \leq 1 \cdot 261 \text{ A}.$$

Условие выполнено.

Выбор оборудования для СП-1:

Для силовой панели СП-1 с $I_n = 61.4 \text{ A}$ выбираем распределительный пункт ПР8804-1106 с номинальным током 63 А, позволяющий подключить до 8 трехфазных электроприемников. Для подключения к пункту распределения используем кабель АВВГ 3х25 + 1х16 с $I_{\partial\partial} = 87 \text{ A}$. [23]

Пусковые характеристики различных электроприемников играют важную роль при проектировании систем электроснабжения и выборе защитных устройств. Рассмотрим основные типы потребителей и их пусковые параметры:

Лампы накаливания: характеризуются высокой кратностью пускового тока, достигающей от 5 до 13 раз номинального значения. Длительность импульса пускового тока при этом относительно коротка и составляет от 0,05 до 0,3 секунды.

Электронагревательные приборы из сплавов (нихром, фехраль, хромаль): имеют небольшую кратность пускового тока, варьирующуюся в пределах от 1,05 до 1,1. Длительность импульса пускового тока значительно больше, чем у ламп накаливания, и может составлять от 0,5 до 30 секунд.

«Люминесцентные лампы с пусковыми устройствами: Кратность пускового тока невелика, составляет от 1,05 до 1,1. Длительность импульса пускового тока также небольшая – от 0,1 до 0,5 секунды.» [13]

Выбор защитной аппаратуры и сечения проводников по цеху представлен в таблице 8.

Таблица 8 - Выбор защитной аппаратуры и сечения проводников по цеху

Наименование ЭП	P_n , кВт	I_p , А	I_n , А	Тип пров.	F , мм	$I_{дл}$, А	Тип ЗА, А	$I_{н.а.}$, А	$I_{т.р.}$, А	$K_{т.о}$	$I_{э.м.}$, А	ПКС, кА	r_0 , мОм/м	x_0 , мОм/м
ШР1														
Токарные станки	18	54,76	273,81	АПВ	4x25	65	АЕ2046М	63	63	12	756	6	0,74	0,091
Фрезерные станки	9	27,38	136,90	АПВ	4x8	32	АЕ2046М	63	31,5	12	378	6	2,3	0,1
Радиально-сверлирные станки	20	46,80	234,02	АПВ	4x16	55	АЕ2046М	63	50	12	600	6	1,16	0,095
Вентилятор	4	7,61	38,03	АПВ	4x2	14	АЕ2046М	63	8	12	96	1	9,2	0,121
Окрасочная камера	15	35,10	175,52	АПВ	4x16	55	АЕ2046М	63	40	12	480	6	1,16	0,095
Станок для литья пластмассовых деталей	60	96,07	480,36	АПВ	4x50	105	АЕ2046М	63	100	10	1000	6	0,37	0,085
Станки для резки металла	10	23,40	117,01	АПВ	4x6	26	АЕ2046М	63	25	12	300	3	3,09	0,1
Линия конвейерной сборки светодиодных светильников	19	57,80	289,02	АПВ	4x25	65	АЕ2046М	63	63	12	756	6	0,74	0,091
Тепловая завеса (вентилятор)	3,00	5,70	28,52	АПВ	4x2	14	АЕ2046М	63	6,3	12	75,6	1	9,2	0,121
Кран-балка	5	6,2	32,2	АПВ	4x2	14	АЕ2046М	63	6,3	12	75,6	1	9,2	0,121

Продолжение таблицы 8

Наименование ЭП	P_n , кВт	I_p , А	I_n , А	Тип пров.	F , мм	$I_{дл}$, А	Тип ЗА, А	$I_{н.а}$, А	$I_{т.р.}$, А	$K_{т.о}$	$I_{э.м.}$, А	ПКС, кА	r_0 , мОм/м	x_0 , мОм/м
ШР2														
Машина для сборки потолочных светильников	14	32,76	163,82	АПВ	4x16	55	АЕ2046М	63	40	12	480	6	1,16	0,095
Вентилятор	4	7,61	38,03	АПВ	4x2	14	АЕ2046М	63	8	12	96	1	9,2	0,121
Машина дуговой сварки сварочная	17,70	38,46	192,32	АПВ	4x16	55	АЕ2046М	63	40	12	480	6	1,16	0,095
Сварочный выпрямитель	14	32,76	163,82	АПВ	4x16	55	АЕ2046М	63	40	12	480	6	1,16	0,095
Стенд для проверки светильников	6	26,08	130,38	АПВ	4x8	32	АЕ2046М	63	31,5	12	378	6	2,3	0,1
Токарные станки	18	54,76	273,81	АПВ	4x25	65	АЕ2046М	63	63	12	756	6	0,74	0,091
Фрезерные станки	9	27,38	136,90	АПВ	4x8	32	АЕ2046М	63	31,5	12	378	6	2,3	0,1
СП1														
Вентилятор	4	7,61	38,03	АПВ	4x2	14	АЕ2046М	63	8	12	96	1	9,2	0,121
Сварочная машина дуговой сварки	17,7	38,46	192,32	АПВ	4x16	55	АЕ2046М	63	40	12	480	6	1,16	0,095
Сварочный выпрямитель	14	32,76	163,82	АПВ	4x16	55	АЕ2046М	63	40	12	480	6	1,16	0,095
Насос подачи воды	6	26,08	130,38	АПВ	4x8	32	АЕ2046М	63	31,5	12	378	6	2,3	0,1

Таким образом, была выбрана защитная аппаратура и кабели для электроснабжения электрооборудования предприятия. Необходимо провести расчет токов короткого замыкания для проверки правильности выбранного электрооборудования. Расчет будет проведен в следующей главе.

2.3 Расчет токов короткого замыкания

Подбор высоковольтного кабеля для соединения главного распределительного пункта (ГРП) с трансформаторной подстанцией (ТП) завода по производству осветительного оборудования — ответственный этап, требующий комплексного подхода. Необходимо учесть не только рабочие параметры, но и поведение кабеля в аварийных режимах, а также экономическую целесообразность выбора.

Основными критериями выбора высоковольтного кабеля являются:

Экономическая эффективность. Сечение кабеля должно быть оптимальным с точки зрения минимизации затрат на материалы и потери электроэнергии. Для этого используется понятие экономической плотности тока.

Термическая устойчивость. Кабель должен выдерживать воздействие токов короткого замыкания (КЗ) без повреждения изоляции и обеспечивать надежную работу системы в аварийных режимах.

Нагрев в рабочих режимах. Сечение кабеля должно быть достаточным для обеспечения допустимого нагрева при длительной работе с номинальной нагрузкой. [5]

«Экономически целесообразное сечение $F_{\text{э}}$ кабеля определен исходя из максимального расчетного тока нормального режима I_p и экономической плотности тока $j_{\text{эк}}$:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (17)$$

где I_p – максимальный расчетный ток нормального режима, А;
 $j_{\text{эк}}$ – значение экономической плотности тока, А/мм², определяемое по таблице 1.3.36» [21] или табл. П8.7 [9].

Термическая устойчивость кабеля к токам КЗ проверяется расчетом термически стойкого сечения (F_t):

$$F_t = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_{\text{пр}}}}{C} \quad (18)$$

«где I_{∞} – ток короткого замыкания в установившемся режиме (для источника безграничной мощности – начальное действующее значение тока короткого замыкания), кА,
 $t_{\text{пр}}$ – приведенное время короткого замыкания;
 C – тепловая функция, зависящая от типа кабеля и напряжения питания, табл. 12. и 2.72» [9].

«Экономическая плотность тока для кабелей с бумажной изоляцией при $T_M=4000$ часов 1,4 А/мм².

Расчетный ток, протекающий по проводнику в нормальном режиме» [11]

$$I_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{нкб}})^2}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{\sqrt{632,22^2 + (445,4 - 320)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 37,3 \text{ А},$$

«где P_p , Q_p – расчетные активная и реактивная мощность цеха;
 $Q_{\text{нкб}}$ – реактивная мощность выбранной низковольтной стандартной батареи;
 U_n – номинальное напряжение высоковольтной питающей сети.» [11]

«Экономическое сечение:

$$F_9 = \frac{37,3}{1,4} = 24,2 \text{ мм}^2.$$

Полученное сечение, согласно стандартной шкале, округляем до ближайшего 25 мм², длительно допустимый ток по табл. П8.5 –75А [21].

$$I_{тр.мах} = \frac{K_{д.п.} \cdot S_{н.тр}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{1,2 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 66,06 \text{ А} < 75 \text{ А}.$$

В данном проекте, руководствуясь рекомендациями [11] и результатами расчетов, выбран кабель марки ААБЛ. Для определения термически стойкого сечения рассчитывается ток короткого замыкания в начале кабельной линии, точка К1, рисунок 3» [9]

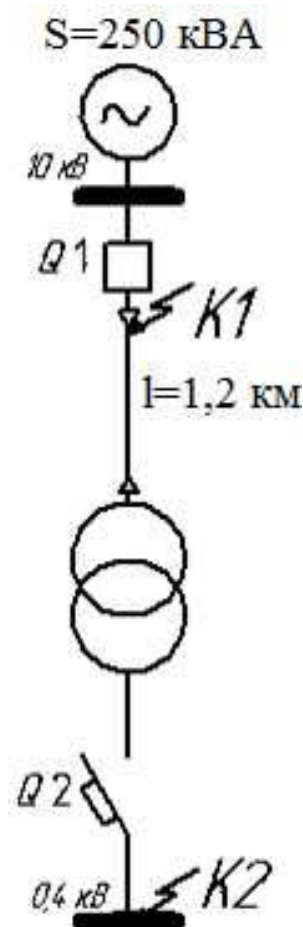


Рисунок 3 – Схема замещения

$$I_{K1} = \frac{S_{\kappa}}{\sqrt{3}U_{cp}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 13,8 \text{ кА},$$

«где U_{cp} – среднее напряжение ступени КЗ, по ПУЭ принимается на 5 % больше номинального напряжения сети.» [14]

Для исходного примера определен ток короткого замыкания в точке К2. Схема замещения, представлена на рисунке 4.» [19]

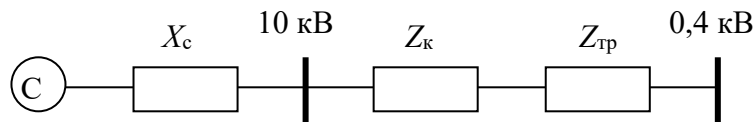


Рисунок 4 - Схема замещения

«Расчет тока КЗ ведется в именованных единицах.

Сопротивление системы, приведенное к ВН 10 кВ, определено по формуле:

$$X_c = \frac{U_{cp}^2}{S_{\kappa}} = \frac{10,5^2}{250} = 0,44 \text{ Ом}.$$

Сопротивления высоковольтного кабеля:

$$R_{\kappa} = r_0 l / n = 0,37 \cdot 1,2 = 0,44 \text{ Ом}$$

$$X_{\kappa} = X_0 l / n = 0,09 \cdot 1,2 = 0,11 \text{ Ом}$$

где n – количество параллельно проложенных кабелей,
 l – длина питающего кабеля, км.

Сопротивления трансформатора, приведенные к напряжению 10 кВ:

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa 3} U_{cp}^2}{S_{н. mp}^2} = \frac{10800 \cdot 10,5^2}{630^2} = 1,19 \text{ Ом};$$

$$Z_{mp} = \frac{U_{кз} \% U_{cp}^2}{100 S_{н. mp}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 630} = 6,06 \text{ Ом};$$

$$X_{mp} = \sqrt{Z_{mp}^2 - R_{mp}^2} = \sqrt{6,06^2 - 1,19} = 5,94 \text{ Ом};$$

где U_{cp} – среднее напряжение ступени короткого замыкания.

Суммарные сопротивления до точки К2:

$$R_{к2} = R_k + R_{тр} = 0,44 + 1,19 = 1,72 \text{ Ом};$$

$$X_{к2} = X_c + X_k + X_{тр} = 0,44 + 0,11 + 5,94 = 6,48 \text{ Ом}.$$

Ток трехфазного КЗ при повреждении за трансформатором, приведенное к ВН» [9]

$$I_{к2 \max}^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} Z_{к2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} * \sqrt{1,72^2 + 6,48^2}} = 0,9 \text{ кА}$$

Был проведен расчет токов КЗ, который будет основным для дальнейшего расчета защитного оборудования.

2.4 Разработка релейной защиты

Для электродвигателей напряжением до 1000 В должна предусматриваться защита от многофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью и от однофазных замыканий. В случаях, где возможна перегрузка механизма, устанавливается защита от токов перегрузки и защита минимального напряжения.

«Защита от междуфазных КЗ возможна установкой плавких предохранителей или расцепителями автоматических выключателей. Вторая более предпочтительна. Расцепители позволяют выполнить все виды защиты – от коротких замыканий, перегрузки, снижения напряжения.» [9]

«В первом случае необходимо произвести выбор предохранителя, плавких вставок к ним и проверить их по отключающей способности и по кратности тока короткого замыкания (отношение минимального тока КЗ к номинальному току плавкой вставки). Кратность тока должна быть не менее трех при однофазном КЗ в наиболее удаленной точке защищаемого участка.

Номинальный ток двигателя рассчитывается по формуле:» [10]

$$I_{НОМ.ДВ} = \frac{P_{НОМ.ДВ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \phi_H \cdot \eta} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 10^3 \cdot 0,87 \cdot 0,77} = 2,02 \text{ А}$$

где $P_{НОМ.ДВ} = 7,5 \text{ кВА}$ – номинальная мощность двигателя;

$U_{НОМ}$ – номинальное напряжение двигателя, В.

«По номинальному току двигателя определяется марка и сечение питающего кабеля по условию:

$$I_{ДОП} \geq I_{Д.НОМ}$$

Выбираем кабель с алюминиевой жилой сечением $2,5 \text{ мм}^2$. $I_{ДОП} = 16 \text{ А}$.

$$16 \geq 2,02 \text{ А}.$$

Сечение нулевого провода выбирается на две ступени ниже по шкале стандартных сечений кабелей. Т.е. выбираем провод с алюминиевой жилой сечением $2,5 \text{ мм}^2$.» [16]

«Номинальный ток плавкой вставки выбирается по наибольшему из двух токов:

$$I_{ВС.НОМ} = k_{ОТС} I_{Д.НОМ} = 1,2 * 2,02 = 2,42 \text{ А};$$

$$I_{\text{вс.ном}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{k_{\text{пер}}} = \frac{2,42 * 5,5}{2,5} = 4,44 \text{ А}$$

где $k_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

$k_{\text{пер}} = 2,5$ – коэффициент перегрузки двигателя.

Принимается плавкая вставка на номинальный ток 6А.

Определяется ток однофазного короткого замыкания на выводах электродвигателя.» [15]

«Активное сопротивление прямой последовательности фазных проводов от трансформатора Т4 до двигателя:

$$R_{1.\text{фп}} = r_{\text{уд}} \cdot L_{\text{каб}} = 5,26 \cdot 0,015 = 0,0789 \text{ Ом.}$$

Сопротивление прямой последовательности нулевого провода:

$$R_{1.\text{нп}} = r_{\text{уд}} \cdot L_{\text{каб}} = 12,6 \cdot 0,015 = 0,189 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление нулевой последовательности проводов:

$$R_{0\text{п}} = R_{1.\text{фп}} + 3 \cdot R_{1.\text{нп}} = 0,0789 + 3 \cdot 0,189 = 0,646 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление прямой последовательности:

$$X_{1.\text{п}} = x_{\text{уд}} \cdot L_{\text{каб}} = 0,09 \cdot 0,015 = 0,0014 \text{ Ом.} \gg [11]$$

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности:

$$X_{0.\text{п}} = 4 \cdot X_{1.\text{п}} = 4 \cdot 0,0014 = 0,0054 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление прямой последовательности трансформатора:

$$R_{1T} = \left(\frac{\Delta P_K}{S_{T.\text{НОМ}}} \right) \left(\frac{U_{\text{ср.НОМ}}^2}{S_{T.\text{НОМ}}} \right) = \left(\frac{12,2}{1000} \right) \left(\frac{6^2}{1000} \right) = 0,00048 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление нулевой последовательности трансформатора:

$$R_{0T} = 7 \cdot R_{1T} = 7 \cdot 0,00048 = 0,0034 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление прямой последовательности трансформатора:

$$\begin{aligned} X_{1T} &= \sqrt{\left[\left(\frac{U_K \%}{100} \right) \left(\frac{U_{\text{ср.НОМ}}^2}{S_{T.\text{НОМ}}} \right) \right]^2 - R_{1T}^2} = \\ &= \sqrt{\left[\left(\frac{5,5}{100} \right) \left(\frac{6^2}{1000} \right) \right]^2 - 0,00048^2} = 0,00218 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности трансформатора:

$$X_{0T} = 7 \cdot X_{1T} = 7 \cdot 0,00218 = 0,01528 \text{ Ом.}$$

Результирующее активное сопротивление контура при однофазном КЗ на выводах электродвигателя:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= 2 \cdot (R_{1\phi} + R_{1T}) + R_{0\pi} + R_{0T} = \\ &= 2 \cdot (0,0789 + 0,00048) + 0,6459 + 0,0034 = 0,808 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Результирующее индуктивное сопротивление контура:

$$X_{\Sigma} = 2 \cdot (X_{1\pi} + X_{1T}) + X_{0\pi} + X_{0T} =$$

$$2 \cdot (0,0014 + 0,00218) + 0,0054 + 0,01528 = 0,028 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление контура при однофазном КЗ на выводах электродвигателя:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2} = \sqrt{0,028^2 + 0,808^2} = 0,81 \text{ Ом.}$$

«Ток однофазного КЗ:

$$I_{\text{КВД}}^1 = \frac{3U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3}Z_{\Sigma}} = \frac{3 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,81} = 856,88 \text{ А}$$

Проверяется предохранитель и плавкая вставка по кратности минимального тока короткого замыкания:

$$K = \frac{I_{\text{КВД}}^1}{I_{\text{вс.ном}}} = \frac{856,88}{20} = 42,84 \geq 3$$

Защитой от КЗ является также токовая отсечка. Выбираем реле РТ-40. Ток срабатывания токовой отсечки выбирается по условию:

$$I_{\text{сз}} = K_{\text{отс}} I_{\text{пуск}} = K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{д.ном}} = 1,5 \cdot 5,5 \cdot 16 = 123,2$$

где $K_{\text{отс}} = 1,4$ для реле РТ-40.» [18]

«Защита от перегрузки. Если электродвигатель подключается в сеть через автоматический выключатель с тепловым или комбинированным расцепителем, то тепловой расцепитель используют для выполнения защиты от перегрузки.» [19] Защита обеспечивается, если номинальный ток расцепителя равен номинальному току электродвигателя:

$$I_{РЦном} = I_{Д.ном} = 2,02 \text{ А.}$$

«Выдержка времени тепловых расцепителей в условиях эксплуатации не регулируется и составляет 8–10 с в зависимости от значений $I_{РЦном}$. Такая выдержка времени позволяет отстроить защиту от нормальных пусков и самозапусков электродвигателя.» [10].

Выводы по 2 разделу

Для завода по производству осветительного оборудования выбрана радиальная схема электроснабжения по принципу "блок трансформатор - магистраль" с использованием шинпровода типа ШМА и ШРА. Проведен тщательный анализ и выбор высоковольтного кабеля и ячеек РП ГПП для обеспечения надежного и безопасного электроснабжения завода по производству осветительного оборудования.

3 Обеспечение надежности и безопасности хозяйства

3.1 Охрана труда

Для устройства на указанную должность необходимо достижение возраста совершеннолетия, успешное прохождение медицинского осмотра и отсутствие медицинских противопоказаний для выполнения трудовых обязанностей. При разработке схемы электроснабжения цеха важно соблюдать нормы и правила устройства электроустановок (ПУЭ). «Для цеха, который относится к категории нормальных помещений (ПУЭ 1.1.6), ключевым является правильный выбор количества трансформаторов, расположение КТП, компенсирующих устройств, проводов и кабелей, а также защитной аппаратуры. Следует отметить, что помещение с потенциальным риском электрического поражения должно быть классифицировано как помещение с повышенной опасностью согласно ПУЭ 1.1.13.» [10]

Для обеспечения стабильного электроснабжения необходимо установить комплексную трансформаторную подстанцию с двумя трансформаторами. Важно правильно выбрать мощность и количество понижающих трансформаторов, а также подобрать компенсирующие устройства. Помещение, где будет размещена КТП, должно соответствовать требованиям ПУЭ 4.2.9. Каждый трансформатор должен иметь маслоприемник в соответствии с ПУЭ 4.2.116. Потребители второй категории надежности должны получать электроэнергию от двух независимых источников питания, резервирующих друг друга, в соответствии с ПУЭ 1.2.20.

Безопасность персонала является приоритетом при проектировании системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования. Поэтому все решения, касающиеся выбора оборудования, схемы сети и способов прокладки кабелей, принимались с учетом требований охраны труда и действующих нормативов.

Для снижения нагрузки на сеть и повышения качества электроэнергии была выбрана конденсаторная батарея соответствующей мощности. Технико-экономический анализ показал, что «установка батареи на стороне низкого напряжения (0.4 кВ) является наиболее выгодным решением, что соответствует рекомендациям ПУЭ (п. 1.2.24). Батарея подключена к шкафу ввода низкого напряжения КТП.» [15]

«С учетом равномерного распределения электроприемников в цехе, была выбрана магистральная схема распределительной сети. Электроэнергия подается через магистральный шинопровод, проложенный вдоль нижнего пояса фермы поперек пролетов. От магистрального шинопровода питание распределяется к электроприемникам через распределительные шинопроводы, установленные вдоль пролетов.» [7] Для повышения безопасности применена радиальная схема подключения электроприемников.

В цехе используется трехфазная система электроснабжения 380/220 В с глухозаземленной нейтралью (система TN-C-S). Электропитание подается от распределительных силовых пунктов. Мостовые краны подключены к троллейному шинопроводу. «Для обеспечения безопасности необходимо регулярно проверять шинопроводы на соответствие току нагрузки и ударному току короткого замыкания. Для правильной идентификации фаз применяется цветовая маркировка шинопроводов: фаза А – желтый, фаза В – зеленый, фаза С – красный. Шинопроводы крепятся на специальных стойках на высоте 1.5 метра или на фермах здания.» [17]

Цветовая маркировка проводников также играет важную роль в обеспечении безопасности. Нулевой рабочий проводник обозначается голубым цветом, а фазные проводники – желтым, зеленым и красным. При прокладке кабеля АВВГ с алюминиевыми жилами и ПВХ изоляцией необходимо правильно выбрать сечение проводников для ответвлений к электрощитам и устройствам защиты.

Для повышения безопасности электрических сетей до 1 кВ рекомендуется использовать кабель с алюминиевой жилой и ПВХ изоляцией,

проложенный в металлическом рукаве в соответствии с ПУЭ. Сечение проводников выбирается с учетом длительного расчетного тока и нагрева. При этом экономическая плотность тока не является определяющим критерием.

«Прокладка высоковольтного кабеля с бумажной изоляцией (например, АСБ) требует соблюдения особых мер безопасности. Кабель должен быть проложен в траншее на глубине не менее 0.7 метра с подсыпкой и засыпкой из мелкой земли без камней и строительного мусора. Выбор сечения высоковольтного кабеля основан на расчетном токе в нормальном режиме и при перегрузке трансформатора на 40%, а также на экономической плотности тока и нагреве при коротком замыкании. Для защиты от механических повреждений кабель дополнительно защищается плитами или кирпичами, уложенными поперек трассы. В помещениях высоковольтный кабель прокладывается в трубах.» [14]

В сети 10 кВ применена изолированная нейтраль для повышения безопасности. Предусмотрен автоматический контроль изоляции, который срабатывает при снижении сопротивления изоляции ниже допустимого уровня.

Для создания безопасных и комфортных условий труда важную роль играет правильно спроектированное освещение. Расчет освещения выполнен в соответствии с разделом 14 ПУЭ. Для контроля качества электроэнергии проводится проверка асимметрии напряжения. Допустимое отклонение напряжения составляет $\pm 5\%$ в соответствии с ГОСТ 13109-97.

В помещении, где работают люди, освещение однородное и равномерное благодаря использованию ламп ДРЛ. Для аварийного случая применяются лампы накаливания. Флуоресцентные лампы используются для освещения вспомогательных помещений в соответствии с требованиями Правил устройства электросетей. Система освещения работает надежно благодаря использованию фазного напряжения 220 В для питания электрических цепей. Для тушения пожаров используются разнообразные огнетушители, а также асбестовые и грубые полотна, песок. Все эти меры

направлены на обеспечение безопасности трудовых условий и предотвращение возгораний.

Использование разнообразных огнетушителей необходимо для тушения возгораний различных горючих материалов. Существуют пенные, аэрозольные и углекислотно-бромэтиловые огнетушители, которые действенны в борьбе с начинающимися пожарами. Однако, следует учитывать, что существуют риски взаимодействия химических веществ с огнетушителями, что может привести к усилению огня или угрозе взрыва. Нельзя забывать, что пенные огнетушители не рекомендуется использовать для тушения электрооборудования под напряжением, в то время как углекислотные огнетушители эффективны против большинства горючих веществ, за исключением определенных металлов и веществ, которые могут гореть без доступа кислорода. [6]

3.2 Молниезащита объекта

Система молниезащиты завода по производству осветительного оборудования, в общем случае, состоит из трех основных элементов: молниеприемников, токоотводов и заземлителей. Молниеприемники предназначены для непосредственного перехвата разряда молнии и предотвращения его попадания в защищаемый объект. Токоотводы обеспечивают безопасный отвод тока молнии от молниеприемника к заземлителю. Заземлитель, в свою очередь, рассеивает ток молнии в земле, предотвращая возникновение опасных напряжений на металлических конструкциях.

Учитывая размеры цехов завода (60м × 120м) и железобетонный каркас, наиболее целесообразным представляется использование комбинированной системы молниезащиты, сочетающей в себе стержневые и сетчатые элементы. По периметру крыши цехов завода устанавливается молниеприемная сетка с ячейкой не более 12м × 12м, выполненная из стального оцинкованного

проводника диаметром не менее 8 мм. Дополнительно, на коньках крыши (если таковые имеются) и на самых высоких точках (например, на вентиляционных шахтах) устанавливаются стержневые молниеприемники высотой 1-2 метра.

Токоотводы выполняются из того же материала, что и молниеприемники, и соединяют молниеприемную сетку и стержневые молниеприемники с заземлителем. Токоотводы прокладываются по кратчайшему пути, по возможности, вертикально, с минимальным количеством изгибов. Расстояние между токоотводами по периметру цехов завода должно быть не более 25 метров для зданий III категории молниезащиты. В качестве токоотводов могут использоваться элементы металлоконструкций цехов завода, при условии обеспечения надежного электрического контакта между ними.

Заземлитель молниезащиты выполнен в виде контура, проложенного в земле по периметру цехов завода. Контур заземления выполнен из стальной полосы сечением не менее 40х4 мм или круглого стального проводника диаметром не менее 10 мм. Глубина заложения заземлителя должна быть не менее 0,5 метра. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 10 Ом для зданий III категории молниезащиты. Для снижения сопротивления заземления могут применяться дополнительные вертикальные электроды, забиваемые в землю на глубину до 5 метров.

Расчет молниезащиты (пример для стержневого молниеприемника):

Определение зоны защиты одиночного стержневого молниеприемника:

Формулы (согласно СО 153-34.21.122-2003):

$$h_0 = 0.85 \cdot h, \quad (19)$$

$$r_0 = 1.1 \cdot h, \quad (20)$$

$$r_x = 1.1 \cdot (h - h_x/0.85), \quad (21)$$

где h - высота молниеприемника, м;

h_0 - высота конуса защиты, м;

r_0 - радиус конуса защиты на уровне земли, м;

r_x - радиус зоны защиты на высоте h_x , м;

h_x - высота защищаемого объекта, м.

Пример расчета для $h = 2$ м, $h_x = 8$ м:

$$h_0 = 0.85 \cdot 2 \text{ м} = 1.7 \text{ м}.$$

Поскольку $h_0 < h_x$, одиночный стержневой молниеприемник высотой 2 м не обеспечивает защиту всей высоты цехов завода 8 м. Требуется установка дополнительных молниеприемников или использование молниеприемной сетки. Результаты расчетов представлены в таблице 11.

Таблица 9 - Результаты расчета молниезащиты

Параметр	Значение
Тип молниезащиты	Комбинированная (сетка + стержни)
Высота стержневых молниеприемников, м	1-2
Зона защиты одиночного стержня ($h=2$ м)	Недостаточна для всей высоты
Шаг ячейки молниеприемной сетки, м	$\leq 12 \times 12$
Материал молниеприемников и токоотводов	Сталь оцинкованная ($d \geq 8$ мм)
Материал заземлителя	Сталь оцинкованная (полоса 40х4 мм)
Сопротивление заземляющего устройства, Ом	≤ 10
Расстояние между токоотводами, м	≤ 25

Выводы по 3 разделу:

Разработка системы молниезащиты завода по производству осветительного оборудования направлена на предотвращение пожаров, повреждений оборудования и поражения электрическим током персонала и растений в результате ударов молнии.

Заключение

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены и проанализированы различные аспекты разработки системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования. Были рассмотрены основные этапы проектирования, начиная от выбора оптимальной системы электроснабжения и заканчивая анализом эффективности разработанной системы.

Для этого были рассмотрены следующие вопросы:

- рассчитано электрическое освещение;
- рассчитаны электрические нагрузки;
- выбран трансформатор подстанции цеха;
- рассчитаны токи короткого замыкания в высоковольтных цепях;
- рассчитаны токи короткого замыкания в низковольтных цепях;
- выбрано электрооборудование для электроустановок высокого напряжения;
- выбрано электрооборудование и проводники для электрических сетей низкого напряжения;
- рассчитана релейная защита высоковольтных и низковольтных цепей.

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы были успешно решены все поставленные задачи, что позволило спроектировать функциональную и надежную систему электроснабжения.

На основе детального анализа электропотребления завода была определена расчетная мощность $P_p = 634,22$ кВт, реактивная мощность $Q_p = 445,4$ кВАр, полная мощность $S_p = 775$ кВА и расчетный ток $I_p = 1177,48$ А. Эти ключевые параметры легли в основу выбора основного силового оборудования.

Для предприятия выбрана радиальная схема электроснабжения по принципу "блок трансформатор - магистраль", обеспечивающая простоту

эксплуатации, достаточный уровень надежности и экономическую целесообразность. Данная схема предполагает питание электроприемников от магистрального шинпровода (ШМА), проложенного вдоль цеха, с последующим распределением через распределительные шинпроводы (ШРА) к отдельным группам потребителей.

В целях оптимизации энергопотребления и обеспечения стабильности напряжения осуществлен выбор силового трансформатора ТМГ 1000/10/0,4 и конденсаторной установки КРМ 0,4-320. Конденсаторная установка номинальной мощностью 320 кВАр с 13 ступенями регулирования по 25 кВАр обеспечит автоматическую компенсацию реактивной мощности на уровне напряжения 0,4 кВ. Выбранное оборудование соответствует категории размещения У3, что допускает его эксплуатацию в помещениях без искусственно регулируемых климатических условий.

Для организации распределения электроэнергии выбраны конкретные типы шинпроводов: для ШР1 – ШРА-1-630 (тип KLM-R-07-Cu 55-4-1) с динамической стойкостью $i_{дин} = 93$ кА, для ШР2 – ШРА-2-250 (тип KLM-R-04-Cu 55-4-1) с динамической стойкостью $i_{дин} = 41$ кА. Для распределительного пункта СП-1, с номинальным рабочим током, выбран шкаф серии ПР8804-1106 ($I_N = 63$ А), обеспечивающий подключение до 8 трехфазных электроприемников и подключаемый к ШРА-3-250 кабелем АВВГ 3х25+1х16 ($I_{ДД} = 87$ А).

Таким образом, в работе произведен обоснованный выбор защитной аппаратуры и кабельной продукции для электроснабжения оборудования предприятия. Последующий расчет токов короткого замыкания подтвердит корректность выбора электрооборудования по условиям термической и динамической стойкости.

Все поставленные в работе задачи были решены в полном объеме, что свидетельствует о достижении цели выпускной квалификационной работы.

Список используемых источников

1. Александров А. А., Некрасов В. М. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 252 с. – ISBN 978-5-8114-6848-6.
2. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учебное пособие. – 12-е изд., стер. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 255 с. – ISBN 978-5-16-017407-1.
3. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник. – 6-е изд., стер. – Москва: Высшая школа, 2009. – 639 с. – ISBN 978-5-06-005320-3.
4. Буторин В. А. Электрические нагрузки и электропотребление промышленных предприятий: учебное пособие. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 240 с. – ISBN 978-5-16-015840-8.
5. Веников В. А., Глазунов А. А., Жуков Л. А. Электрические системы. Т. 1. Электрические сети: учебник. – Москва: Высш. шк., 1998. – 511 с. – ISBN 5-06-003485-8.
6. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление: дата введения 1982-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 27 с.
7. ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия: дата введения 2014-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 75 с.
8. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: дата введения 2014-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
9. ГОСТ ИЕС 60909-3-2016. Короткие замыкания в электроустановках переменного тока. Часть 3. Расчет токов двухфазного короткого замыкания на землю в трехфазных сетях переменного тока и

однофазного короткого замыкания на землю в трехфазных и однофазных сетях: дата введения 2017-10-01. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 56 с.

10. ГОСТ Р 50571. Электроустановки низковольтные: комплекс стандартов. – Введ. в действие с разл. дат. – Москва: Стандартинформ.

11. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия: дата введения 2008-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 81 с.

12. ГОСТ Р 58622-2019. Трансформаторы силовые. Руководство по эксплуатации: дата введения 2020-06-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 74 с.

13. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – Москва: ЭНАС, 2009. – 456 с. – ISBN 978-5-93196-945-8.

14. Зюзев А. М. Системы электроснабжения: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 344 с. – ISBN 978-5-507-46195-0.

15. Карантиров В. И. Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения: учебник. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 372 с. – ISBN 978-5-8114-9035-7.

16. Киреева Э. А., Аракелян В. Д. Электроснабжение объектов: учебник. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 304 с. – ISBN 978-5-16-014280-3.

17. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: учебник. – 10-е изд., стер. – Москва: Академия, 2014. – 320 с. – ISBN 978-5-4468-0670-5.

18. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 398 с. – ISBN 978-5-16-016607-6.

19. Макаров Е. Ф. Расчет и проектирование систем электроснабжения: учебное пособие. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2021. – 287 с. – ISBN 978-5-00091-734-7, ISBN 978-5-16-016610-6.

20. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и

дипломного проектирования: учебное пособие. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 664 с. – ISBN 978-5-8114-7607-8.

21. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – Москва: [б. и.], 2003–2023. – (Актуальная редакция глав по состоянию на 01.01.2024).

22. Рожкова Л. Д., Карнеева Л. К., Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник. – 8-е изд., стер. – Москва: Академия, 2013. – 448 с. – ISBN 978-5-7695-9709-9.

23. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа: дата введения 2017-06-25: утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 29 августа 2016 г. № 602/пр с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5. – Текст: электронный // КонсультантПлюс: справочно-правовая система (дата обращения: 02.05.2025).

24. Ушаков В. Я. Режимы энергосистем: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 248 с.

25. Федоров А. А., Каменева В. В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.