

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 Разработка системы освещения заводоуправления завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области

Обучающийся

А. Н. Буката

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа включает в себя 52 листа текста, 7 рисунков, 11 таблиц и графической части на 6 листах формата А1, списка используемой литературы из 25 наименований.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения качества освещения на промышленных объектах, что напрямую влияет на производительность труда и снижение эксплуатационных затрат. Разработанная система освещения позволит заводу соответствовать современным стандартам, оптимизировать использование электроэнергии и создать благоприятные условия для работы персонала.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование системы освещения для завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области, которая обеспечит требуемый уровень освещенности, надежность эксплуатации и экономическую эффективность.

На основании поставленной цели следует выделить основные задачи ВКР:

- привести общие сведения об объекте проектирования;
- выбрать светильники завода;
- провести светотехнический расчет;
- выбрать кабели системы освещения завода;
- рассчитать токи КЗ;
- выбрать щитовое оборудование завода.

Содержание

Введение.....	4
1 Общие сведения об объекте проектирования	6
2 Выбор светильников	9
3 Светотехнический расчет.....	15
3.1 Светотехнический расчёт рабочего освещения	15
3.2 Расчёт аварийного освещения	23
4 Выбор кабелей	28
5 Расчет токов КЗ	36
6 Выбор щитового оборудования.....	42
Заключение	48
Список используемых источников.....	50

Введение

Система освещения промышленного предприятия является неотъемлемой частью его инфраструктуры, обеспечивающей безопасность труда, эффективность производственных процессов и комфортные условия для персонала. Завод по производству силикатного кирпича в Волгоградской области, специализирующийся на выпуске строительных материалов, таких как рядовой и облицовочный кирпич, требует тщательно спроектированной системы освещения, учитывающей специфику технологических операций, условия эксплуатации и требования нормативных документов. В условиях повышенной запыленности, переменной влажности и необходимости визуального контроля качества продукции разработка оптимального решения по освещению приобретает особую актуальность.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения качества освещения на промышленных объектах, что напрямую влияет на производительность труда и снижение эксплуатационных затрат. Разработанная система освещения позволит заводу соответствовать современным стандартам, оптимизировать использование электроэнергии и создать благоприятные условия для работы персонала.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование системы освещения для завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области, которая обеспечит требуемый уровень освещенности, надежность эксплуатации и экономическую эффективность.

На основании поставленной цели следует выделить основные задачи ВКР:

- привести общие сведения об объекте проектирования;
- выбрать светильники завода;
- провести светотехнический расчет;
- выбрать кабели системы освещения завода;
- рассчитать токи КЗ;

– выбрать щитовое оборудование завода.

В ходе исследования будут использованы методы анализа и моделирования, что позволит получить объективные и обоснованные рекомендации для улучшения системы электроснабжения предприятия.

Результаты исследования могут быть применены при проектировании или модернизации осветительных систем аналогичных предприятий, а также послужить основой для дальнейших разработок в области светотехники и энергетики.

Нормы освещения для промышленных предприятий, включая заводы по производству силикатного кирпича, устанавливаются на основе требований нормативных документов, таких как СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23–05–95), ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий» [9] и Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Эти документы определяют минимальные уровни освещенности, параметры качества света и требования к системам освещения в зависимости от характера выполняемых работ, условий эксплуатации и категории помещений. Соблюдение норм необходимо для обеспечения безопасности труда, повышения производительности и предотвращения профессиональных заболеваний, связанных с переутомлением зрения.

1 Общие сведения об объекте проектирования

Завод по производству силикатного кирпича, расположенный в Волгоградской области, представляет собой современное промышленное предприятие, специализирующееся на выпуске высококачественных строительных материалов. Основной продукцией завода является силикатный кирпич — как рядовой, так и облицовочный, который широко применяется в жилищном и промышленном строительстве благодаря своей прочности, экологичности и доступной стоимости. Предприятие находится в одном из ключевых промышленных районов региона, что обеспечивает удобную логистику и доступ к сырьевым ресурсам.

Производственные мощности завода позволяют выпускать значительные объемы продукции — до 15–20 миллионов штук кирпича ежегодно, в зависимости от специфики оборудования и спроса. В качестве сырья используются местные природные материалы: песок, добываемый в близлежащих карьерах, и известь, получаемая из собственных месторождений мела. Процесс производства основан на классической технологии автоклавного твердения, которая сочетается с применением современного оборудования, включая немецкие прессы и автоматизированные линии. Это обеспечивает высокую точность геометрии изделий, прочность (марки М150–М200) и морозостойкость (F35–F50).

Завод ориентирован на выпуск разнообразной продукции: полнотелого и пустотелого кирпича, белого и окрашенного (например, желтого или серого) с использованием стойких пигментов. Ассортимент дополняют силикатные блоки и пазогребневые плиты, что позволяет удовлетворять потребности различных строительных объектов — от многоэтажных зданий до частных домов. Продукция соответствует требованиям ГОСТ 379–2015, что подтверждается регулярным контролем качества на всех этапах производства.

Инфраструктура предприятия включает основное производство, складские помещения, а также собственный автопарк для оперативной

доставки продукции по Волгоградской области и соседним регионам. Завод активно сотрудничает как с крупными строительными компаниями, так и с частными заказчиками, предлагая гибкую ценовую политику и систему скидок на оптовые поставки. Экологичность производства достигается за счет отсутствия вредных добавок и минимального воздействия на окружающую среду.

Завод по производству силикатного кирпича в Волгоградской области является важным звеном в экономике региона, обеспечивая рабочие места и поддерживая строительный сектор качественными материалами отечественного производства.

«Характеристики условий среды и категорий надежности питания по отделениям сведены в таблицу 1. Категория отделений предприятия по надежности электроснабжения определяется согласно ПУЭ и представлены в таблице 1» [15].

Таблица 1 – Характеристика условий среды и надежности питания отделений

Наименование отделения	Категория производственной среды	Категория надёжности
Основное производство	нормальная, пыльная	III
КТП	нормальная, П–IIa	III
Склад инструментов	нормальная	III
Склад сырья	пыльная	III
Склад готовой продукции	нормальная	III
Туалет	нормальная	III
Раздевалка	нормальная	III
Тамбур	нормальная	III

План завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области приведён на рисунке 1.

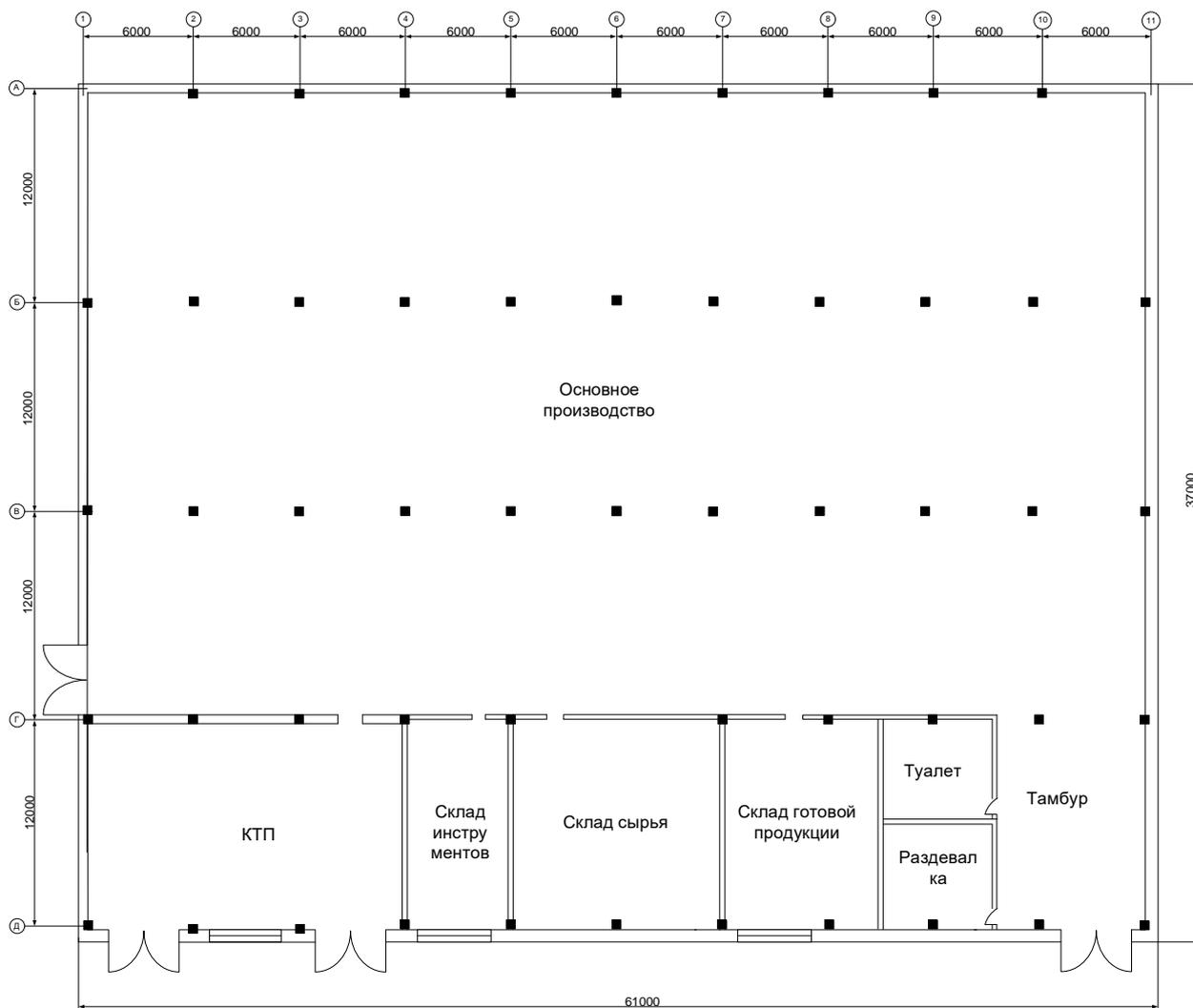


Рисунок 1 – План завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области

Естественная инсоляция завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области «при расчете освещения не учитывается, так как завод работает в две смены и в утреннее и вечернее время естественное освещение отсутствует и требуемый уровень освещенности в помещениях завода должен быть достигнут только за счет искусственного освещения» [1].

Выводы по разделу 1.

В первом разделе ВКР приведены общие сведения об объекте проектирования, характеристика условий среды и надежности питания отделений, план завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области.

2 Выбор светильников

При проектировании системы освещения для завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области, специализирующегося на выпуске строительных материалов, выбор осветительного оборудования осуществлялся с учетом специфики производственных процессов, условий эксплуатации и требований нормативных документов, таких как СП 52.13330.2016 и ПУЭ.

Для рабочего освещения основного производства завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области принято решение об использовании светильников РСП17–400–001 с лампами ДРЛ 400 Вт, характеристики которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики светильников РСП17–400–001

Параметр	Значение
Мощность	400 Вт
Номинальная частота	50 Гц
Напряжение	220±10% В
Световой поток	19000 лм
Цветовая температура	4000 К
Индекс цветопередачи (Ra)	40–50
Климатическое исполнение	У2, УХЛ2
Патрон	E40
Тип ламп	ДРЛ
КПД светильника	80 %
Коэффициент мощности, не менее	0,9
Степень защиты оптического/ППРА отсеков	IP65/65
Тип КСС	Г–1
Габариты	–
Диаметр	470 мм
Высота	525 мм
Масса	8,34 кг

Применение светильников РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт для освещения основного производства завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области можно обосновать с учетом технических,

эксплуатационных и экономических аспектов, а также особенностей производственной среды и климатических условий региона.

Производство силикатного кирпича включает такие процессы, как подготовка сырья (измельчение, смешивание), формовка, прессование и сушка, которые выполняются в цехах с высокими потолками и значительной площадью. Для обеспечения нормативного уровня освещенности необходимы мощные источники света. Лампы ДРЛ 400 Вт (дуговые ртутные лампы мощностью 400 Вт) обладают световым потоком 19000 лм, что позволяет эффективно осветить большие пространства с высотой подвеса 8 м.

Светильники РСП17 разработаны специально для применения с газоразрядными лампами высокого давления, такими как ДРЛ, и обеспечивают равномерное распределение света благодаря конструкции с отражателем, что минимизирует теневые зоны на рабочих поверхностях.

Адаптация к условиям эксплуатации. На заводе по производству силикатного кирпича присутствует пыль (в основном силикатная), повышенная влажность в зонах сушки и возможные перепады температур. Светильники РСП17 имеют степень защиты IP64, что обеспечивает устойчивость к пыли и брызгам воды, соответствуя условиям производственной среды. Лампы ДРЛ-400 Вт устойчивы к вибрациям и перепадам напряжения, что важно для стабильной работы в условиях промышленного объекта.

Климат Волгоградской области характеризуется жарким летом (до +40°C) и холодной зимой (до -30°C), а также значительной запыленностью воздуха из-за степного ландшафта. Светильники РСП17 с лампами ДРЛ рассчитаны на эксплуатацию в климатическом исполнении УХЛ (умеренно-холодный климат), что делает их подходящими для использования как внутри помещений, так и в неотапливаемых зонах завода.

Экономическая целесообразность. Несмотря на развитие светодиодных технологий, светильники РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт остаются экономически выгодным решением для освещения крупных

производственных объектов, особенно на этапе проектирования системы с ограниченным бюджетом. Стоимость ламп ДРЛ-400 Вт и светильников РСП17 ниже, чем у светодиодных аналогов с сопоставимым световым потоком. Срок службы ламп ДРЛ составляет около 12 000–15 000 часов, что приемлемо для производственного объекта с круглосуточным режимом работы при условии планового обслуживания.

Лампы ДРЛ-400 Вт имеют цветовую температуру около 3800–4000 К, что обеспечивает приемлемую цветопередачу ($R_a \approx 40-50$) для производственных задач, где точная передача цветов не является критичной. Белый свет с легким синим оттенком улучшает видимость в запыленной среде, что важно для безопасности и контроля качества на производстве силикатного кирпича.

Применение светильников РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт соответствует требованиям ПУЭ (Правила устройства электроустановок) для освещения производственных помещений. Например, пункт 6.1.16 ПУЭ допускает использование ламп ДРЛ для общего освещения при напряжении не выше 220 В с соответствующей арматурой, что обеспечивается конструкцией РСП17. Также учитываются требования ГОСТ 17677-82 «Светильники общего назначения», где РСП17 классифицируются как промышленные светильники с высокой степенью защиты.

Применение светильников РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт для освещения основного производства завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области обосновано их высокой световой отдачей, адаптацией к условиям эксплуатации, экономической эффективностью и соответствием нормативным требованиям. Это решение обеспечивает надежное и равномерное освещение рабочих зон, способствуя повышению производительности и безопасности труда.

Для рабочего освещения вспомогательных помещений завода обоснованно принято решение об использовании светильников с

люминесцентными лампами типа ЛСП02, которые обладают рядом характеристик, подходящих для данного объекта.

Параметры светильника ЛСП02 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики светильников

Марка светильника	Количество и мощность ламп	Тип ламп	Степень защиты	Световой поток, лм	Габаритные размеры	Тип КСС
ЛСП02	2×40	ЛД40	IP 20	2×2225	1524×205×140	Д-2

Светильники ЛСП02 представляют собой пылевлагозащищенные осветительные приборы, предназначенные для эксплуатации в условиях повышенной запыленности и влажности, что характерно для вспомогательных цехов завода по производству силикатного кирпича. Процессы дробления сырья (песка и извести), смешивания и автоклавной обработки сопровождаются образованием мелкодисперсной пыли, а влажность в зонах хранения сырья может достигать 60–80%. ЛСП02 имеют степень защиты IP65, что обеспечивает надежную работу светильников в таких условиях, предотвращая проникновение пыли и влаги к лампам и электрическим компонентам.

Люминесцентные лампы, используемые в ЛСП02, характеризуются световой отдачей 40–60 лм/Вт, что позволяет создать достаточный уровень освещенности — 200–300 лк для производственных зон и 75–150 лк для складских помещений, соответствующий нормам для работ средней точности. Кроме того, лампы обеспечивают индекс цветопередачи $R_a \geq 80$, что важно для визуального контроля качества кирпича, особенно при сортировке и упаковке готовой продукции. Возможность выбора цветовой температуры способствует комфортным условиям труда и точному восприятию оттенков материала.

Экономический аспект также сыграл важную роль в выборе ЛСП02. По сравнению с лампами накаливания, люминесцентные светильники

потребляют в 2–3 раза меньше электроэнергии при сопоставимом световом потоке, а их срок службы достигает 10 000–12 000 часов, что снижает частоту замены и эксплуатационные расходы. Хотя светодиодные светильники превосходят люминесцентные по энергоэффективности и долговечности, их высокая начальная стоимость может быть неоправданной для завода с ограниченным бюджетом на сооружение системы освещения. ЛСП02, напротив, представляют собой проверенное и доступное решение, широко используемое в промышленности.

Конструкция ЛСП02 включает прочный корпус из поликарбоната или металла и рассеиватель из силикатного стекла, что соответствует требованиям пожарной безопасности для зон класса П–Па (помещения с твердыми горючими веществами, такими как деревянные поддоны или упаковка). Светильники комплектуются электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ПРА), обеспечивающими стабильный запуск ламп в условиях умеренного климата Волгоградской области (температура от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Однако следует отметить, что при температурах ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ эффективность люминесцентных ламп снижается, что требует дополнительных мер (например, утепления помещений или выбора ламп с улучшенным запуском).

Таким образом, выбор светильников ЛСП02 для системы освещения вспомогательных помещений завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области обоснован их пылевлагозащищенностью, достаточной светоотдачей, хорошей цветопередачей, экономичностью и соответствием условиям эксплуатации. Это решение обеспечивает надежное освещение производственных процессов, безопасность персонала и рациональное использование ресурсов, что делает его оптимальным для вспомогательных помещений данного предприятия.

Для эвакуационного электроосвещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области используются осветительные

приборы ЛСП06 с люминесцентными лампами, осветительные приборы «Выход», параметры которых представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики светильников «Выход»

Марка светильника	Напряжение, В	Количество и мощность ламп, Вт	Тип ламп	Степень защиты	Габаритные размеры, мм
«Выход»	220	1×6	ЛЛМ	IP20	312×150×40

Выводы по разделу 2.

Во втором разделе ВКР выбраны светильников для освещения завода. На основе анализа требований СП 52.13330.2016 и условий среды (пыль, влага) были рассмотрены различные типы светильников.

Применение светильников РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт для освещения основного производства завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области обосновано их высокой световой отдачей, адаптацией к условиям эксплуатации, экономической эффективностью и соответствием нормативным требованиям. Это решение обеспечивает надежное и равномерное освещение рабочих зон, способствуя повышению производительности и безопасности труда.

Обоснован выбор люминесцентных светильников ЛСП02 с IP65 для освещения вспомогательных помещений завода. Они обеспечивают достаточную освещенность, устойчивость к пыли и влаге, а также экономичность (срок службы 10 000–12 000 часов). Сравнение с альтернативами (светодиодные, галогенные) подтвердило целесообразность выбора ЛСП02 с учетом бюджета завода и их доступности.

3 Светотехнический расчет

3.1 Светотехнический расчёт рабочего освещения

Система рабочего освещения на заводе по производству силикатного кирпича в Волгоградской области играет ключевую роль в обеспечении производственной эффективности, безопасности труда и соответствия нормативным требованиям. Основные производственные цеха, где выполняются операции по подготовке сырья, формовке и сушке, требуют мощного и равномерного освещения, тогда как вспомогательные помещения, такие как склады, бытовки и технические зоны, нуждаются в более простых и экономичных решениях. Для реализации этих задач в проекте используются светильники РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт для основного производства и светильники ЛСП02 с люминесцентными лампами для вспомогательных помещений.

Светотехнический расчет рабочего освещения проводится с целью определения необходимого количества светильников, их мощности, оптимального размещения и соответствия уровня освещенности стандартам СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Выбор светильников РСП17 обусловлен их высокой светоотдачей и адаптацией к условиям пыльной и влажной среды цехов, а применение ЛСП02 во вспомогательных зонах обеспечивает энергоэффективность и надежность при меньших требованиях к освещенности [23].

В данном разделе будут представлены исходные данные, методика расчета и результаты, демонстрирующие эффективность предложенной системы освещения для обеспечения комфортных и безопасных условий труда на заводе.

Для всех отделений завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области «светотехнический расчёт производится методом коэффициента использования светового потока. Этот метод можно применять

для расчета общего равномерного электроосвещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов.

В качестве примера рассматривается расчет электроосвещения для основного производства заводе по производству силикатного кирпича в Волгоградской области» [1].

В помещении с нормальными условиями среды, с разрядом зрительных работ IV, с размерами 60 м × 36 м × 8 м требуется получить освещенность $E_H = 200$ лк [16].

«Расчетную высоту можно определить по формуле:

$$h_{расч.} = H - h_c - h_p, \quad (1)$$

где H – высота помещения, м;

h_c – высота свеса осветительного прибора, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м » [1].

$$h_{расч.} = 8 - 0,8 - 0,8 = 6,4 \text{ м.}$$

«Расстояние между осветительными приборами:

$$L_A = \lambda_c \cdot h_{расч.}, \quad (2)$$

где λ_c – относительное расстояние между осветительными приборами,

$\lambda_c = 1,1$, о.е.» [1].

$$L_b = 1,1 \cdot 6,4 = 7,04 \text{ м.}$$

«Число осветительных приборов в ряду (расстояние от крайнего осветительного прибора до стены принимается равным $l_A = 0,3 \cdot L_A$)» [1]:

$$N_A = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L_A} + 1, \quad (3)$$

где A – «длина помещения, м;

B – ширина помещения, м.

$$N_A = \frac{60 - 2 \cdot 0,3 \cdot 7,04}{7,04} + 1 = 8,9.$$

Принимается $N_A = 8$ шт.

Число рядов осветительных приборов [1]:

$$N_B = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L_B} + 1, \quad (4)$$

где l_B – «расстояние от крайнего ряда светильников до стены, м;

L_B – расстояние между соседними светильниками по ширине помещения, м.

Принимается, что осветительные приборы расположены по вершинам квадрата» [1]:

$$L_B = L_A,$$

$$l_B = l_A = 2,1 \text{ м},$$

$$N_B = \frac{36 - 2 \cdot 0,3 \cdot 7,04}{7,04} + 1 = 5,5..$$

«Принимается $N_B = 6$ шт.

В соответствии с принятым значением количества рядов осветительных приборов уточняется величина L_B (при поддержании значения $l_B = 0,3 \cdot L_B$), по выражению» [1]:

$$L_B = \frac{B}{N_B - 0,4}, \quad (5)$$

$$L_B = \frac{36}{6 - 0,4} = 6,43 \text{ м},$$

$$l_B = 0,3 \cdot 6,43 = 1,9 \text{ м}.$$

«При этом должно быть выполнено условие:

$$1 \leq \frac{L_A}{L_B} \leq 1,5, \quad (6)$$

$$1 \leq 1,1 \leq 1,5.$$

Условие выполняется.

Число осветительных приборов в помещении» [1]:

$$N = N_A \cdot N_B, \quad (7)$$

$$N = 8 \cdot 6 = 48 \text{ шт.}$$

Индекс помещения определяется как [1]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{расч.} \cdot (A + B)}, \quad (8)$$

$$i = \frac{60 \cdot 36}{6,4 \cdot (60 + 36)} = 3,5.$$

«Коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_n, \quad (9)$$

где η_n – коэффициент использования помещения, который определяется в зависимости от индекса помещения, от сочетания коэффициентов

отражения поверхностей помещения, от КСС осветительного прибора. Для индекса помещения $i = 3,5$, при коэффициенте отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 0,7$, стен $\rho_{\text{с}} = 0,5$, пола $\rho_{\text{р}} = 0,3$ и КСС типа Г-1 $\eta_{\text{п}} = 102\%$ » [1].

$$\eta = 1,02 \cdot 0,8 = 0,816.$$

Световой поток равен [4]:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (10)$$

где $E_{\text{н}}$ – нормативное значение освещённости [16];

$k_{\text{зап}}$ – «коэффициент запаса, $k_{\text{зап}} = 1,5$;

z – коэффициент, который характеризует неравномерность электроосвещения, $z = 1,2$ о.е.» [4];

F – площадь помещения, м^2 .

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 36 \cdot 1,2}{48 \cdot 0,816} = 19853 \text{ лм.}$$

«Исходя из расчетного значения светового потока следует принять лампу ДРЛ-400 с $\Phi_{\text{ном}} = 19000$ лм» [21].

«Отличие действительного светового потока от расчетного можно определить по выражению» [5]:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\Sigma\text{Д}} - \Phi_{\Sigma\text{р}}}{\Phi_{\Sigma\text{р}}} \cdot 100\%, \quad (11)$$

$$\Delta\Phi = \frac{19000 - 19853}{19853} \cdot 100\% = -4,3\%.$$

«Отличие действительного светового потока от расчетного составляет – 4,3 % что удовлетворяет требования [5] (–10% ... +20 %).

Расчетную активную нагрузку электроосвещения можно определить по формуле:

$$P_p = \kappa_c \cdot P_{уст}, \quad (12)$$

где κ_c – коэффициент спроса осветительной нагрузки,

$P_{уст}$ – установленная мощность светильников, с учетом потерь ПРА, кВт» [2]:

$$P_{уст} = \kappa_{пра} \cdot N \cdot n \cdot 2 \cdot P_{номл}, \quad (13)$$

где $\kappa_{пра}$ – «коэффициент, который учитывает потери мощности в ПРА, для ДРЛ ≤ 400 $\kappa_{пра} = 1,1$;

$P_{номл}$ – номинальная мощность лампы, кВт» [2].

$$P_{уст} = 1,1 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 21,12 \text{ кВт.}$$

$$P_p = 0,95 \cdot 21,12 = 20,06 \text{ кВт.}$$

«Расчетную реактивную нагрузку электроосвещения можно определить по формуле:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (14)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности электроосвещения $\operatorname{tg} \varphi_{лл} = 0,48$, $\operatorname{tg} \varphi_{дрл} = 1,44$ о.е.» [2]

$$Q_p = 1,44 \cdot 20,06 = 28,89 \text{ квар.}$$

«Для остальных помещений расчёт выполняется аналогично. Результаты расчёта представлены в таблице 5.

Расчет электроосвещения КТП выполняется точечным методом, который дает возможность определить освещенность от источников света в заданной точке. При расчете электроосвещения КТП за контрольную точку принимается середина длинной стороны помещения, для которой должна быть обеспечена нормированная освещенность $E_n = 100$ лк» [16]. Размещение светильников в КТП показано на рисунке 2.

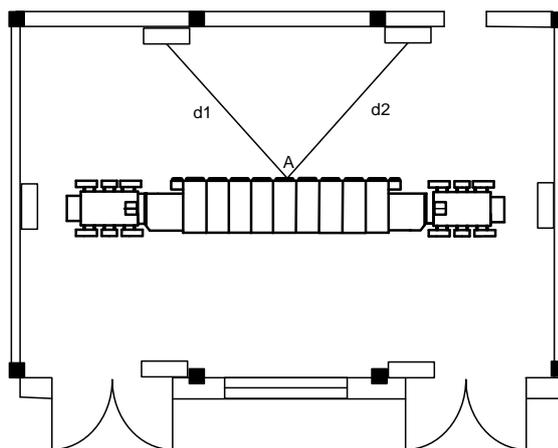


Рисунок 2 – Размещение светильников в КТП

«Суммарная освещенность, определяемая значениями света всех точечных излучателей:

$$E = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \sum e}{1000 \cdot k}, \quad (15)$$

где Φ – световой поток осветительного прибора;

μ – коэффициент, который учитывает действие удаленных источников света и отраженную составляющую, $\mu = 1,1$;

$\sum e$ – сумма освещенностей в контрольной точке от рассматриваемых источников света, лк» [10].

Результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчет осветительных нагрузок завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области

Наименование отделения, участка	Тип светильника а (степень защиты)	E_n , лк	k_3	L_B , м	l_B , м	l_a , м	$L_{ряда}$, м	n , шт	N , шт	i	η , %	Φ , лм	Φ , %	H , м	h_c , м	H_p , м	F , м	$K_{пра}$	$K_{со}$	P_p , кВт	Q_p , квар	L_a , м	$P_{ном}$, Вт	λ_c , м
Склад готовой продукции	ЛСП02 (IP20)	75	1,6	3,84	1,2	0,2	8,68	3	6	1,7	0,56	37714,3	-9,3	4	0	0,8	120	1,2	1	1,73	0,83	0,5	2×40	1,2
Склад инструментов	ЛСП02 (IP20)	75	1,5	6,4	3	0,9	6,2	1	5	1	0,43	20625	-7,8	4	0	0	72	1,2	0,6	0,29	0,14	1	2×40	1,6
КТП	ЛСП02 (IP20)	100	1,5	–	–	–	–	–	6	–	–	4960	–	4	1	1,5	216	1,2	0,6	0,69	0,33	–	2×80	–
Основное производство	РСП17 (IP20)	200	1,5	6,43	1,9	2,1	–	6	8	3,5	0,82	19853	-4,3	8	0,8	0,8	2160	1,1	0,95	20,06	28,89	7,04	400	1,1
Склад сырья	ЛСП02 (IP20)	75	1,5	4,16	1,84	1,15	7,7	3	5	1,9	0,59	26847,5	8	4	0	0,8	144	1,2	1	2,34	1,12	0,5	2×65	1,3
Туалет	ЛСП02 (IP20)	150	1,5	3,84	1,08	1,21	3,08	2	2	1	0,39	13326,9	1,75	3,2	0	0	42	1,2	0,8	0,5	0,24	1,5	2×65	1,2
Раздевалка	ЛСП02 (IP20)	75	1,5	3,84	1,08	1,21	3,08	2	2	1	0,39	6663,5	19,7	3,2	0	0	42	1,2	0,8	0,5	0,24	1,5	2×65	1,2
Тамбур	РСП17 (IP20)	100	1,5	5	1,5	1,9	–	1	2	0,7	0,32	20250	-6,2	8	0,8	0	96	1,1	0,95	0,84	1,21	6,48	400	0,9
Итого	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	26,95	33,0	–	–	–

3.2 Расчёт аварийного освещения

Аварийное электроосвещение подразделяется на электроосвещение безопасности и эвакуационное электроосвещение.

Согласно СП 52.13330.2016 [16] освещение безопасности следует предусматривать в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать:

- возникновение взрыва, пожара, отравления персонала;
- длительное нарушение технологического процесса;
- нарушение работы таких объектов, как электростанции, узлы радиопередач и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосы водоснабжения, насосы канализации и насосы теплофикации, системы вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых не допускается прекращение работ и пр.;
- нарушение режима детских учреждений вне зависимости от количества находящихся в них детей.

«Так как на заводе по производству силикатного кирпича в Волгоградской области отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов не вызывает ничего из вышеперечисленного (электроприемники завода и сам завод относятся к III категории, производство не связано с использованием пожароопасных и взрывоопасных средств), то на заводе электроосвещение безопасности не предусматривается.

Эвакуационное электроосвещение необходимо предусмотреть по основным проходам производственных помещений. Эвакуационное электроосвещение должно обеспечить освещенность не меньше 0,5 лк на полу основных проходов и на ступенях лестниц» [24].

Расчет эвакуационного электроосвещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области производится точечным

методом. «Точечный метод расчета позволяет определить освещенность в заданных точках пространства от каждого источника света с учетом их светотехнических характеристик, расстояния до расчетной точки и угла падения света. Этот метод особенно эффективен для проектирования эвакуационного освещения, так как позволяет точно оценить уровень освещенности на критически важных участках, таких как лестницы, проходы и выходы, с учетом геометрии помещений и размещения светильников.

Параметры светильника ЛСП02 представлены в таблице 6» [17].

Таблица 6 – Технические характеристики светильников ЛСП02

Марка светильника	Количество и мощность ламп	Тип ламп	Степень защиты	Световой поток, лм	Габаритные размеры	Тип КСС
ЛСП02	2×40	ЛД40	IP 20	2×2225	1524×205×140	Д-2

«Рассмотрим освещенность для характерных точек А, Б, В. Выберем точку с наихудшей освещенностью А, для нее определяется освещенность от трех ближайших источников света 1, 2, 3.

Рассчитывается условная освещенность для точки 3» [24]:

$$e_3 = 0,477 \cdot \frac{291,3}{100} = 1,39 \text{ лк.}$$

«Расчет для остальных точек аналогичен.

Определяется освещенность в точке А:

$$\Sigma e = 1,05 + 0,92 + 1,39 = 3,36 \text{ лк,}$$

$$E_A = \frac{2 \cdot 2225 \cdot 1,1 \cdot 3,36}{1000 \cdot 1,5} = 11 > 0,5 \text{ лк.}$$

Полученная освещенность в точке А больше требуемой 0,5 лк.

Расчет для остальных точек выполняется аналогично. Результаты расчета эвакуационного электроосвещения сведены в таблицу 7» [24].

Таблица 7 – Расчет эвакуационного освещения

Точка	$h_{расч}$, м	d , м	α , град	e_{100} , лк	I_{α} , кД	e , лк	E , лк
Точка А							
1	4	15	15	0,401	321,2	1,29	–
2	4	16,5	13,5	0,338	323,3	1,09	–
3	4	12	18	0,593	315,56	1,87	–
–	–	–	–	–	–	$\Sigma e = 4,25$	13,9
Точка Б							
3	4	9	24	0,943	302,36	2,85	–
4	4	3	53	2,4	191,42	4,59	–
5	4	21	11	0,215	326,8	0,7	–
–	–	–	–	–	–	$\Sigma e = 8,14$	26,5
Точка В							
6	4	15	15	0,401	321,2	1,29	–
7	4	15	15	0,401	321,2	1,29	–
8	4	13,5	16,5	0,486	318,38	1,55	–
–	–	–	–	–	–	$\Sigma e = 4,13$	13,5

Установленная мощность аварийного освещения равна

$$P_{уст} = 1,2 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 1,15 \text{ кВт.}$$

Расчетная активная нагрузка аварийного освещения равна

$$P_p^o = 1 \cdot 1,15 = 1,15 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка аварийного освещения равна

$$Q_p^o = 1,15 \cdot 0,48 = 0,55 \text{ квар.}$$

«Для эвакуационного электроосвещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области используются осветительные

приборы ЛСП06 с люминесцентными лампами ($P_{\lambda} = 80Вт$), осветительные приборы «Выход», параметры которых представлены в таблице 8» [24].

Таблица 8 – Технические характеристики светильников «Выход»

Марка светильника	Напряжение, В	Количество и мощность ламп, Вт	Тип ламп	Степень защиты	Габаритные размеры, мм
«Выход»	220	1×6	ЛЛМ	IP20	312×150×40

Светильники «Выход» — это специализированные указатели, используемые для обозначения эвакуационных выходов. Они оснащаются светодиодными источниками света и встроенными аккумуляторами для автономной работы в аварийном режиме. К расчетной активной нагрузке аварийного электроосвещения следует добавить мощность указателя «Выход».

Расчетная нагрузка аварийного электроосвещения составит

$$P_p^o = 1,15 + 0,06 = 1,21 \text{ кВт};$$

$$Q_p^o = 0,55 \text{ квар.}$$

На рисунке 3 приведено расположение осветительных приборов рабочего и аварийного электроосвещения.

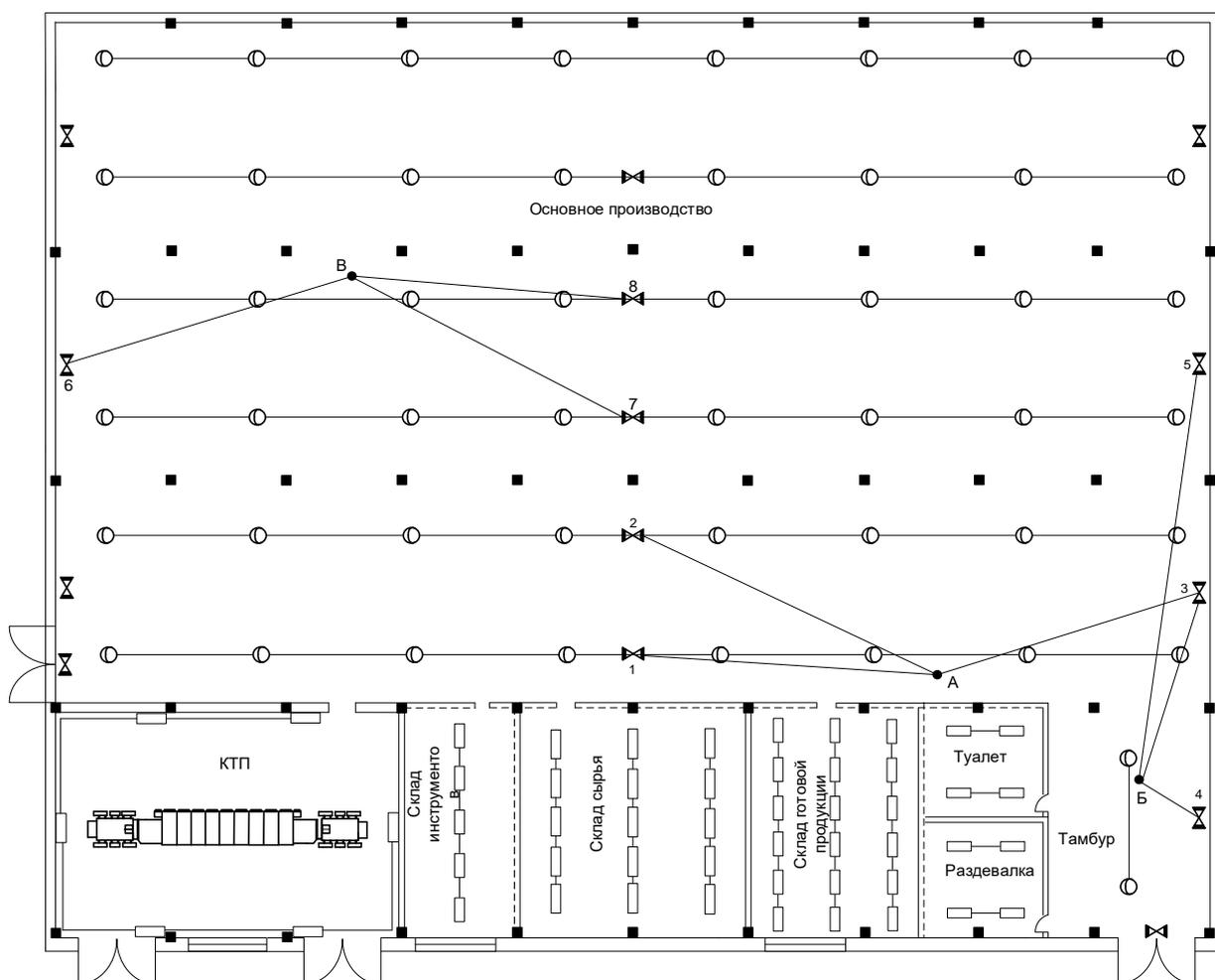


Рисунок 3 – Расположение осветительных приборов рабочего и аварийного электроосвещения

Выводы по разделу 3.

В третьем разделе ВКР проведен светотехнический расчет рабочего и аварийного освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области. Для основного производства применены светильники РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт. Для вспомогательных помещений предприятия использованы светильники ЛСП02 с люминесцентными лампами.

Эвакуационное освещение реализовано с применением светильников ЛСП06 с люминесцентными лампами и указателей «Выход». Комбинация ЛСП06 и приборов «Выход» обеспечивает надежную видимость путей эвакуации и выходов в аварийных ситуациях.

4 Выбор кабелей

Надежная и «безопасная работа системы освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области во многом зависит от правильного выбора кабельной продукции, обеспечивающей передачу электроэнергии от источников питания к светильникам. Кабели являются ключевым элементом электроснабжения» [25], связывающим распределительные щиты с осветительными приборами, такими как РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт для основного производства, ЛСП02 для вспомогательных помещений и ЛСП06 с указателями «Выход» для эвакуационного освещения. От их характеристик зависят стабильность работы системы, минимизация потерь электроэнергии и соответствие требованиям пожарной и электрической безопасности.

Выбор кабелей проводится с учетом расчетных электрических нагрузок, условий эксплуатации, климатических особенностей Волгоградской области и требований нормативных документов, таких как ПУЭ (Правила устройства электроустановок) и ГОСТ 31565-2012 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности». Учитываются такие параметры, как сечение проводников, материал жил и изоляции, а также способ прокладки, что позволяет обеспечить долговечность и эффективность системы освещения. В данном разделе будут рассмотрены исходные данные, критерии выбора кабелей и обоснование принятых решений для обеспечения бесперебойного функционирования рабочего и аварийного освещения завода.

«Расчёт сечения проводников сетей электроосвещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области осуществляется по допустимой потере напряжения.

Сечение проводника определяется по формуле» [3]:

$$F = \frac{\Sigma M + \alpha \cdot \Sigma m}{C \cdot \delta U_{\text{дон}}}, \quad (16)$$

где $\sum M$ – «сумма моментов рассчитываемого и всех последующих по направлению потока энергии участков с тем же числом проводов в линии, что и рассчитываемый участок, кВт·м,

Момент нагрузки i -того участка сети» [3]:

$$M_i = P_i \cdot L_i, \quad (17)$$

где P_i – «мощность i -того участка электросети, кВт;

L_i – протяженность i -того участка электросети, м;

$\sum m$ – сумма моментов всех ответвлений, которые питаются через рассчитываемый участок, но имеют другое количество проводов, кВт·м;

α – коэффициент приведения моментов, когда ответвления имеют другое количество проводов, чем рассчитываемый участок, о.е.;

C – коэффициент, который зависит от системы сети, рода тока, материала проводника, $C = 77$ о.е. для медных проводов при трёхфазной системе электросети с нулевым проводом и защитным проводником, $C = 11$ о.е. для медных проводов при однофазной системе трёхпроводной электросети» [3];

$\delta U_{\text{дон}}$ – допустимая потеря напряжения сети освещения, которая равна 8,9 % при $\cos\varphi = 0,99$, $S_{\text{тр}} = 630$ кВА и $K_3 = 0,66$ [8].

Схема разработанной сети освещения приведена на рисунке 4.

Для питающей и групповой сети выбран кабель марки ВВГнг, отличающийся высокой надежностью и устойчивостью к внешним воздействиям. Этот кабель с медными жилами, изоляцией и оболочкой из ПВХ пониженной горючести (нг) обеспечивает эффективную передачу электроэнергии и снижает риск возгорания, что критически важно для производственного объекта с повышенной запыленностью.

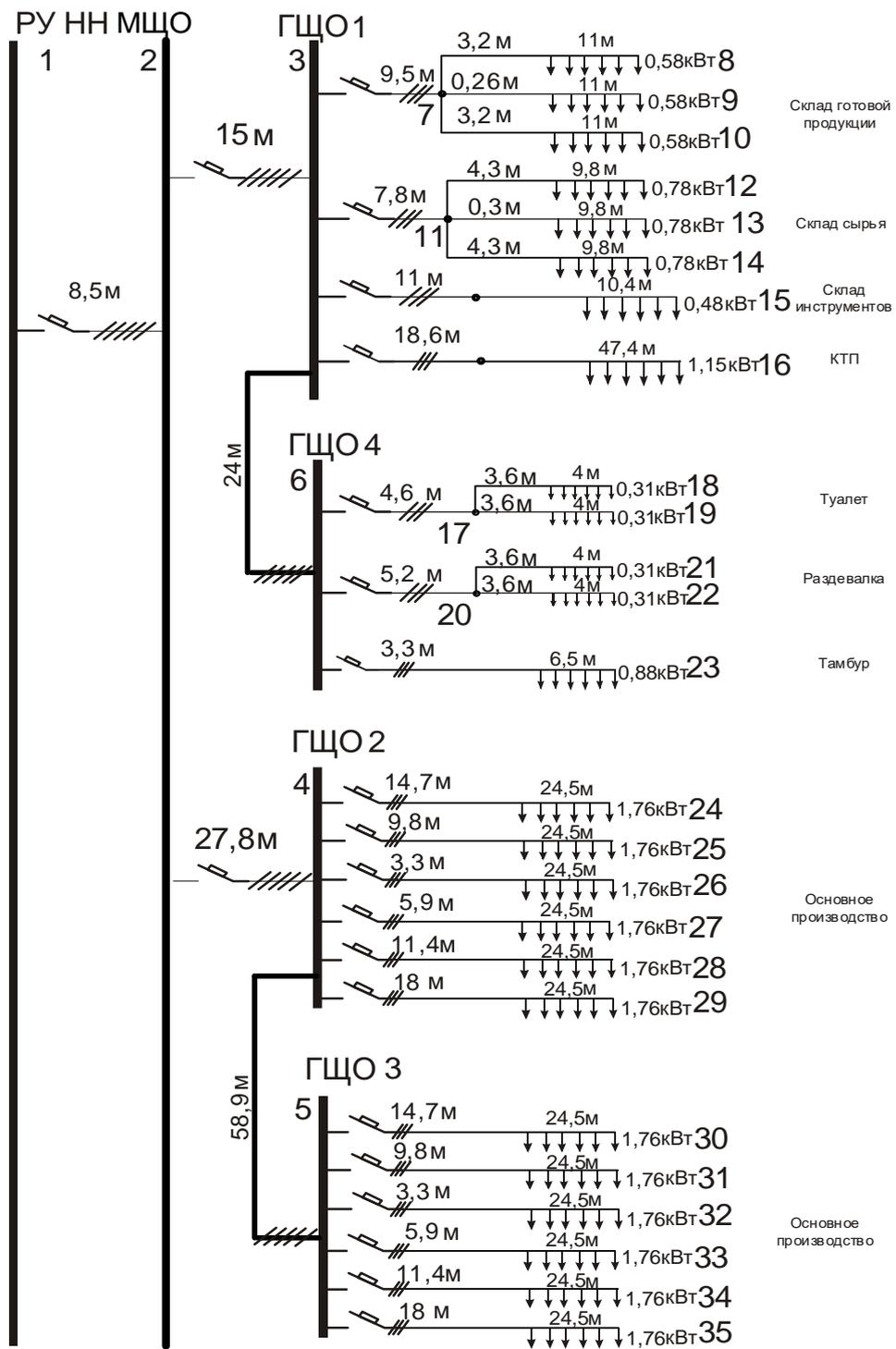


Рисунок 4 – Схема осветительной сети

Определение моментов всех участков:

$$\begin{aligned}
M_{1-2} &= 26,95 \cdot 8,5 = 229,08 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
M_{2-3} &= 7,82 \cdot 15 = 117,3 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
M_{2-4} &= 21,12 \cdot 27,8 = 587,14 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
M_{4-5} &= 10,56 \cdot 58,9 = 621,98 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
M_{3-6} &= 2,12 \cdot 24 = 50,88 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
m_{3-7} &= 1,73 \cdot 9,5 = 16,4 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
m_{7-8} &= 0,58 \cdot (3,2 + 5,5) = 5,05 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
m_{7-9} &= 0,58 \cdot (0,26 + 5,5) = 3,34 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
m_{7-10} &= 0,58 \cdot (3,2 + 5,5) = 5,05 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \\
m_{3-11} &= 2,34 \cdot 7,8 = 18,25 \text{ кВт}\cdot\text{м}.
\end{aligned}$$

Для остальных участков моменты определяются аналогично. Результаты расчёта сведены в таблице 9.

Сумма моментов:

$$\begin{aligned}
\Sigma M &= M_{1-2} + M_{2-3} + M_{3-6} + M_{2-4} + M_{4-5} = 1606,38 \text{ кВт}\cdot\text{м}; \\
\Sigma m &= m_{3-7} + m_{7-8} + m_{7-9} + m_{7-10} + m_{3-11} + m_{11-12} + m_{11-13} + m_{11-14} + m_{3-15} + m_{3-16} + \\
&+ m_{6-17} + m_{17-18} + m_{17-19} + m_{6-20} + m_{20-21} + m_{20-22} + m_{6-23} + m_{4-24} + m_{4-25} + m_{4-26} + \\
&+ m_{4-27} + m_{4-28} + m_{4-29} + m_{5-30} + m_{5-31} + m_{5-32} + m_{5-33} + m_{5-35} + m_{5-36} = 622,55 \text{ кВт}\cdot\text{м}.
\end{aligned}$$

Сечение проводника:

$$F_{1-2} = \frac{1606,38 + 1,85 \cdot 622,55}{77 \cdot 8,9} = 4,02 \text{ мм}^2.$$

«Полученное значение округляется до ближайшего стандартного 4 мм². Выбирается кабель ВВГнг 5×6» [20].

Условие проверки по допустимому длительному току [6]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (18)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

$I_{\text{доп}}$ – допустимый длительный ток на кабели данного сечения [15], А,

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп}}^{\text{табл}} \cdot K_{\text{попр}}, \quad (19)$$

где $I_{\text{доп}}^{\text{табл}}$ – «допустимый табличный ток для трехжильных кабелей, А;

$K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент на условия прокладки, о.е.,

$$K_{\text{п}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (20)$$

где K_1 – поправочный коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды, о.е;

K_2 – поправочный коэффициент на число работающих кабелей, о.е.;

K_3 – поправочный коэффициент на способ прокладки, о.е.» [15],

$$K_n = 1,$$

$$I_{\text{доп}} = 42 \cdot 0,92 = 38,64 \text{ А},$$

где 0,92 – «коэффициент, учитывающий ток для кабелей с числом жил более трех, о.е.

Расчетный ток в линии» [11]:

$$I_{p1-2} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi}, \quad (21)$$

$$I_{p1-2} = \frac{26,95}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,99} = 41,4 \text{ А},$$

$$38,64 \text{ А} > 41,1 \text{ А}.$$

Условие не выполняется. Принимается кабель ВВГнг 5×10 [20].

$$I_{\text{дон}} = 55 \cdot 0,92 = 50,6 \text{ А.}$$

Действительные потери напряжения на участке 1–2 равны [11]:

$$\delta U_{1-2} = \frac{M_{1-2}}{C \cdot F_{1-2}}, \quad (22)$$

$$\delta U_{1-2} = \frac{1606,38 + 1,85 \cdot 622,55}{77 \cdot 10} = 3,58 \text{ \%}.$$

Допустимые потери напряжения на оставшихся участках, %:

$$\delta U'_{\text{дон}} = \delta U_{\text{дон}} - \delta U_{1-2}, \quad (23)$$

$$\delta U'_{\text{дон}} = 8,9 - 3,58 = 5,32 \text{ \%}.$$

Далее расчет выполняется аналогично, результаты расчета сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчёт сечения проводников осветительной сети

Линия	ΣM , кВт·м	Σm , кВт·м	$\delta U'_{\text{дон}}$, %	C, о.е.	α , о.е.	F, мм ²	F _{ст} , мм ²	I _p , А	I _{дон} , А	δU , %	Марка кабеля
1–2	1606,38	622,55	8,9	77	1,85	4,02	10	41,1	50,6	3,58	ВВГнг 5×10
2–3	168,18	141,73	8,69	77	1,85	0,64	2,5	12	24,84	2,24	ВВГнг 5×2,5
3–6	50,88	18,79	8,02	77	1,85	0,14	2,5	3,2	24,84	0,44	ВВГнг 5×2,5
2–4	1209,12	480,82	8,69	77	1,85	3,14	6	32,4	38,64	4,54	ВВГнг 5×6
4–5	621,98	240,41	7,36	77	1,85	1,88	2,5	16,2	24,84	5,54	ВВГнг 5×2,5
3–7	16,4	–	8,02	11	–	0,19	1,5	8,78	19	0,14	ВВГнг 3×1,5
7–8	5,05	–	7,13	11	–	0,06	1,5	2,9	19	0,04	ВВГнг 3×1,5
7–9	3,34	–	7,13	11	–	0,04	1,5	2,9	19	0,03	ВВГнг 3×1,5
7–10	5,05	–	7,13	11	–	0,06	1,5	2,9	19	0,04	ВВГнг 3×1,5
3–11	18,25	–	8,02	11	–	0,21	1,5	11,8	19	0,16	ВВГнг 3×1,5
11–12	7,18	–	7,03	11	–	0,09	1,5	3,9	19	0,06	ВВГнг 3×1,5
11–13	4,06	–	7,03	11	–	0,05	1,5	3,9	19	0,04	ВВГнг 3×1,5
11–14	7,18	–	7,03	11	–	0,09	1,5	3,9	19	0,06	ВВГнг 3×1,5
3–15	7,78	–	8,02	11	–	0,09	1,5	2,4	19	0,07	ВВГнг 3×1,5
3–16	48,65	–	8,02	11	–	0,55	1,5	5,8	19	0,42	ВВГнг 3×1,5
6–17	2,85	–	7,56	11	–	0,03	1,5	3,13	19	0,02	ВВГнг 3×1,5

Продолжение таблицы 9

Линия	ΣM , кВт·м	Σm , кВт·м	$\delta U'_{дон}$, %	C, о.е.	α , о.е.	F, мм ²	F _{ст} , мм ²	I _p , А	I _{дон} , А	δU , %	Марка кабеля
17–18	1,74	–	7,41	11	–	0,02	1,5	1,56	19	0,02	ВВГнг 3×1,5
17–19	1,74	–	7,41	11	–	0,02	1,5	1,56	19	0,02	ВВГнг 3×1,5
6–20	3,22	–	7,56	11	–	0,04	1,5	3,13	19	0,03	ВВГнг 3×1,5
20–21	1,74	–	7,39	11	–	0,02	1,5	1,56	19	0,02	ВВГнг 3×1,5
20–22	1,74	–	7,39	11	–	0,02	1,5	1,56	19	0,02	ВВГнг 3×1,5
6–23	5,76	–	7,39	11	–	0,07	1,5	4,44	19	0,05	ВВГнг 3×1,5
4–24	47,43	–	7,36	11	–	0,59	1,5	14,04	19	0,41	ВВГнг 3×1,5
4–25	38,81	–	7,36	11	–	0,48	1,5	14,04	19	0,34	ВВГнг 3×1,5
4–26	27,37	–	7,36	11	–	0,34	1,5	14,04	19	0,24	ВВГнг 3×1,5
4–27	31,94	–	7,36	11	–	0,39	1,5	14,04	19	0,28	ВВГнг 3×1,5
4–28	41,62	–	7,36	11	–	0,8	2,5	14,04	19	2,25	ВВГнг 3×1,5
4–29	53,24	–	7,36	11	–	0,97	2,5	14,04	19	2,88	ВВГнг 3×1,5
5–30	47,43	–	3,83	11	–	1,7	2,5	14,04	19	2,56	ВВГнг 3×1,5
5–31	38,81	–	3,83	11	–	1,4	2,5	14,04	19	2,1	ВВГнг 3×1,5
5–32	27,37	–	3,83	11	–	0,97	2,5	14,04	19	1,48	ВВГнг 3×1,5
5–33	31,94	–	3,83	11	–	1,1	2,5	14,04	19	1,73	ВВГнг 3×1,5
5–34	41,62	–	3,83	11	–	1,5	2,5	14,04	19	2,25	ВВГнг 3×1,5
5–35	53,24	–	3,83	11	–	1,9	2,5	14,04	19	2,88	ВВГнг 3×1,5

На рисунке 5 дано размещение ГЦО и прокладка трасс сетей электроосвещения.

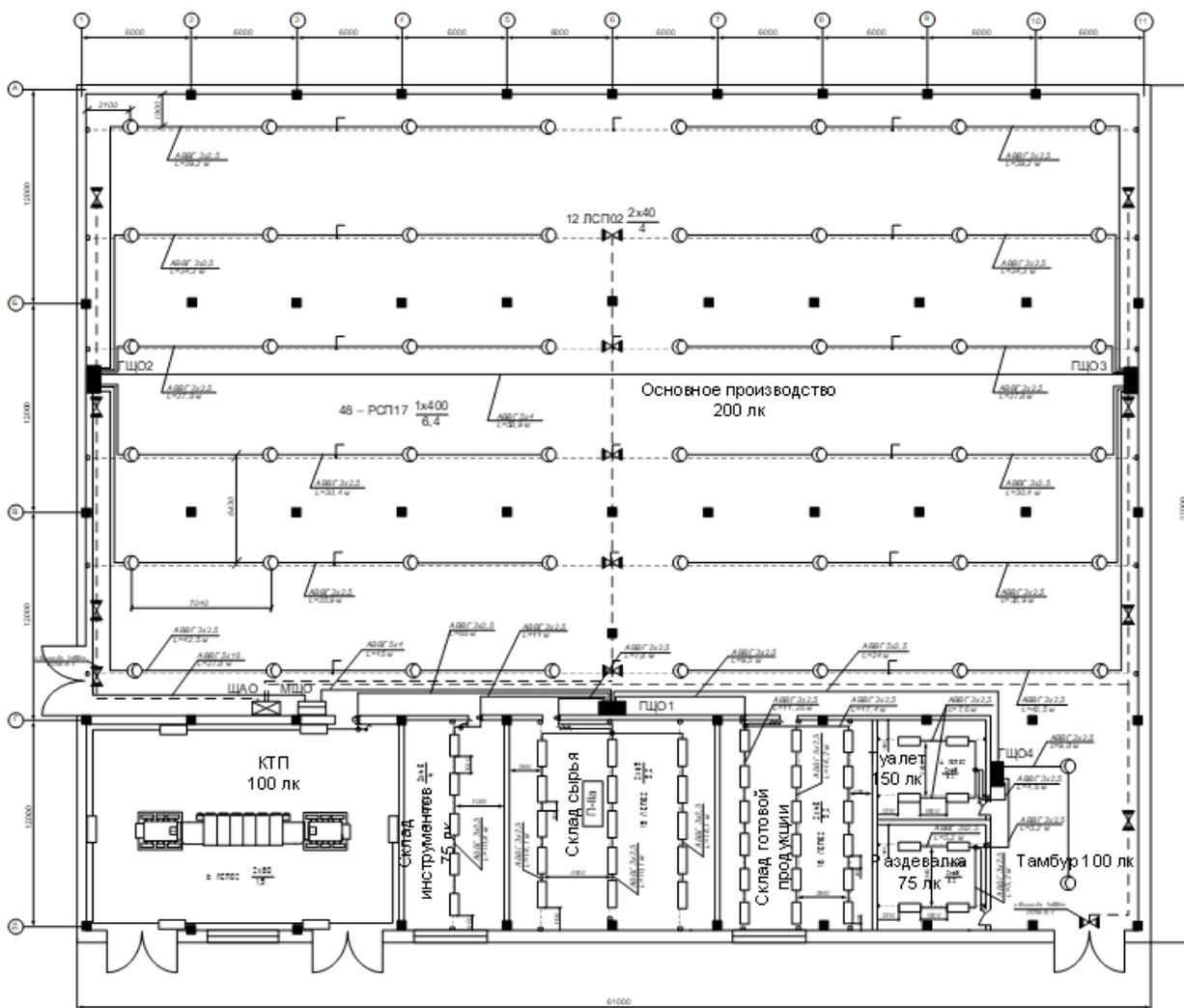


Рисунок 5 – Размещение ГЩО и прокладка трасс осветительной сети

Выводы по разделу 4.

В четвёртом разделе ВКР проведен электротехнический расчет освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области. В ОУ общего электроосвещения используется, как правило, напряжение 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали. Схема питания ОУ включает в себя питающие и групповые линии. Для завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области питающие линии выбираются пятипроводными, а групповые – трёхпроводными. Разработана схема осветительной сети. Для питающей и групповой сети выбираются кабели марки ВВГнг различных сечений. Составлен план размещения щитов освещения и прокладки трасс осветительной сети.

5 Расчет токов КЗ

Проектирование системы освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области требует комплексного подхода к обеспечению ее «надежности и безопасности в процессе эксплуатации. Важной частью этого процесса является расчет токов короткого замыкания (КЗ), который позволяет определить максимальные значения токов, возникающих при аварийных ситуациях, таких как замыкания в электрической сети. Этот анализ необходим для оценки устойчивости элементов системы к экстремальным нагрузкам и подбора средств защиты» [7], способных оперативно прерывать аварийные режимы.

«Расчет токов КЗ выполняется для различных участков системы электроснабжения с целью обеспечения ее стабильной работы и предотвращения повреждений оборудования. Полученные данные служат основой для выбора параметров защитной аппаратуры и проверки соответствия проводников требованиям термической и динамической стойкости.

Согласно ГОСТ 28249–93 силы токов короткого замыкания рассчитывается в тех точках сети, при коротком замыкании в которых аппараты и токоведущие части будут находиться в наиболее тяжёлых условиях. Для определения силы токов КЗ, составляется расчетная схема, на которую наносится все данные, необходимые для расчета, и точки, где следует определить токи КЗ» [7]. Данная схема представлена на рисунке 6.

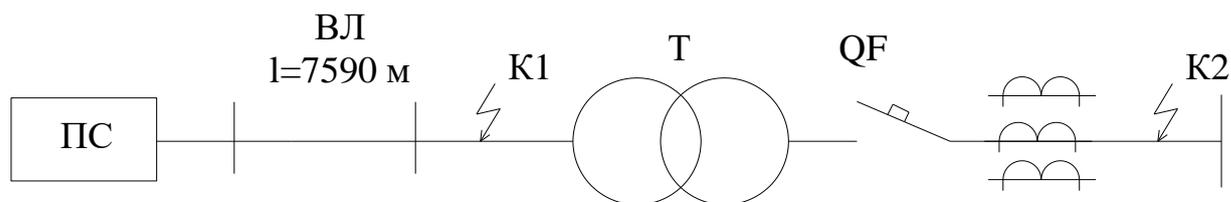


Рисунок 6 – Расчетная схема

Составляется расчетная схема замещения с учетом сопротивлений элементов.

Данная схема представлена на рисунке 7.

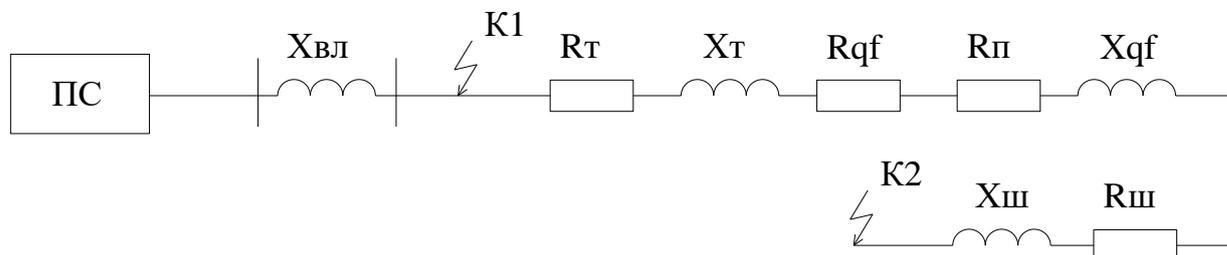


Рисунок 7 – Схема замещения для расчётов токов короткого замыкания

«В электроустановках выше 1000 В расчет ведется в относительных единицах.

Задаются базисные значения мощности S_6 , и напряжения U_6 : S_6 – базисная мощность, принимается равной 100 МВА; U_6 – базисное напряжение, это напряжение больше на 5% от номинального напряжения в расчетной точке, кВ.

Рассчитывается ток короткого замыкания в точке К1, расположенной на СШ 10 кВ ТП завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области.

Определяется индуктивное сопротивление воздушной линии по формуле» [13]:

$$X_{\text{вл}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2}; \quad (24)$$

где x_0 – «удельное индуктивное сопротивление линии на один км, для воздушной линии принимается равным 0,4 Ом/км» [13];

l – длина линии, от питающей подстанции до ТП завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области, км;

$$X_{к1} = 0,4 \cdot 7,59 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 2,754.$$

Определяется установившийся ток короткого замыкания в точке К1, расположенной на СШ 10 кВ ТП завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области:

$$I_{к1} = \frac{U_{б1}}{\sqrt{3} \cdot X_{к1}}; \quad (25)$$

$$I_{к1} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,754} = 2,2 \text{ кА.}$$

«Определяется ударный ток короткого замыкания в точке К1:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k, \quad (26)$$

где $K_{уд}$ – ударный коэффициент, зависящий от места точки короткого замыкания в энергосистеме, его значение принимается равным 1,8» [14]

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,2 = 5,6 \text{ кА.}$$

Определяется мощность короткого замыкания в расчётной точке К1:

$$S_{к1} = \sqrt{3} \cdot I_k \cdot U_{б}, \quad (27)$$

$$S_{к1} = \sqrt{3} \cdot 2,2 \cdot 10,5 = 40,0 \text{ МВА.}$$

«Рассчитывается ток короткого замыкания в точке К2, которая полагается на стороне 0,4 кВ у трансформаторов ТП. Расчёт выполняется в

именованных единицах. Для определения значения токов учитываются сопротивления элементов схемы как активные, так и индуктивные.

Из ГОСТ 28249–93 выбирается сопротивления $x_{\text{ош}}$ и $r_{\text{ош}}$, мОм/м, рассчитывается индуктивное и активное сопротивление шин по формуле» [7]:

$$X_{\text{ш}} = x_{\text{ош}} \cdot l_{\text{ш}}; \quad (28)$$

$$r_{\text{ш}} = r_{\text{ош}} \cdot l_{\text{ш}}; \quad (29)$$

где $l_{\text{ш}}$ – длина шин, принимается равной 10 м.

Для сборных шин 0,4 кВ ТП завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области типа АДЗ1Т 80×8 $r_{\text{ош}} = 0,0595$ мОм/м, $x_{\text{ош}} = 0,179$ мОм/м:

$$r_{\text{ш}} = 0,0595 \cdot 10 = 0,595 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{ш}} = 0,179 \cdot 10 = 1,79 \text{ мОм}.$$

Определяется активное и индуктивное сопротивление силового трансформатора по формуле:

$$R_{\text{T}} = \Delta P_{\text{к}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НН}}}{S_{\text{T}}} \right)^2 \cdot 10^6; \quad (30)$$

где $\Delta P_{\text{к}}$ – потери мощности при коротком замыкании, кВт;

$$R_{\text{T}} = 7,6 \cdot \left(\frac{0,4}{630} \right)^2 \cdot 10^6 = 3,1 \text{ мОм}.$$

$$X_{\text{T}} = \frac{U_{\text{к}}\%}{100} \cdot \frac{U_{\text{ср.2}}^2}{S_{\text{T.НОМ}}}; \quad (31)$$

$$X_{\text{T}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^{-3} = 0,0140 \text{ мОм}.$$

«Из ГОСТ 28249–93 выбирается и учитывается переходное сопротивление на ступенях распределения, контактов, автоматических выключателей, катушек автоматов.

Для автоматического выключателя с номинальным током 1600 А, установленного на СШ 0,4 кВ ТП, сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей $r_{QF} = 0,14$ мОм; $x_{QF} = 0,08$ мОм; активное сопротивление разъемных соединений $r_{перQF} = 0,02$ мОм» [7].

Для распределительного устройства подстанции принимается значение переходных сопротивлений на ступенях распределения электроэнергии [7] $R_{ст} = 15$ мОм.

Определяется суммарное полное сопротивление до точки короткого замыкания К2 по формуле:

$$Z_k = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}; \quad (32)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{(0,595 + 3,1 + 0,14 + 0,02 + 15)^2 + (1,79 + 0,014 + 0,08)^2} = 18,9 \text{ мОм.}$$

«Определяется установившийся ток короткого замыкания в точках К3, расположенных на СШ 0,4 кВ ТП завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области:

$$I_K = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} \cdot Z_{к2}}; \quad (33)$$

$$I_{к2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 18,9} = 12,2 \text{ кА.}$$

Определяется ударный ток короткого замыкания в точках К3, расположенных на СШ 0,4 кВ ТП» [7]:

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 12,2 = 22,4 \text{ кА.}$$

Выводы по разделу 5.

В пятом разделе ВКР рассчитаны токи КЗ на СШ 10 кВ и 0,4 кВ ТП завода.

Проведенный расчет токов короткого замыкания в системе освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области позволил определить максимальные значения токов, возникающих при аварийных режимах в различных точках сети. Полученные результаты обеспечивают необходимую информацию для оценки термической и динамической стойкости элементов системы и служат основой для последующего выбора оборудования, включая защитную аппаратуру и проводники.

Анализ токов КЗ показал, что разработанная система способна функционировать в условиях возможных перегрузок, а рассчитанные параметры станут определяющими при подборе устройств защиты, таких как автоматические выключатели, обеспечивающие быстрое и надежное отключение сети при коротких замыканиях. Таким образом, выполненный расчет подтверждает готовность проекта к следующему этапу — выбору оборудования, гарантирующего безопасность и эффективность эксплуатации системы освещения.

6 Выбор щитового оборудования

Система освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области требует не только грамотного подбора источников света и кабельной продукции, но и надежного щитового оборудования, обеспечивающего управление, распределение электроэнергии и защиту сети от аварийных режимов. Щитовое оборудование, включающее распределительные щиты и автоматические выключатели, является ключевым элементом, гарантирующим стабильную работу освещения и безопасность персонала при эксплуатации объекта.

Выбор щитов и автоматических выключателей проводится на основании ранее рассчитанных электрических нагрузок и токов короткого замыкания, что позволяет определить оптимальные параметры оборудования для питающей и групповой сети системы освещения. Основной задачей данного раздела является обоснование выбора щитового оборудования, «способного обеспечить надежное распределение электроэнергии, защиту от перегрузок и коротких замыканий, а также удобство эксплуатации и обслуживания.

Автоматические выключатели напряжением до 1 кВ выбираются по следующим условиям:

– по номинальному напряжению» [12]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст.}}; \quad (34)$$

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст.}} = 0,38 \text{ кВ};$$

– «по номинальному току теплового расцепителя» [12]:

$$I_{\text{т.р.}} \geq k_{\text{расц.}} \cdot I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (35)$$

где $k_{\text{расц.}}$ – «коэффициент теплового расцепителя, для нерегулируемого теплового расцепителя $k_{\text{расц.}} = 1,15$ » [12];

для линии от ГЩО2 до светильников склада готовой продукции:

$$I_{т.р.} \geq 1,15 \cdot 8,8 = 10,1 \text{ А};$$

– «по номинальному току электромагнитного расцепителя» [12];

$$I_{у.э.р.} \geq 1,2 \cdot I_{пуск}; \quad (36)$$

где $I_{пуск}$ – «пусковой ток» [12],

$$I_{пуск} = 5 \cdot I_{ном}; \quad (37)$$

– «для группы электроприемников:

$$I_{пуск} = 5 \cdot 8,8 = 43,9 \text{ А};$$

$$I_{у.э.р.} \geq 1,2 \cdot 43,9 = 52,7 \text{ А}.$$

– по номинальному току автоматического выключателя:

$$I_{ном.ав.} \geq I_p; \quad (38)$$

где I_p – расчетный ток, А» [12].

«Принимаем к установке автоматический выключатель типа ВА47–125 $I_{ном.ав.} = 125 \text{ А}$, $I_{т.р.} = 16 \text{ А}$ [19]. Выбранные автоматические выключатели необходимо выбирать по условию электродинамической стойкости:

$$I_{ном.откл.} > I_K, \quad (39)$$

где $I_{ном.откл.}$ – номинальный ток отключения, для автоматических выключателей ВА47–125 $I_{ном.откл.} = 15 \text{ кА}$ [19],

I_K – ток КЗ, кА,

$$15 \text{ кА} > 12,2 \text{ кА},$$

следовательно выбранные автоматические выключатели проходят проверку по условию электродинамической стойкости.

Аналогично выбираются остальные автоматические выключатели» [19].
Результаты расчетов даны в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора автоматических выключателей

Узел питания	Электроприемник					Автоматический выключатель			
	Помещение (щит)	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{пуск}}$, А	$k_{\text{расц}}$	Тип	$I_{\text{ном.ав}}$, А	$I_{\text{тр}}$, А	$I_{\text{у.э.р.}}$, А
РУ НН	МЦО	28,95	48,9	244,7	1,15	ВА47–125	125	63	756
Ввод МЦО		28,95	48,9	244,7	1,15	ВА47–125	125	50	600
МЦО	ГЦО1	7,83	13,2	66,2	1,15	ВА47–125	125	40	480
Ввод ГЦО1		7,83	13,2	66,2	1,15	ВА47–125	125	32	384
ГЦО1	ГЦО4	2,12	3,6	17,9	1,15	ВА47–125	125	10	120
ГЦО2	Склад готовой продукции	1,74	8,8	43,9	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЦО3	Склад сырья	2,34	11,8	59,1	1,15	ВА47–125	125	16	192
Ввод ГЦО4		2,12	3,6	17,9	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЦО4	Склад инструментов	0,48	2,4	12,1	1,15	ВА47–125	125	10	120
ГЦО5	КТП	1,15	5,8	29,0	1,15	ВА47–125	125	10	120
ГЦО4	Туалет	0,62	3,1	15,7	1,15	ВА47–125	125	10	120
ГЦО4	Раздевалка	0,62	3,1	15,7	1,15	ВА47–125	125	10	120
ГЦО4	Тамбур	0,88	4,4	22,2	1,15	ВА47–125	125	10	120
МЦО	ГЦО2	21,12	35,7	178,5	1,15	ВА47–125	125	40	480
Ввод ГЦО2		10,56	17,8	89,2	1,15	ВА47–125	125	32	384
ГЦО2	Основное производство. Участок 1	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЦО2	Основное производство. Участок 2	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЦО2	Основное производство. Участок 3	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЦО2	Основное производство. Участок 4	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192

Продолжение таблицы 10

Узел питания	Электроприемник					Автоматический выключатель			
	Помещение (щит)	$P_{ном},$ кВт	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А	$k_{расц}$	Тип	$I_{ном.ав},$ А	$I_{тр},$ А	$I_{у.э.р.},$ А
ГЩО2	Основное производство. Участок 5	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЩО2	Основное производство. Участок 6	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЩО3	Основное производство. Участок 7	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЩО2	ГЩО3	10,56	17,8	89,2	1,15	ВА47–125	125	25	300
Ввод ГЩО3		10,56	17,8	89,2	1,15	ВА47–125	125	20	240
ГЩО3	Основное производство. Участок 8	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЩО3	Основное производство. Участок 9	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЩО3	Основное производство. Участок 10	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЩО3	Основное производство. Участок 11	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192
ГЩО3	Основное производство. Участок 12	1,76	8,9	44,4	1,15	ВА47–125	125	16	192

«После выбора автоматического выключателя необходимо проверить выбранные ранее кабельные линии по условию отстройки от выбранного аппарата защиты по условию» [25]:

$$I_{д.д.} \geq I_{т.р.}; \quad (40)$$

для линии 1–2 от РУ НН до МЩО выбран кабель ВВГнг–5×10 с длительным допустимым током $I_{д.д.} = 55$ А [20], тогда

$$I_{д.д.} = 0,92 \cdot 55 = 50,6 \text{ А} \geq I_{м.р.} = 63 \text{ А} - \text{ неверно,}$$

«а значит необходимо увеличить сечение выбранного кабеля до ВВГнг–5×16 с длительным допустимым током $I_{д.д.} = 78 \text{ А}$, тогда

$$I_{д.д.} = 0,92 \cdot 78 = 71,8 \text{ А} \geq I_{м.р.} = 63 \text{ А} \text{ – верно.}$$

Увеличенные сечения кабелей приведены в таблице 11» [20].

Так как для отдельных линий светильников выбраны автоматические выключатели с токами теплового расцепителя 10 А и 16 А, что меньше длительного допустимого тока кабеля ВВГнг–3×1,5, то данные кабели не проверяются и в данную таблицу не включаются.

Таблица 11 – Увеличенные сечения кабелей

Узел питания	Электроприёмник			Автоматический выключатель		Увеличенный кабель	
	Щит	$P_{ном},$ кВт	$I_{ном},$ А	Тип	$I_{тр},$ А	Кабель	$I_{д.д.},$ А
РУ НН ТП	МЩО	28,95	48,9	ВА47–125	63	ВВГнг–5×16	71,8
МЩО	ГЩО1	7,83	13,2	ВА47–125	40	ВВГнг–5×10	56,12
ГЩО1	ГЩО4	2,12	3,6	ВА47–125	25	ВВГнг–5×4	30,36
МЩО	ГЩО2	21,12	35,7	ВА47–125	40	ВВГнг–5×10	56,12
ГЩО2	ГЩО3	10,56	17,8	ВА47–125	25	ВВГнг–5×4	30,36

В качестве щитов освещения принимаются щиты ЩРН–12 (265×310×120) IP54 PROXIMA EKF, рассчитанные на 12 модулей [22].

Для уличного освещения применяется ящик управления освещением ЯУО9603–3474–У3.1–IP54 с возможностью дистанционного «управления освещением. Ящики управления освещением предназначены для автоматического, местного, ручного или дистанционного (с диспетчерского пункта) управления осветительными сетями и установками производственных зданий, сооружений, территорий любых объектов с любыми источниками света» [18].

«Ящик управления освещением обеспечивает:

- включение и отключение осветительной установки от сигнала фотодатчика при достижении заданного уровня освещенности;
- отключение и включение осветительной установки в заданные периоды времени (например, в технологические перерывы в работе цеха) по программам, задаваемым программатором режимов;
- ручное включение и отключение осветительной установки кнопками, установленными на двери ящика; включение и отключение осветительной установки посредством устройств телемеханики от диспетчерских пунктов энергослужб» [18].

Выводы по разделу 6.

В шестом разделе ВКР проведен расчет и выбор оборудования завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области. Выбраны автоматические выключатели и кабельные линии завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области. В качестве щитов освещения принимаются щиты ЩРН–12 (265×310×120) IP54 PROXIMA EKF, рассчитанные на 12 модулей. Для уличного освещения применяется ящик управления освещением ЯУО9603–3474–У3.1–IP54 с возможностью дистанционного управления освещением.

Заключение

Разработка системы освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области, выполненная в рамках данной выпускной квалификационной работы, представляет собой комплексный проект, направленный на обеспечение надежного, безопасного и эффективного освещения производственных и вспомогательных помещений. В ходе работы были решены задачи по проектированию рабочего и эвакуационного освещения, выбору кабельной продукции и щитового оборудования, а также анализу аварийных режимов, что позволило создать систему, соответствующую требованиям современных стандартов и нормативных документов, таких как СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», ПУЭ (Правила устройства электроустановок), ГОСТ Р 50571.5.52-2011 и ГОСТ 31565-2012.

Приведены общие сведения об объекте проектирования, характеристика условий среды и надежности питания отделений, план завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области.

Выбраны светильников для освещения завода. На основе анализа требований СП 52.13330.2016 и условий среды (пыль, влага) были рассмотрены различные типы светильников.

Применение светильников РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт для освещения основного производства завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области обосновано их высокой световой отдачей, адаптацией к условиям эксплуатации, экономической эффективностью и соответствием нормативным требованиям. Это решение обеспечивает надежное и равномерное освещение рабочих зон, способствуя повышению производительности и безопасности труда.

Обоснован выбор люминесцентных светильников ЛСП02 с IP65 для освещения вспомогательных помещений завода. Они обеспечивают достаточную освещенность, устойчивость к пыли и влаге, а также

экономичность (срок службы 10 000–12 000 часов). Сравнение с альтернативами (светодиодные, галогенные) подтвердило целесообразность выбора ЛСП02 с учетом бюджета завода и их доступности.

Проведен светотехнический расчет рабочего и аварийного освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области. Для основного производства применены светильники РСП17 с лампами ДРЛ-400 Вт. Для вспомогательных помещений предприятия использованы светильники ЛСП02 с люминесцентными лампами.

Эвакуационное освещение реализовано с применением светильников ЛСП06 с люминесцентными лампами и указателей «Выход». Комбинация ЛСП06 и приборов «Выход» обеспечивает надежную видимость путей эвакуации и выходов в аварийных ситуациях.

Проведен электротехнический расчет освещения завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области. В ОУ общего электроосвещения используется, как правило, напряжение 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали. Схема питания ОУ включает в себя питающие и групповые линии. Питающие линии выбираются пятипроводными, а групповые – трёхпроводными. Разработана схема осветительной сети. Для питающей и групповой сети выбираются кабели марки ВВГнг различных сечений. Составлен план размещения щитов освещения и прокладки трасс осветительной сети.

Рассчитаны токи КЗ на СШ 10 кВ и 0,4 кВ ТП завода.

Проведен расчет и выбор оборудования завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области. Выбраны автоматические выключатели и кабельные линии завода по производству силикатного кирпича в Волгоградской области. В качестве щитов освещения принимаются щиты ЩРН–12 IP54 PROXIMA EKF, рассчитанные на 12 модулей. Для уличного освещения применяется ящик управления освещением ЯУО9603–3474–У3.1–IP54 с возможностью дистанционного управления освещением.

Список используемых источников

1. Бабкин И.М. Электрическое освещение промышленных предприятий. Основы расчета : учебное пособие. Архангельск : САФУ, 2019. 79 с.
2. Бакшаева Н. С., Закалата А.А., Дерендяева Л.В. Электроснабжение промышленных предприятий Часть 1: учебное пособие. Киров : ВятГУ, 2021. 195 с.
3. Барыбина Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. М. : Энергоатомиздат, 2009. 576 с.
4. Бондаренко С. И., Петрова А. Н. Электрическое освещение : учебное пособие. Иркутск : ИРНИТУ, 2022. 318 с.
5. Валиуллин К.Р., Чернова А.Д. Введение в электроэнергетику : учебное пособие. Оренбург : ОГУ, 2020. 115 с.
6. Гайсаров Р.В., Лисовская И.Т. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов: Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. 61 с.
7. ГОСТ 28249–93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ // Консультант плюс: справочно–правовая система
8. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения // Консультант плюс: справочно–правовая система
9. ГОСТ Р 55710–2013 Освещение рабочих мест внутри зданий // Консультант плюс: справочно–правовая система
10. Грачев А. С. Электрическое освещение : учебно–методическое пособие. Йошкар–Ола : МарГУ, 2023. 94 с.
11. Дробов А. В. Электрическое освещение : учебное пособие. Минск : РИПО, 2017. 219 с.

12. Колюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М. : Издательство «Мастерство». М, 2002. 319 с.

13. Костин В.Н. Распопов Е.В., Родченко Е.А. Передача и распределение электроэнергии. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2004.

14. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

15. Правила устройства электроустановок // Консультант плюс: справочно-правовая система.

16. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

17. Технические характеристики светильников ЛСП02. URL: https://www.merg.ru/data/files/parts/331_file.pdf (дата обращения 24.02.2025 г.)

18. Технические характеристики ящиков управления освещением. URL: <https://evraz.pro/upload/uf/957/957851b612274b909ef55dd40a4b6b27.pdf?ysclid=m8v1qdt813136930092> (дата обращения 24.02.2025 г.)

19. Технические характеристики автоматических выключателей типа ВА47-125. URL: <https://ekfgroup.com/ru/catalog/modulnye-avtomaticheskie-vyklyuchateli?filters=%7B%222616e974-181b-11e6-9296-000c29c6d5f2%22%3A%5B%2215%22%5D%7D> (дата обращения 24.02.2025 г.)

20. Технические характеристики кабелей ВВГнг. URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgng/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgng/) (дата обращения 24.02.2025 г.)

21. Технические характеристики светильников РСП 17-400-001. URL: <http://svetelectrosnab.ru/katalog/220/416/437/232/11773> (дата обращения 24.02.2025 г.)

22. Технические характеристики щитов ЩРН-12 PROXIMA EKF. URL: <https://ekfgroup.com/ru/catalog/products/shhit-raspred-navesnoj-shhrn-12-265-310-120-ip54-ekf-proxima> (дата обращения 24.02.2025 г.)

23. Хабарова С.В. Проектирование электрического освещения: метод. указ. по вып. дипл. и кур. проектирования по спец. электроснабжение. Черкесск : ГОУ ВПО «КЧГТА», 2009. 27 с.

24. Широбокова Т. А. Светотехника: практикум : учебное пособие. Ижевск : УдГАУ, 2020. 47 с.

25. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С., Дубов А. Л. Электроснабжение и электропотребление в строительстве : учебное пособие. 2–е изд., доп. Санкт–Петербург : Лань, 2022. 512 с.