

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 предприятия по деревообработке

Обучающийся

Е. С. Яковлев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2025

Аннотация

Актуальность темы обусловлена тем, что правильно спроектированное освещение способствует повышению производительности труда, снижению утомляемости работников и минимизации производственных рисков, что особенно важно в условиях интенсивных технологических процессов деревообработки. Кроме того, в свете глобальных тенденций к устойчивому развитию и энергосбережению внедрение современных светотехнических решений, таких как светодиодные системы и интеллектуальное управление освещением, позволяет значительно сократить энергопотребление и эксплуатационные расходы. Ужесточение нормативных требований к условиям труда и экологическим стандартам производства требует разработки систем освещения, соответствующих как российским, так и международным стандартам. Таким образом, разработка эффективной системы освещения для деревообрабатывающего предприятия является актуальной задачей, направленной на решение практических и стратегических задач отрасли.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка системы освещения для предприятия по деревообработке, которая обеспечит соответствие нормативным требованиям, оптимальные условия труда и рациональное использование энергетических ресурсов. В рамках работы решается комплекс задач, связанных с анализом потребностей предприятия, расчетом параметров освещения, выбором оборудования и проектированием электрической части системы.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, шести разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 58 листах формата А4, содержит 12 таблиц и 7 рисунков.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ состояния и требований по освещенности структурных подразделений предприятия	6
2 Выбор осветительных приборов.....	11
3 Светотехнический расчет помещений предприятия	16
4 Электрический расчет осветительной нагрузки предприятия	28
4.1 Выбор схемы электроснабжения и напряжения питания осветительной сети	28
4.2 Расчет и выбор сечений кабелей осветительной сети.....	30
5 Расчет и выбор аппаратов защиты	35
6 Описание систем освещения предприятия	50
Заключение	53
Список используемой литературы и используемых источников.....	56

Введение

Освещение является одним из ключевых факторов, обеспечивающих эффективность, безопасность и комфорт на деревообрабатывающих предприятиях. Качественная система освещения способствует повышению производительности труда, снижению утомляемости работников, точности выполнения операций и минимизации производственного травматизма. В условиях деревообработки, где присутствуют специфические требования к визуальному контролю материалов, равномерности света и устойчивости оборудования к пыли и влажности, разработка оптимальной осветительной системы приобретает особую актуальность. Современные тенденции в энергетике также диктуют необходимость внедрения энергоэффективных решений, что делает задачу проектирования освещения одновременно технически сложной и экономически значимой.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка системы освещения для предприятия по деревообработке, которая обеспечит соответствие нормативным требованиям, оптимальные условия труда и рациональное использование энергетических ресурсов. В рамках работы решается комплекс задач, связанных с анализом потребностей предприятия, расчетом параметров освещения, выбором оборудования и проектированием электрической части системы.

Объектом исследования является система электроснабжения предприятия по деревообработке. Предметом исследования является освещение предприятия по деревообработке.

На основании поставленной цели необходимо выделить следующие задачи выпускной квалификационной работы:

- провести анализ состояния и требований по освещенности структурных подразделений предприятия;
- выбрать осветительные приборы;
- провести светотехнический расчет помещений предприятия;

- провести электрический расчет осветительной нагрузки предприятия;
- выбрать аппараты защиты;
- описать системы освещения предприятия.

Разработка системы освещения предприятия по деревообработке имеет практическую значимость, так как позволяет оптимизировать производственные процессы, снизить эксплуатационные расходы и повысить безопасность труда. Результаты работы могут быть использованы при проектировании или модернизации осветительных систем аналогичных объектов, а также служить основой для дальнейших исследований в области светотехники и энергоснабжения.

В работе использовались методы системного и инженерного анализа, расчета и моделирования электрических схем, а также экономического анализа.

1 Анализ состояния и требований по освещенности структурных подразделений предприятия

Системы электроосвещения предприятий играют важную роль в обеспечении нормальных условий труда, безопасности персонала и эффективности производственных процессов. Они должны быть спроектированы и эксплуатироваться в соответствии с действующими нормативными документами, такими как ГОСТ 50571, ПУЭ (Правила устройства электроустановок), СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», а также отраслевыми стандартами, учитывающими специфику конкретного предприятия. Основные требования к системам электроосвещения можно разделить на несколько категорий: функциональные, технические, экономические и эксплуатационные.

Функциональные требования. Система освещения должна обеспечивать необходимый уровень освещенности рабочих мест, соответствующий характеру выполняемых задач. Например, для металлургических предприятий, где проводятся точные операции (ремонт оборудования, контроль качества), минимальная освещенность может составлять 300–500 лк, а для общих зон (склады, проходы) — 50–150 лк. Освещение должно быть равномерным, без резких теней и бликов, чтобы снизить утомляемость глаз и повысить производительность труда. Также важно учитывать цветопередачу источников света (индекс Ra), особенно в цехах, где требуется точное распознавание цветов.

Технические требования. Система электроосвещения должна быть надежной и безопасной. Это предполагает использование источников света и светильников, устойчивых к условиям эксплуатации (повышенная температура, пыль, влажность, вибрации), характерным для промышленных объектов. Например, в термических цехах металлургического завода применяются светильники с высокой степенью защиты (IP54 и выше). Электрические сети освещения должны быть рассчитаны на подключение к

системе электроснабжения предприятия с учетом резервирования и надежности (например, вторая категория для рабочих зон). Важным аспектом является разделение рабочего, аварийного и эвакуационного освещения с независимыми источниками питания для последнего.

Экономические требования. Проектирование системы освещения должно предусматривать энергоэффективность и минимизацию эксплуатационных затрат. Современные предприятия отдают предпочтение светодиодным светильникам (LED), которые обладают высоким КПД, длительным сроком службы (до 50 000 часов) и позволяют снизить энергопотребление на 50–70% по сравнению с традиционными лампами накаливания или люминесцентными источниками. Также важно учитывать возможность автоматизации (датчики движения, регулировка яркости), что дополнительно сокращает расходы на электроэнергию.

Эксплуатационные требования. Система должна быть удобной в обслуживании и ремонте. Это включает доступность светильников для замены ламп или чистки, а также использование стандартизированных компонентов, упрощающих закупку запасных частей. Кроме того, необходимо предусмотреть мероприятия по защите от коротких замыканий и перегрузок, включая установку автоматических выключателей и устройств защитного отключения (УЗО). Регулярные осмотры и профилактическое обслуживание системы освещения должны быть организованы в соответствии с графиком, чтобы исключить сбои в работе.

Экологические и санитарные требования. Световые приборы не должны создавать электромагнитных помех или содержать вредные вещества (например, ртуть в больших количествах), что особенно актуально для утилизации отработанных ламп. Уровень шума от работы осветительного оборудования (например, дросселей) должен быть минимальным, чтобы не нарушать санитарные нормы.

Таким образом, системы электроосвещения предприятий должны сочетать высокую функциональность, надежность и экономичность,

соответствуя как общим нормативным требованиям, так и специфическим условиям производства. Правильная организация освещения способствует повышению безопасности, улучшению условий труда и оптимизации производственных процессов, что делает этот аспект неотъемлемой частью проектирования и эксплуатации промышленных объектов.

Объектом проектирования данной ВКР является предприятие по деревообработке, которое представляет собой отдельно стоящее производственное здание размерами 66 м × 41 м. Стены предприятия по деревообработке железобетонные, толщина стен предприятия по деревообработке составляет 60 см. Размеры колон на предприятии 60×60 см. Пол бетонный. Высота здания предприятия от пола до ферм перекрытия составляет шесть метров.

Силовые потребители электроэнергии получают питание от электросети 380 В. Схема питания электроприемников смешанная, принята с учетом технологического процесса производства, категории надежности электроснабжения, взаимным размещением ввода питания и потребителей электроэнергии, их единичной номинальной мощностью и расположением по площади предприятия по деревообработке.

Для проектирования системы электроосвещения деревообрабатывающего предприятия необходимо учитывать специфику помещений, их функциональное назначение, условия эксплуатации и требования к освещенности. Характеристики помещений влияют на выбор источников света, расчет уровня освещенности, размещение светильников и обеспечение безопасности. Основные параметры, которые следует учитывать, включают назначение помещений, размеры, окружающую среду и технологические особенности производства, а также значение нормативной освещенности помещений предприятия.

Характеристики помещений предприятия по деревообработке представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики помещений предприятия по деревообработке

Отделение	Ен, лк	Н _р , м	А, м	В, м	F, м ²	Минимальный требуемый уровень IP	Характеристика помещения по условиям окружающей среды	Р _п , %	Р _с , %	Р _{рп} , %
Цех распиловки и первичной обработки	200	3,7	24	15	360	54	Нормальное, пыльное	50	30	10
Цех механической обработки	200	3,7	24	15	360	54	Нормальное, пыльное	50	30	10
Складское помещение	150	3,7	24	6	168	54	Нормальное, пыльное	50	30	10
Цех сборки и отделки	20	3,7	18	15	270	54	Нормальное, пыльное	50	30	10
Инвентарная	200	3,7	18	6	108	54	Нормальное, пыльное	50	30	10
Цех сушки древесины	200	3,7	6	28	168	54	Нормальное, пыльное	50	30	10
Комната персонала	300	3,7	6	24	144	54	Нормальное, пыльное	50	30	10
Коридор	75	3,7	132	6	792	54	Нормальное, пыльное	50	30	10
Помещение ЦТП	100	3,7	20	8	160	54	Нормальное, пыльное	50	30	10

План предприятия по деревообработке представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – План предприятия по деревообработке

Выводы по разделу.

В первом разделе ВКР проведен всесторонний анализ состояния системы освещения деревообрабатывающего предприятия и определены требования к освещенности его структурных подразделений. Анализ функционального назначения подразделений позволил установить дифференцированные требования к уровням освещенности. Учет условий эксплуатации, таких как запыленность и температурный режим, подтвердил необходимость применения светильников с повышенной степенью защиты IP54 и устойчивостью к агрессивной среде.

Результаты анализа легли в основу характеристик помещений предприятия по деревообработке. Также приведен план предприятия, который отражает расположение структурных единиц и служит ориентиром для дальнейшего светотехнического проектирования. Таким образом, данный раздел обеспечил информационную базу для последующих расчетов и выбора оборудования, определив ключевые параметры, необходимые для разработки эффективной и соответствующей нормативам системы освещения.

2 Выбор осветительных приборов

Светодиодные светильники (LED, от англ. Light Emitting Diode) представляют собой осветительные устройства, в которых источником света служат полупроводниковые светодиоды. Они широко применяются в промышленности, быту и на предприятиях, включая деревообработку и металлургию, благодаря своей универсальности и эффективности. Принцип работы основан на явлении электролюминесценции: при прохождении электрического тока через полупроводник выделяется энергия в виде света. Светодиоды интегрируются в светильники различной конструкции — от подвесных и встраиваемых до переносных, что позволяет адаптировать их под конкретные условия эксплуатации. На сегодняшний день светодиодные светильники стали стандартом в проектировании современных систем освещения благодаря развитию технологий и снижению их стоимости.

Преимущества:

- энергоэффективность: светодиоды потребляют на 50–70% меньше электроэнергии по сравнению с традиционными лампами накаливания и на 20–30% меньше, чем люминесцентные лампы. Их световая отдача достигает 100–150 лм/Вт, что делает их идеальными для предприятий с длительным режимом работы;
- долговечность: срок службы светодиодных светильников составляет 30 000–50 000 часов (иногда до 100 000 часов), что в 10–50 раз превышает показатели ламп накаливания и в 3–5 раз — люминесцентных ламп. Это снижает частоту замен и затраты на обслуживание;
- высокая цветопередача и выбор температуры света: индекс цветопередачи (Ra) у качественных светодиодов достигает 80–90, что важно для деревообработки, где требуется точное восприятие оттенков материала. Доступны различные цветовые температуры (от

теплого 2700 К до холодного 6500 К), что позволяет настроить освещение под задачи;

- экологичность: светодиоды не содержат ртути и других токсичных веществ, в отличие от люминесцентных ламп, что упрощает утилизацию и снижает вред для окружающей среды;
- устойчивость к внешним условиям: светодиодные светильники обладают высокой механической прочностью, устойчивостью к вибрациям и перепадам температур (от -40 до $+50$ °C), что делает их подходящими для промышленных помещений с пылью, влажностью или экстремальными условиями;
- мгновенное включение и регулировка: светодиоды загораются мгновенно, без задержек, и совместимы с диммерами, датчиками движения и системами автоматизации, что повышает удобство и экономию энергии;
- низкое тепловыделение: в отличие от ламп накаливания, светодиоды выделяют минимальное количество тепла, что снижает нагрузку на системы вентиляции и риск перегрева в производственных цехах [1].

Недостатки:

- высокая начальная стоимость: несмотря на снижение цен, светодиодные светильники остаются дороже традиционных источников света на этапе покупки. Однако эта разница окупается в процессе эксплуатации за счет экономии электроэнергии и долговечности;
- чувствительность к качеству питания: светодиоды требуют стабильного напряжения и тока, что делает необходимым использование драйверов или блоков питания. Перепады напряжения могут сократить срок службы или привести к выходу из строя;
- деградация светового потока: со временем (обычно после 70% срока службы) яркость светодиодов снижается (до 70% от первоначальной),

- что может потребовать их замены раньше заявленного срока при высоких требованиях к освещенности;
- сложность ремонта: в случае поломки драйвера или светодиодного модуля ремонт может быть затруднен из-за интегральной конструкции светильника, что иногда делает замену более выгодной, чем восстановление;
 - ограничения по температуре: при длительной работе в условиях экстремально высоких температур (выше $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) возможно ускоренное старение светодиодов, что требует дополнительных мер охлаждения;
 - риск некачественной продукции: на рынке присутствуют светодиоды низкого качества с плохой цветопередачей ($R_a < 70$) или завышенными характеристиками, что требует тщательного выбора поставщиков [1].

Светодиодные светильники представляют собой передовое решение для систем освещения предприятий благодаря своим преимуществам в энергоэффективности, долговечности и адаптивности. Несмотря на некоторые недостатки, такие как высокая первоначальная стоимость и зависимость от качества питания, их использование оправдано в долгосрочной перспективе, особенно для деревообрабатывающих предприятий, где важны надежность, безопасность и экономия ресурсов. Правильный подбор светильников с учетом условий эксплуатации позволяет минимизировать недостатки и максимально реализовать их потенциал.

Система освещения должна соответствовать СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23–05–95) [18].

Для рабочего освещения всех помещений предприятия по деревообработке принимаются к установке светодиодные светильники Айсберг 76W–9500Lm IP65 (рисунок 2), производства компании «Всесветодиоды», технические характеристики которых даны в таблице 2 [19].

Светильник Айсберг 76W–9500Lm IP65 – это надежное и экономичное решение для организации качественного освещения в различных условиях. Его высокая энергоэффективность, долговечность и устойчивость к внешним воздействиям делают его идеальным выбором для промышленных, коммерческих и уличных объектов [19].



Рисунок 2 – Светильник Айсберг 76W–9500Lm IP65

Таблица 2 – Технические характеристики светильников Айсберг 76W–9500Lm IP65

Характеристики	Значение
Мощность	76 Вт
Коэффициент мощности	>0,9
Световой поток	9500 лм
Напряжение	220V
Светодиоды	OSRAM (Германия)
Цветовая температура	6000K, 4000K
Класс защиты IP по ГОСТ 14254–96	IP 65
Пульсация	< 5%,
Класс светораспределения по ГОСТ Р 54350	П
Тип КСС по ГОСТ Р 54350	Д
Индекс цветопередачи, Ra	>80
Климатическое исп. по ГОСТ 15150–69	УХЛ
Категория размещения по ГОСТ 15150–69	2
Диапазон рабочих температур	от –15 до +50
Срок службы светильника	100 000 часов
Рассеиватель	опал
Размер	1262 мм × 124 мм × 85 мм
Масса	3.0 кг

Выводы по разделу.

Во втором разделе ВКР проведен выбор осветительных приборов для системы рабочего освещения деревообрабатывающего предприятия на основе анализа требований к освещенности, условий эксплуатации. Учитывая специфику производственных помещений предприятия – высокую запыленность, и необходимость равномерного освещения с хорошей цветопередачей, – предпочтение отдано светодиодным технологиям, обеспечивающим энергоэффективность, долговечность и соответствие санитарным нормам.

Для всех помещений предприятия по деревообработке приняты к установке светодиодные светильники Айсберг 76W–9500Lm IP65. Выбор данных светильников обеспечивает создание надежной и функциональной системы рабочего освещения, соответствующей как технологическим задачам предприятия, так и современным стандартам энергоэффективности и безопасности.

3 Светотехнический расчет помещений предприятия

Светотехнический расчет является ключевым этапом проектирования системы освещения деревообрабатывающего предприятия, поскольку он определяет параметры осветительных установок, обеспечивающих нормативный уровень освещенности, комфортные условия труда и энергоэффективность. Данный раздел посвящен анализу и расчету освещения производственных помещений с учетом их функционального назначения, особенностей технологических процессов и требований нормативных документов, таких как СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» и отраслевые стандарты.

Основной целью светотехнического расчета является определение оптимального количества, типа и размещения осветительных приборов, а также их мощности для достижения требуемых показателей освещенности, равномерности распределения света и минимизации энергопотребления. В рамках раздела будут рассмотрены характеристики помещений предприятия, включая их геометрические параметры, коэффициенты отражения поверхностей и специфику производственных задач. Особое внимание будет уделено выбору современных светодиодных источников света, обладающих высокой энергоэффективностью и долговечностью, а также учету факторов, влияющих на зрительный комфорт работников, таких как цветовая температура и коэффициент пульсации света.

Для предприятия по деревообработке «светотехнический расчёт производится по методу коэффициента использования светового потока.

В цехе механической обработки с нормальными пыльными условиями среды, с разрядом зрительных работ IV, с размерами 24 м × 15 м × 6 м необходимо достигнуть освещенности $E_n = 200$ лк» [9].

«Расчетная высота, м:

$$H_p = h_{ном} - h_{p.н.} - h_c, \quad (1)$$

где $h_{\text{пом}}$ – высота помещения, равная 6 м;

$h_{\text{р.п.}}$ – высота рабочей поверхности, которая равна 0,8 м;

h_c – высота свеса осветительного прибора, которая принимается равной 1,5 м» [2];

$$H_p = 6 - 0,8 - 1,5 = 3,7 \text{ м.}$$

«Расстояние между рядами и светильниками в ряду, м:

$$L = \lambda_c \cdot H_p, \quad (2)$$

где λ_c – наивыгоднейшее относительное расстояние, равное 1,2» [2];

$$L = 1,2 \cdot 3,7 = 4,44 \text{ м.}$$

Количество рядов осветительных приборов в рассматриваемом помещении предприятия по деревообработке:

$$n_b = \frac{B}{L}, \quad (3)$$

$$n_b = \frac{15}{4,44} = 3,38.$$

«Принимаем количество рядов равным 3.

Расстояние по ширине от крайнего осветительного прибора до стены цеха:

$$l_B = \frac{B - L (n_b - 1)}{2}, \quad (4)$$

$$l_B = \frac{15 - 4,44 \cdot (3 - 1)}{2} = 3 \text{ м,}$$

$$l_B \approx (0,3...0,5) \cdot L,$$

$$3 \approx 1,33...2,22.$$

Условие не выполняется, принимаем $l_B = 3$ м, отсюда $L = 6$ м.

Индекс помещения, о.е.» [11]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (5)$$

где A и B – «длина и ширина рассматриваемого помещения предприятия по деревообработке;

H_p – высота подвеса осветительного прибора над рабочей поверхностью, м» [11];

$$i = \frac{24 \cdot 15}{3,7 \cdot (24 + 15)} = 2,49.$$

«Коэффициент использования в цехе механической обработки при $i = 2,49$, $\rho_{\Pi} = 0,5$, $\rho_c = 0,3$, $\rho_p = 0,1$ и КСС типа Д-2 принимается $\eta_{\Pi} = 54 \%$ » [3].

«Расчётная величина светового потока каждого ряда осветительных приборов:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot k_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{n_b \cdot \eta}, \quad (6)$$

где E_n – величина нормативной освещённости» [18], лк;

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

z – коэффициент, $z = 1.1$, о.е.;

S – площадь, м^2 [2],

$$S = A \cdot B; \quad (7)$$

$$S = 24 \cdot 15 = 360 \text{ м}^2.$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 360 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,54} = 68275,9 \text{ лм}.$$

Количество светильников в ряду равно:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{св}}}, \quad (8)$$

где $\Phi_{\text{св}}$ – световой поток светильников, для выбранного к применению светильника Айсберг 76W–9500Lm IP65 $\Phi_{\text{св}} = 9500 \text{ лм}$ [19];

$$N = \frac{68275,9}{9500} = 7,2$$

принимаем $N = 7$ светильников.

Определение возможности расположения полученного количества осветительных приборов [13]:

$$L_{\text{ряда}} = N \cdot l_{\text{свет}}, \quad (9)$$

где $l_{\text{свет}}$ – длина светильника, м,

$$L_{\text{ряда}} = 7 \cdot 1,262 = 8,834 \text{ м} < 24 \text{ м}.$$

Суммарное значение световых потоков расчетного и действительного определяется по выражениям [13]:

$$\Phi_{\Sigma p} = \Phi \cdot n, \quad (10)$$

$$\Phi_{\Sigma p} = 68275,9 \cdot 3 = 204827,7 \text{ лм};$$

$$\Phi_{\Sigma D} = 2 \cdot \Phi_{ном} \cdot N \cdot n, \quad (11)$$

$$\Phi_{\Sigma D} = 9500 \cdot 7 \cdot 3 = 199500 \text{ лм.}$$

Отличие действительного светового потока от требуемого [14]:

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{\Phi_D - \Phi_P}{\Phi_P} \cdot 100, \quad (12)$$

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{199500 - 204827,7}{204827,7} \cdot 100 \% = -2,6 \%,$$

что входит в рекомендуемый диапазон (–10%, +20%), окончательно принимается 21 светильник Айсберг 76W–9500Lm IP65.

Уточнённое значение установленной мощности электроосвещения [23]:

$$P_p = N \cdot P_{св} \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

где $P_{св}$ – мощность светильников, для светильника Айсберг 76W–9500Lm IP65, $P_{св} = 76$ Вт, Вт;

N – количество светильников, шт.;

$$P_p = 7 \cdot 3 \cdot 76 \cdot 10^{-3} = 1,60 \text{ кВт.}$$

Расчетную реактивную нагрузку электроосвещения можно определить по выражению [23]:

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

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi)),$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент активной мощности освещения, $\cos \varphi = 0,9$ [4],

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos(0,9)) = 0,48,$$

$$Q_p = 1,60 \cdot 0,48 = 0,77 \text{ квар.}$$

«Расчёт нагрузки освещения методом коэффициента использования светового потока для других помещений предприятия по деревообработке выполняется аналогично, расчет электроосвещения в помещении ЦТП делается точечным методом, пример расчёта приведен ниже» [6].

Применение электросетей, которые питают силовые потребители электроэнергии, для «питания электроосвещения безопасности и эвакуационного электроосвещения в производственных помещениях без естественного электроосвещения не допускается. Светильники эвакуационного освещения и светильники рабочего освещения должны подключаться от различных независимых ИП. Светильники аварийного освещения должны продолжать работать в случае аварийного отключения рабочего освещения» [6].

Для эвакуационного электроосвещения над выходами предусмотрены световые указатели «Выход», выполненные светильниками марки НББ02–25 в помещениях со степенью защиты IP54. Параметры данных светильников приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры светильников НББ02–25

Параметры	Значения
Источник света	Лампа накаливания
Тип цоколя	E14
Мощность лампы	25 Вт
Номинальное напряжение	220 В
Габариты	180 мм × 145 мм × 66 мм
Степень защиты	IP54
Класс защиты от поражения электрическим током	1
Ударопрочность	IK08

«Расчет освещенности в контрольной точке D (данная контрольная точка показана на рисунке 3) производится по точечному методу, который заключается в определении суммарной освещенности, определяемой величинами сил света всех точечных излучателей, освещающих рассматриваемую точку» [24]:

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

где Φ – световой поток светильников, для Айсберг 76W–9500Lm IP65

$\Phi = 9500$ лм [19];

μ – коэффициент, $\mu = 1,2$;

Σe – сумма освещенностей в рассматриваемой точке от ближайших осветительных приборов, лк;

k – коэффициент запаса, $k = 1,5$.

Освещенность в точке от i -го осветительного прибора [24]:

$$e_1 = e_{100} \cdot \frac{I_\alpha}{100}, \quad (16)$$

где e_{100} – величина горизонтальной освещенности для силы света ИС, равной 100 кд [5],

I_α – величина силы света [5].

«Величина суммарной освещенности равна:

$$\Sigma e = e_1 + e_2 + \dots + e_n, \quad (17)$$

где e – определяется по пространственным изолюксам условной горизонтальной освещенности» [24].

Расчетная высота:

$$H_p = 6 - 0 - 1,5 = 4,5 .$$

Расчетная высота для помещения ЦТП, м:

$$H_p = 6 - 2,2 - 1,5 = 2,3 .$$

Расчёт аварийного освещения представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Расчёт аварийного освещения

Точка	H _p , м	D, м	α, градус	e ₁₀₀ , лк	Iα	e, лк
1-D	2,3	3,12	32,1	5,89	276,4	16,28
2-D	2,3	3,12	32,1	5,89	276,4	16,28

Величина суммарной освещенности в точке D

$$\Sigma e_D = 16,28 + 16,28 = 32,56 \text{ лк.}$$

«Величина освещенности в точке D

$$E_D = \frac{9500 \cdot 1,2 \cdot 32,56}{1000 \cdot 1,5} = 247,46 \text{ лк} > 100 \text{ лк.}$$

Данное расположение светильников удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к аварийному электроосвещению и условию освещенности в помещении ЦТП.

Уточнённое значение установленной мощности электроосвещения в помещении ЦТП» [25]:

$$P_p = N \cdot P_{св} \cdot 10^{-3}, \quad (18)$$

где N – число светильников, в помещении ТП, $N = 4$ шт, по 2 с противоположных сторон данного помещения;

$P_{\text{св}}$ – мощность одного светильника Айсберг 76W–9500Lm IP65,

$P_{\text{св}} = 76$ Вт;

$$P_p = 4 \cdot 76 \cdot 10^{-3} = 0,30 \text{ кВт.}$$

Расчетную реактивную нагрузку освещения в помещении ЦТП можно определить по формуле [25]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (19)$$

$$Q_p = 0,30 \cdot 0,48 = 0,14 \text{ квар. .}$$

«Расчетная нагрузка аварийного электроосвещения предприятия по деревообработке (светильники аварийного освещения установлены в коридоре рассматриваемого предприятия по деревообработке и выделены красным цветом на листе 3 графической части ВКР)» [6]:

$$P_p = 6 \cdot 76 \cdot 10^{-3} = 0,46 \text{ кВт.}$$

«Расчетная реактивная нагрузка аварийного электроосвещения предприятия по деревообработке (светильники аварийного освещения установлены в коридоре рассматриваемого предприятия по деревообработке и выделены красным цветом в листе 3 графической части)» [6]:

$$Q_p = 0,46 \cdot 0,48 = 0,22 \text{ квар. .}$$

Уточнённая величина установленной мощности электроосвещения световых указателей «Выход»:

$$P'_{уст} = 2 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,05 \text{ кВт.}$$

Расчетная нагрузка освещения световых указателей «Выход»:

$$P_p = 1 \cdot 0,05 = 0,05 \text{ кВт.}$$

Общая нагрузка аварийного освещения:

$$P_p = 0,46 + 0,05 = 0,51 \text{ кВт.}$$

Общая реактивная нагрузка аварийного освещения:

$$Q_p = 0,22 \text{ квар.}$$

Размещение осветительных приборов в помещении ЦТП показаны на рисунке 3.

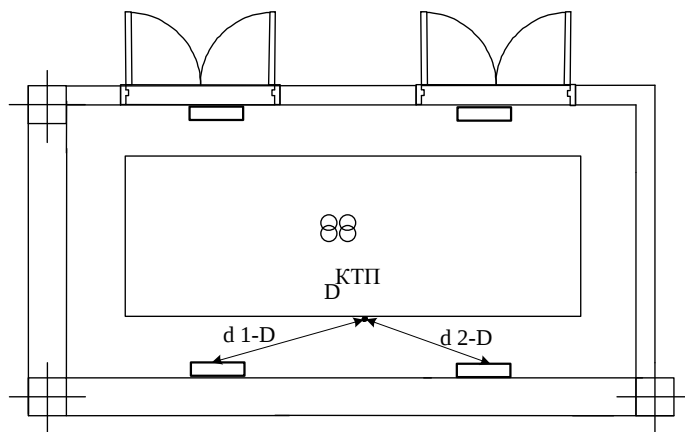


Рисунок 3 – Расположение светильников в помещении ЦТП

Результаты расчета осветительных нагрузок по другим помещениям предприятия по деревообработке приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет осветительных нагрузок

Отделение	Светильник	Ен, лк	F, м²	п _б , шт	i, о.е.	η, о.е	Φ, лм	N, шт	Δ, %	P _{св} , Вт	P _р , кВт	Q _р , квар
Цех распиловки и первичной обработки	Айсберг 76W–9500Lm IP65	200	360	3	2,49	0,54	68275,9	7	2,1	76	1,60	0,77
Цех механической обработки	Айсберг 76W–9500Lm IP65	200	360	3	2,49	0,54	68275,9	7	2,1	76	1,60	0,77
Складское помещение	Айсберг 76W–9500Lm IP65	150	168	2	1,34	0,31	67064,5	8	0,8	76	1,22	0,58
Цех сборки и отделки	Айсберг 76W–9500Lm IP65	200	270	3	2,21	0,41	72439	7	2,3	76	1,60	0,77
Инвентарная	Айсберг 76W–9500Lm IP65	200	108	2	1,22	0,3	59400	6	1,1	76	0,91	0,44
Цех сушки древесины	Айсберг 76W–9500Lm IP65	200	168	2	1,34	0,31	89419,4	9	1,1	76	1,37	0,66
Комната персонала	Айсберг 76W–9500Lm IP65	300	144	2	1,3	0,31	114968	12	1,0	76	1,82	0,88
Коридор	Айсберг 76W–9500Lm IP65	75	792	1	1,55	0,34	288265	30	0,0	76	2,28	1,09
Помещение ЦТП	Айсберг 76W–9500Lm IP65	100	160	2	–	–	–	2	–	76	0,30	0,15
Итого	–	–	360	–	–	–	–	–	–	–	12,69	6,09

Выводы по разделу.

В третьем разделе ВКР в результате проведенного светотехнического расчета для помещений деревообрабатывающего предприятия определены оптимальные параметры системы освещения, обеспечивающие соответствие нормативным требованиям, высокий уровень зрительного комфорта и энергоэффективность. Для общего освещения всех производственных помещений приняты к установке светодиодные светильники Айсберг 76W–9500Lm IP65. Для эвакуационного электроосвещения над выходами предусмотрены световые указатели «Выход», выполненные светильниками марки НББ02–25, соответствующие степени защиты IP54, что обеспечивает их эффективное применение в помещениях с нормальными условиями эксплуатации. Также выполнены расчеты аварийного освещения, гарантирующие безопасность персонала в случае чрезвычайных ситуаций. Разработанные решения способствуют созданию комфортных и безопасных условий труда, снижению энергопотребления и повышению общей эффективности работы предприятия.

4 Электрический расчет осветительной нагрузки предприятия

Выбор схемы электроснабжения и напряжения питания осветительной сети

Надежное и эффективное электроснабжение осветительной сети является важным условием функционирования системы освещения деревообрабатывающего предприятия. Данный раздел посвящен выбору оптимальной схемы электроснабжения и определению напряжения питания осветительной сети, которые обеспечивают стабильную работу осветительных установок, соответствие нормативным требованиям и минимизацию энергопотерь.

В процессе выбора схемы электроснабжения учитываются особенности производственной инфраструктуры предприятия, включая планировку помещений, мощность и расположение осветительного оборудования, а также требования к безопасности и энергоэффективности, регламентированные ПУЭ и другими нормативными документами. Особое внимание уделяется анализу нагрузок, выбору типа питающей сети (однофазной или трехфазной), а также определению оптимального уровня напряжения.

Разработанные решения по схеме электроснабжения и напряжению питания осветительной сети станут основой для обеспечения бесперебойной работы системы освещения, повышения ее надежности и оптимизации эксплуатационных затрат предприятия.

Для электроосвещения предприятия по «деревообработке питающие линии выполняются пятижильными кабелями, а групповые – трехжильными. Для осветительных приборов аварийного электроосвещения необходимо установить отдельный щит. Аварийный щит будет питать осветительные приборы эвакуационного электроосвещения, которые подключаются к электросети, не зависящей от рабочего электроосвещения» [6].

Схема осветительной сети предприятия по деревообработке приведена

на рисунке 4.

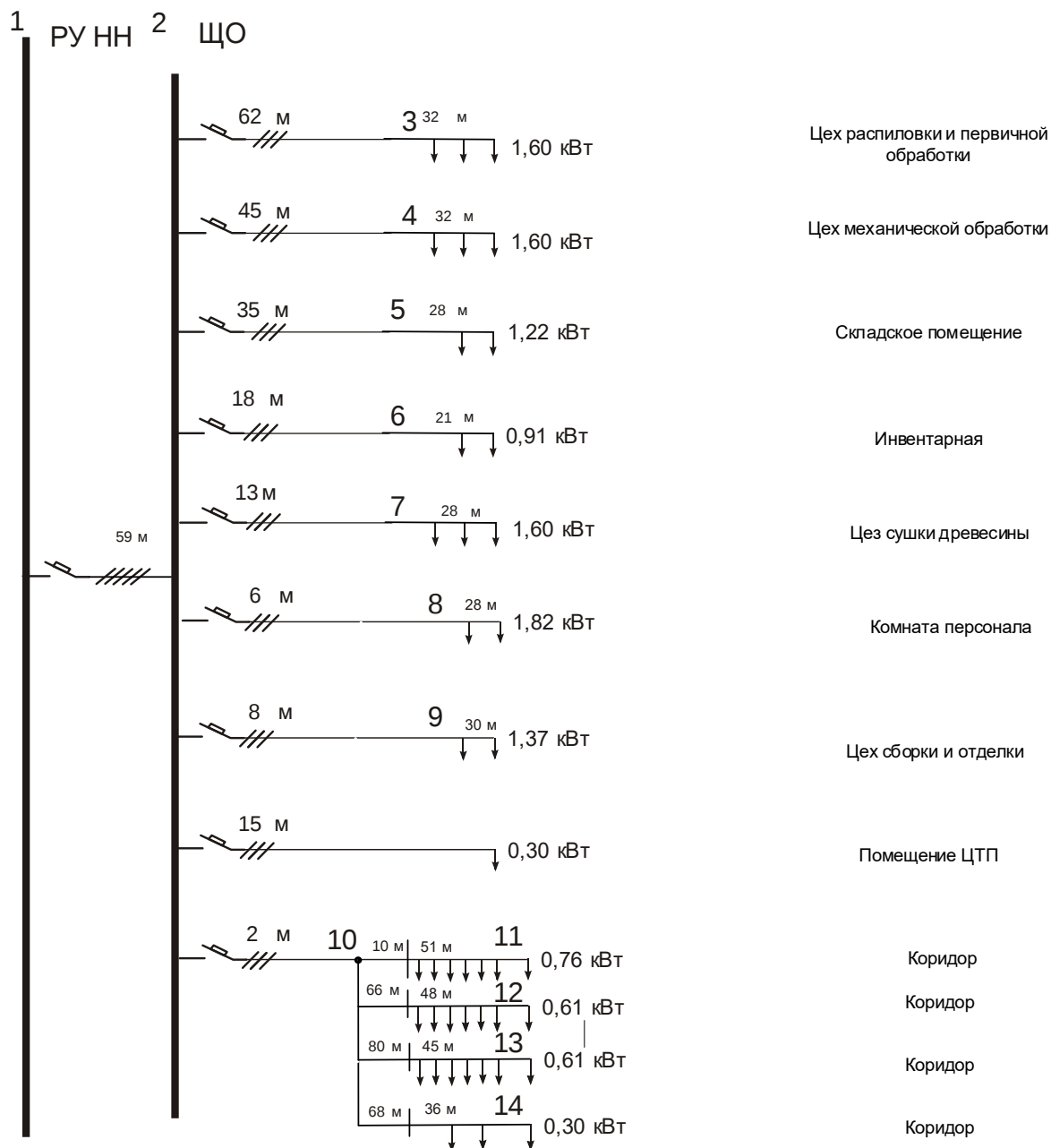


Рисунок 4 – Схема осветительной сети предприятия по деревообработке

В качестве щитов аварийного и рабочего освещения принимаются пластиковые распределительные навесные щиты ЩРН–П–12 IP65 типа Kaedra, производства компании «Schneider Electric». Характеристики данных щитов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики распределительных щитов Kaedra

Параметр	Значение
Количество модулей DIN	12
Способ монтажа	Навесной
Степень защиты	IP65
Глубина, мм	160
Высота, мм	280
Ширина, мм	340
Напряжение, В	220
Нормативный документ	IEC 62208
Исполнение	Навесное
Климатическое исполнение	УХЛ4
Масса, кг	2

Расчет и выбор сечений кабелей осветительной сети

Сечение жил кабелей сети освещения вычисляется по «условию допустимой потери напряжения».

Сечение проводника:

$$F = \frac{\Sigma M + \alpha \cdot \Sigma m}{C \cdot \delta U_{\text{доп}}}, \quad (20)$$

где ΣM – сумма моментов рассчитываемого и всех последующих по направлению потока электроэнергии участков с таким же числом проводов, что и у рассчитываемого участка.

Момент нагрузки i –того участка сети» [16]:

$$M_i = P_i \cdot L_i, \quad (21)$$

где P_i – «мощность на i –том участке;

L_i – протяженность i –того участка;

Σm – сумма моментов всех ответвлений, питающихся через рассчитываемый участок, но имеют другое число проводов;

α – коэффициент приведения моментов, когда ответвления имеют

иное число жил кабелей, чем рассчитываемый участок;

C – коэффициент» [6];

$\delta U_{\text{доп}}$ – допустимая величина потери напряжения сети освещения [6],

которая составляет 7,65 % при $\cos \varphi_n = 0,9$, $S_{\text{мр}} = 250 \text{ кВА}$ и $K_s = 0,64$.

Схема электросети освещения показана на рисунке 4.

Определяются моменты на всех участках:

$$M_{1-2} = 12,7 \cdot 15 = 190,5 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{2-3} = 1,60 \cdot (63 + 32) = 152,0 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{2-4} = 1,60 \cdot (45 + 32) = 123,2 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{2-5} = 1,22 \cdot (35 + 28) = 76,9 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{2-6} = 0,91 \cdot (18 + 21) = 35,5 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{2-7} = 1,60 \cdot (13 + 28) = 65,6 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{2-8} = 1,82 \cdot (6 + 28) = 61,9 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{2-КТП} = 0,3 \cdot 15 = 4,5 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{2-10} = 2,28 \cdot 2 = 4,6 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{10-11} = 0,76 \cdot (10 + 51) = 46,4 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{10-12} = 0,61 \cdot (66 + 48) = 69,3 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{10-13} = 0,61 \cdot (80 + 45) = 76,0 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$m_{10-14} = 0,30 \cdot (68 + 36) = 31,6 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Сумма моментов:

$$\Sigma M = M_{1-2} = 190,5 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$\Sigma m = m_{2-3} + m_{2-4} + m_{2-5} + m_{2-6} + m_{2-7} + m_{2-8} + m_{2-9} + m_{2-КТП} + m_{2-10} + m_{10-11} +$$

$$+ m_{10-12} + m_{10-13} + m_{10-14};$$

$$\Sigma m = 152 + 123,2 + 76,9 + 35,5 + 65,6 + 61,9 + 23,3 + 4,5 + 4,6 + 46,4 + 69,3 +$$

$$76,0 + 31,6 = 770,7 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Сечение проводника равно:

$$F_{1-2} = \frac{190,5 + 1,85 \cdot 770,7}{56 \cdot 7,65} = 2,7 \text{ мм}^2.$$

принимается $F_{1-2} = 4 \text{ мм}^2$.

«Проверка по допустимому нагреву:

$$I_p \leq k_{II} \cdot I_{дон}. \quad (22)$$

где I_p – расчетный ток линии,

K_{II} – поправочный коэффициент;

$I_{дон}$ – длительно допустимый ток кабелей такого сечения.

$$I_{дон} = I_{дон}^{табл} \cdot 0,92, \quad (23)$$

где $I_{дон}^{табл}$ – длительно допустимый ток согласно ПУЭ» [17],

0,92 – коэффициент,

$$I_{дон} = 34 \cdot 0,92 = 31,3 \text{ А},$$

$$I_p = \frac{12,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 21,5 \text{ А} < 31,3 \text{ А}.$$

Условие выполняется.

Принимается кабель ВВГнг–LS 5×4,

Действительная потеря напряжения на участке 1–2 [16]:

$$\delta U_{1-2} = \frac{M_{1-2}}{C \cdot F_{1-2}}, \quad (24)$$

$$\delta U_{1-2} = \frac{190,5}{56 \cdot 4} = 0,85 \, \%.$$

Допустимая потеря напряжения на остальных участках [16]:

$$\delta U'_{\text{доп}} = \delta U_{\text{доп}} - \delta U_{1-2}, \quad (25)$$

$$\delta U'_{\text{доп}} = 7,65 - 0,85 = 6,8 \, \%.$$

Дальнейший расчёт выполняется аналогично. Проводники системы электроосвещения остальных участков даны в таблице 7.

Для питающей и групповой электросети выбираем кабель марки ВВГнг–LS. Для сетей аварийного освещения принимается кабель ВВГнг–FRLS.

Таблица 7 – Проводники системы электроосвещения

Линия	ΣM , кВт·м	Σm , кВт·м	$\delta U_{\text{доп}}$, %	C, о.е.	F, мм ²	F _{ст} , мм ²	I _p , А	I _{доп} , А	δU , %	Марка кабеля
1–2	190,5	770,7	7,65	56	2,7	4	21,5	34	0,85	ВВГнг–LS 5×4
2–3		152,0	6,8	22	1,02	1,5	2,7	19	4,61	ВВГнг–LS 3×1,5
2–4		123,2	6,8	22	0,82	1,5	2,7	19	3,73	ВВГнг–LS 3×1,5
2–5		76,9	6,8	22	0,51	1,5	2,1	19	2,33	ВВГнг–LS 3×1,5
2–6		35,5	6,8	22	0,24	1,5	1,5	19	1,08	ВВГнг–LS 3×1,5
2–7		65,6	6,8	22	0,44	1,5	2,7	19	1,99	ВВГнг–LS 3×1,5
2–8		61,9	6,8	22	0,41	1,5	3,1	19	1,88	ВВГнг–LS 3×1,5
2–9		23,3	6,8	22	0,16	1,5	2,3	19	0,71	ВВГнг–LS 3×1,5
2– ЦТП		4,5	6,8	22	0,03	1,5	0,5	19	0,14	ВВГнг–LS 3×1,5
2–10		4,6	6,8	22	0,03	1,5	3,9	19	0,14	ВВГнг–LS 3×1,5
10–11		46,4	6,8	22	0,31	1,5	1,3	19	1,41	ВВГнг–LS 3×1,5
10–12		69,3	6,8	22	0,46	1,5	1,0	19	2,10	ВВГнг–LS 3×1,5
10–13		76,0	6,8	22	0,51	1,5	1,0	19	2,30	ВВГнг–LS 3×1,5
10–14		31,6	6,8	22	0,21	1,5	0,5	19	0,96	ВВГнг–LS 3×1,5

Выводы по разделу.

В четвертом разделе ВКР выполнен комплексный электрический расчет осветительной нагрузки деревообрабатывающего предприятия, включающий выбор схемы электроснабжения, напряжения питания и определение сечений кабелей осветительной сети, что обеспечивает надежность, безопасность и энергоэффективность системы освещения.

На основе анализа производственных характеристик предприятия и требований нормативных документов выбрана оптимальная схема электроснабжения, обеспечивающая равномерное распределение нагрузки и стабильное питание осветительных установок. В качестве щитов аварийного и рабочего освещения принимаются пластиковые распределительные навесные щиты ЩРН–П–12 IP65 типа Kaedra, производства компании «Schneider Electric».

Проведен расчет электрических нагрузок с учетом мощности осветительного оборудования и длины линий. На основе полученных данных выбраны сечения кабелей, соответствующие требованиям по допустимому току, падению напряжения и пожарной безопасности. Применение кабелей с оптимальными параметрами обеспечивает надежность электроснабжения, снижение энергопотерь и долговечность осветительной сети. Для питающей и групповой электросети выбираем кабель марки ВВГнг–LS. Для сетей аварийного освещения принимается кабель ВВГнг–FRLS.

5 Расчет и выбор аппаратов защиты

Расчёт токов КЗ

Расчет ТКЗ требуется для проверки устанавливаемых автоматических выключателей.

Расчёт необходимо начать с составления расчетной схемы с нанесением на нее точек КЗ, которая приведена на рисунке 5.

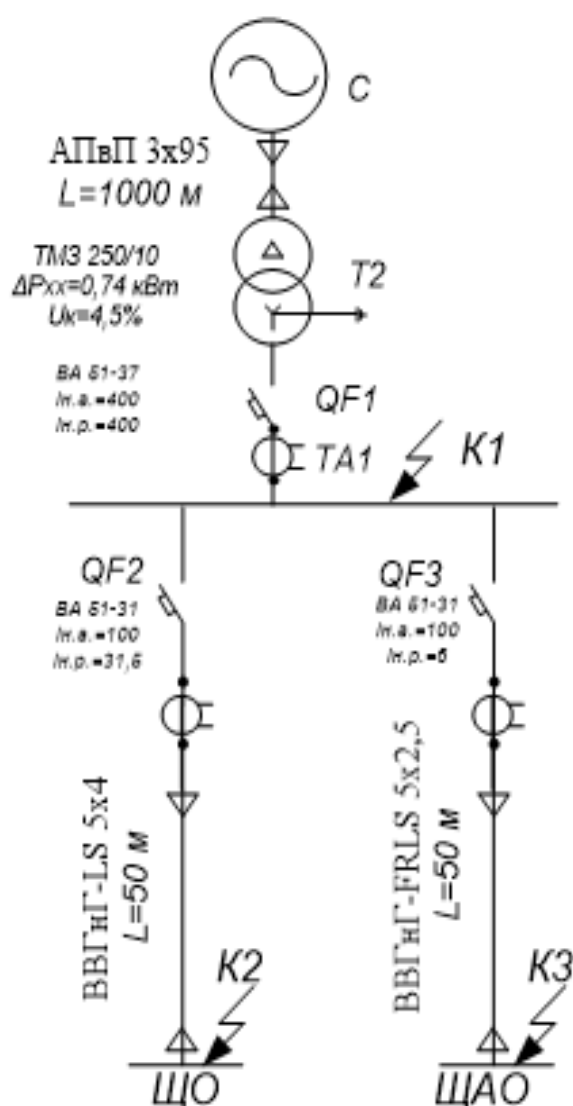


Рисунок 5 – Расчетная схема сети

«Далее составляем схему замещения, на которой показаны активные и реактивные сопротивления в именованных единицах, которые приводятся к ступени напряжения электросети точки короткого замыкания. Схема замещения показана на рисунке 6» [10].

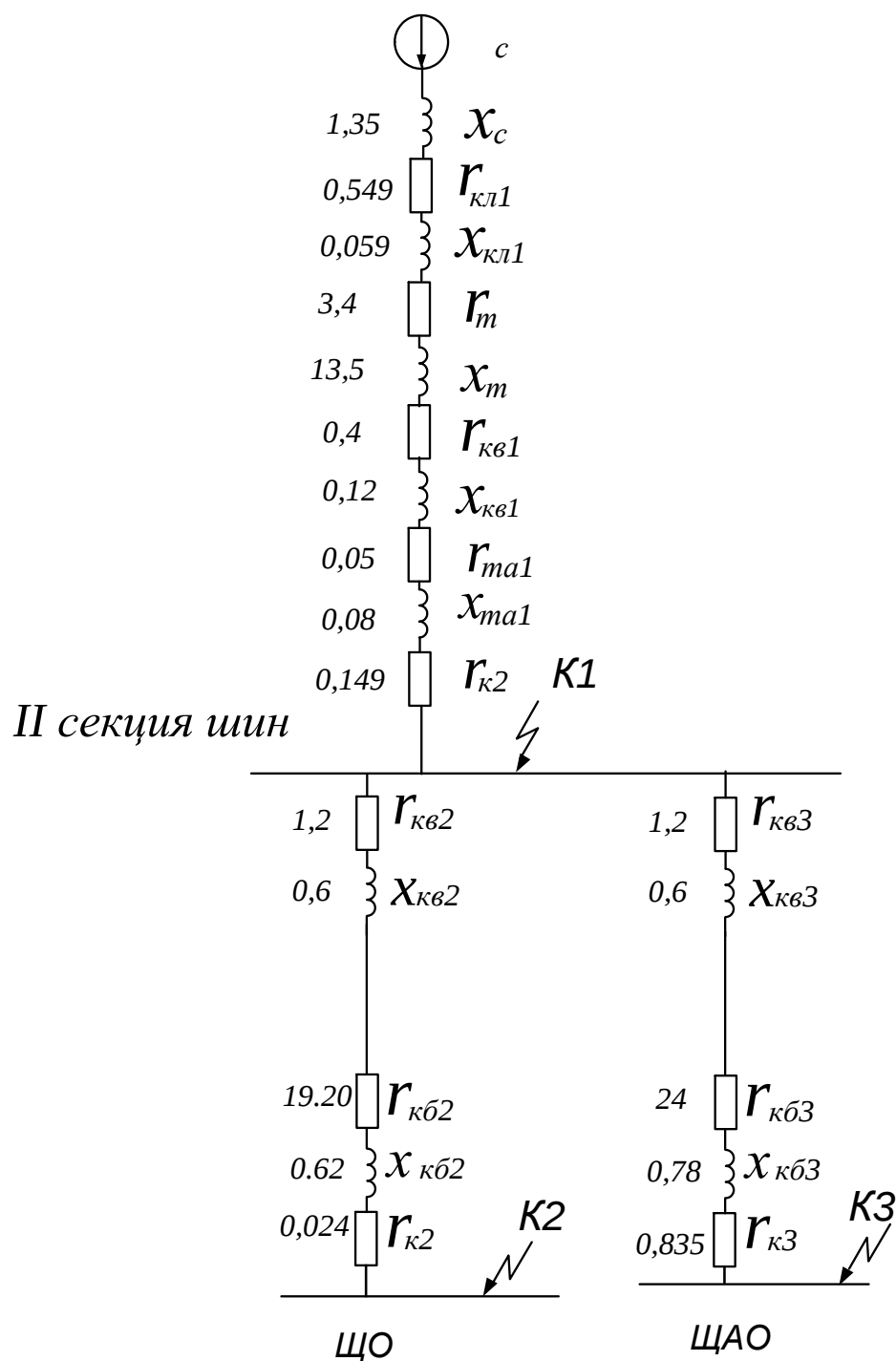


Рисунок 6 – Схема замещения сети

«Ниже приводится пример расчёта ТКЗ для точки К1.

Расчёт параметров схемы замещения прямой и нулевой последовательности.

Сопротивление энергосистемы:

$$X_c = \frac{U_{срнн}^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_{квн} \cdot U_{срвн}}, \quad (26)$$

где $U_{срнн}$ – напряжение ступени низшего напряжения силового трансформатора; $U_{срнн} = 0,4$ кВ,

$U_{срвн}$ – напряжение ступени высшего напряжения, к которой подключается силовой трансформатор, $U_{срвн} = 10,5$ кВ,

$I_{квн}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном к.з. у выводов ВН трансформатора (при отсутствии данных может быть заменен на ток $I_{н.откл.}$ – номинальный ток отключения выключателя, который установлен на ступени ВН трансформатора)» [10];

$$X_c = \frac{0,4^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 10,5} = 1,35.$$

сопротивление трансформатора [10]

$$r_{1T} = 3,4 \text{ мОм};$$

$$x_{1T} = 13,5 \text{ мОм}.$$

Для трансформатора со схемой соединения Δ/Y_0 :

$$r_{0T} = r_{1T} = 3,4 \text{ мОм};$$

$$x_{0T} = x_{1T} = 13,5 \text{ мОм};$$

сопротивление катушек выключателя ВА55–37 [10]:

$$r_{KB} = 0,4 \text{ мОм};$$

$$x_{KB} = 0,12 \text{ мОм};$$

$$r_{0KB} = r_{KB};$$

$$x_{0KB} = x_{KB};$$

«Активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности катушек автоматов, мОм,

для QF1: $r_{кв} = 0,4 \text{ мОм}; x_{кв} = 0,12 \text{ мОм};$

для QF2 и QF3: $r_{кв} = 1,2 \text{ мОм}; x_{кв} = 0,6 \text{ мОм};$

Принимается, что $r_{кв} = r_{кв0}; x_{кв} = x_{кв0}.$

Активное сопротивление контактных соединений при трёхфазном коротком замыкании (учитываются сопротивления разъемных контактов автоматических выключателей, контактных соединений силовых кабелей) по» [10]:

$$r_{к2} = 0,024 \text{ мОм};$$

$$r_{к3} = 0,75 + 0,085 = 0,835 \text{ мОм}.$$

Активные сопротивления дуги при трёхфазном КЗ по [10]:

при КЗ на шинах НН – $r_{д} = 7 \text{ мОм};$

при КЗ на ЩО – $r_{д} = 32 \text{ мОм};$

при КЗ на ЩАО – $r_{д} = 30 \text{ мОм};$

Активные сопротивления дуги при однофазном КЗ:

при КЗ на шинах НН – $r_{д} = 7 \text{ мОм};$

при КЗ на ЩО – $r_{д} = 36 \text{ мОм};$

при КЗ на ЩАО – $r_0 = 35 \text{ мОм}$;

«Активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности кабелей и проводов:

$$r_{\kappa\bar{o}} = \frac{r'_{\kappa\bar{o}} \cdot l}{n}, \quad (27)$$

где $r'_{\kappa\bar{o}}$ – погонные активные сопротивления прямой последовательности силовых кабелей (проводов), мОм/м;
 l – протяженность КЛ, м;
 n – количество кабелей» [8];

$$x_{\kappa\bar{o}} = \frac{x'_{\kappa\bar{o}} \cdot l}{n}, \quad (28)$$

где $x'_{\kappa\bar{o}}$ – «погонные индуктивные сопротивления прямой последовательности силовых кабелей (проводов), мОм/м;
 l – протяженность КЛ, м;

Активное и индуктивное сопротивление нулевой последовательности силовых кабелей равно» [8]:

$$r_{0\kappa\bar{o}} = \frac{r'_{0\kappa\bar{o}} \cdot l}{n}, \quad (29)$$

$$x_{0\kappa\bar{o}} = \frac{x'_{0\kappa\bar{o}} \cdot l}{n}, \quad (30)$$

где $r'_{0\kappa\bar{o}}$, $x'_{0\kappa\bar{o}}$ – погонное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности силовых кабелей [22].

Результаты расчета параметров схемы замещения представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчета параметров схемы замещения

Линия	$r_{KB}, \text{МОм}$	$x_{KB}, \text{МОм}$	$r_{KB}, \text{МОм}$	$x_{KB}, \text{МОм}$	$r_{0KB}, \text{МОм}$	$x_{0KB}, \text{МОм}$
КТП–ЩО	1,2	0,6	19,20	0,62	28,16	3,25
КТП–ЩАО	1,2	0,6	24,00	0,78	35,20	4,06

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{п0}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (31)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение электросети низкого напряжения, В;

$r_{1\Sigma}, x_{1\Sigma}$ – суммарное активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности цепи до точки короткого замыкания, МОм.

Апериодическую составляющую тока короткого замыкания в начальный момент короткого замыкания можно определить по выражению» [10]:

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(3)}, \quad (32)$$

Ударный ток короткого замыкания можно определить по выражению

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(3)} \cdot K_{уд}, \quad (33)$$

где $K_{уд}$ – ударный коэффициент [12].

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока 1–фазного КЗ:

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}{\sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (34)$$

где $r_{0\Sigma}, x_{0\Sigma}$ – суммарные активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цепи до точки КЗ.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока двухфазного короткого замыкания можно определить по выражению» [10]:

$$I_{п0}^{(2)} = \frac{U_{ном}}{2 \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}. \quad (35)$$

Приведем расчет ТКЗ для точки КЗ К1.

Суммарное активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности в максимальном режиме:

$$r_{1\Sigma} = r_m + r_{кв} + r_k + r_{кл} + r_{та}, \quad (36)$$

$$x_{1\Sigma} = x_{кл} + x_c + x_T + x_{кв} + x_{та}, \quad (37)$$

$$r_{1\Sigma} = 0,549 + 3,4 + 0,4 + 0,05 + 0,149 = 4,562 \text{ Ом};$$

$$x_{1\Sigma} = 1,35 + 0,059 + 13,5 + 0,12 + 0,08 = 15,106 \text{ Ом}$$

$$\frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma}} = \frac{15,106}{4,562} = 3,31.$$

«Суммарное активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности в минимальном режиме равно» [10]:

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{д1}, \quad (38)$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma}, \quad (39)$$

$$r'_{1\Sigma} = 4,562 + 7 = 11,562,$$

$$x_{1\Sigma} = 15,106,$$

$$\frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma}} = \frac{15,106}{11,562} = 1,31.$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ в максимальном и минимальном режимах» [10]:

$$I_{n0\max}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{4,562^2 + 15,106^2}} = 14,652 \text{ кА},$$

$$I_{n0\min}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{11,562^2 + 15,106^2}} = 12,042 \text{ кА}.$$

Значение ударного тока в максимальном режиме составляют:

$$\varphi_{K\max} = \arctg \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \arctg \frac{15,106}{4,562} = 73,20,$$

$$t_{y0} = 0,01 \cdot \frac{90 + 73,20}{180} = 0,009 \text{ с},$$

$$T_a = \frac{15,106}{314 \cdot 4,562} = 0,011 \text{ с},$$

$$K_{y0\max} = 1 + \sin 73,2 \cdot e^{-\frac{0,009}{0,011}} = 1,422,$$

$$i_{y0\max} = \sqrt{2} \cdot 14,652 \cdot 1,422 = 29,465 \text{ кА}.$$

Значение ударного тока в минимальном режиме составляют

$$\varphi_{K\min} = \arctg \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \arctg \frac{15,106}{11,562} = 52,57,$$

$$t_{y0} = 0,01 \cdot \frac{90 + 52,57}{180} = 0,0079 \text{ с},$$

$$T_a = \frac{15,106}{314 \cdot 11,562} = 0,0042 \text{ с},$$

$$K_{y\varnothing\min} = 1 + \sin 52,47 \cdot e^{\frac{0,0079}{0,0042}} = 1,12,$$

$$i_{y\varnothing\min} = \sqrt{2} \cdot 12,651 \cdot 1,12 = 20,041 \text{ кА}.$$

«Значение аperiodической составляющей ТКЗ в максимальном и минимальном режимах составляют» [10]:

$$i_{a0\max} = \sqrt{2} \cdot 14,652 = 20,721 \text{ кА},$$

$$i_{a0\min} = \sqrt{2} \cdot 12,042 = 17,030 \text{ кА}.$$

«Суммарное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности составляет» [10]:

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{0к\kappa 1} + r_{0к1}, \quad (40)$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0T} + x_{0к\kappa 1}, \quad (41)$$

$$r'_{0\Sigma} = r_{0\Sigma} + r_{\delta}, \quad (42)$$

$$r_{0\Sigma} = 3,4 + 0,4 + 0,149 = 3,949 \text{ мОм},$$

$$x_{0\Sigma} = 13,5 + 0,08 = 13,58 \text{ мОм},$$

$$r'_{0\Sigma} = 3,949 + 7 = 10,949 \text{ Ом}.$$

«Начальные действующие значения периодической составляющей тока однофазного КЗ в максимальном и минимальном режимах составляют» [10]:

$$I_{n0\max}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 4,562 + 3,949)^2 + (2 \cdot 15,106 + 13,58)^2}} = 14,986 \text{ кА};$$

$$I_{n0\min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 11,562 + 10,949)^2 + (2 \cdot 15,106 + 13,58)^2}} = 12,384 \text{ кА}.$$

Начальные действующие значения периодической составляющей тока двухфазного КЗ в максимальном и минимальном режимах составляют:

$$I_{n0\max}^{(2)} = \frac{400}{2 \cdot \sqrt{4,562^2 + 15,106^2}} = 12,674 \text{ кА},$$

$$I_{n0\min}^{(2)} = \frac{400}{2 \cdot \sqrt{(4,562 + 7/2)^2 + 15,106^2}} = 11,680 \text{ кА}.$$

Для остальных точек КЗ расчёт выполняется аналогично, результаты расчёта сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты расчёта ТКЗ

Точка КЗ	$I_{\text{по}(3)\max}$	$I_{\text{по}(3)\min}$	$I_{\text{по}(2)\max}$	$I_{\text{по}(2)\min}$	$I_{\text{по}(1)\max}$	$I_{\text{по}(1)\min}$	$I_{\text{уд}\max}$	$I_{\text{уд}\min}$	$I_{\text{а}\max}$	$I_{\text{а}\min}$
К1	14,652	12,062	12,674	11,680	14,986	12,384	29,465	20,041	20,721	17,030
К2	7,964	6,865	7,153	6,657	8,265	6,965	16,456	11,258	11,363	9,452
К3	6,198	5,120	5,356	4,866	6,652	5,233	14,254	8,824	9,054	7,564

Исходя из данных расчетов видно, что максимальные токи КЗ в электросети меньше, чем номинальный ток отключения выбранных АВ ВА51–31, который составляет 25 кА, и выключателей Acti9 iC60L, номинальный ток отключения которых составляет 15 кА, поэтому выбранные автоматические выключатели проходят проверку по электродинамической стойкости.

Выбор автоматических выключателей системы электроосвещения

Рассмотрим выбор автоматического выключателя на примере вводного автоматического выключателя щита ЩО.

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям.

По номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст}}; \quad (43)$$

$$0,38 \text{ кВ} \geq 0,38 \text{ кВ},$$

По номинальному току теплового расцепителя

$$I_{m.p} \geq \kappa_{m.p} \cdot I_p; \quad (44)$$

где $\kappa_{т.р}$ – коэффициент теплового расцепителя, о.е.

$$I_{m.p} \geq 1,15 \cdot 21,5 = 24,7 \text{ А}$$

«Выбирается ближайшее большее значение тока теплового расцепителя $I_{т.р}$, с учетом того, что на вводе щита ЩО также необходимо установить автоматический выключатель (учитывать условие селективности),

$$I_{т.р} = 31,5 \text{ А}.$$

По номинальному току электромагнитного расцепителя» [15]:

$$I_{у.э.р} \geq 1,2 \cdot I_{пуск} \quad (45)$$

где $I_{пуск}$ – пусковой ток, для освещения пусковой ток равен рабочему, А

$$I_{пуск} = I_p = 21,5 \text{ А};$$

$$I_{у.э.р} \geq 1,2 \cdot 21,5 = 25,8 \text{ А}$$

$$I_{у.э.р} = \kappa_{отс} \cdot I_{m.p}; \quad (46)$$

где $\kappa_{отс}$ – коэффициент отсечки электромагнитного расцепителя, о.е.

$$I_{у.э.р} = 12 \cdot 31,5 = 378 \text{ А},$$

$$378 \text{ А} \geq 25,8 \text{ А}.$$

По номинальному току автоматического выключателя

$$I_{\text{ном.ав.}} \geq I_p; \quad (47)$$

где I_p – расчетный ток линии, А,

$$100 \text{ А} \geq 21,5 \text{ А}.$$

Технические характеристики автоматических выключателей приведены в [20] и [21].

«Все условие выполняются, из этого следует что защиты кабельной линии от РУ НН ТП до щита рабочего освещения ЩО выбран автоматический выключатель ВА51–31, производства группы компаний КЭАЗ со следующими параметрами:

$$I_{\text{ном.ав.}} = 100 \text{ А},$$

$$I_{\text{т.р}} = 31,5 \text{ А},$$

$$I_{\text{у.э.р}} = 12 \cdot 31,5 = 378 \text{ А}.$$

Далее выбор остальных автоматических выключателей выполняется аналогично. Результаты расчета приведены в таблице 10. В щитах ЩО и ЩАО устанавливаются автоматические выключатели» [20] Acti9 iC60L, производства компании «Schneider Electric». Их выбор также дан в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор автоматических выключателей

УП	Электроприемник				Автоматический выключатель				
	№ по плану	Номинальная мощность $P_{ном}$, кВт	Рабочий ток $I_{ном}$, А	Коэф $k_{т.р}$	Тип	Номинальный ток $I_{ном.ав.}$, А	Ток теплового расцепителя $I_{тр}$, А	Ток уставки электромагнитного расцепителя, $I_{у.э.р.}$, А	Номинальный ток отключения, $I_{ном.откл.}$
РУ НН ТП	ЩАО	0,51	0,9	1,15	BA51–31	100	6	72	15
РУ НН ТП	ЩО	12,7	21,5	1,15	BA51–31	100	31,5	300	15
ЩО	Цех распиловки и первичной обработки	1,6	2,7	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15
ЩО	Цех механической обработки	1,6	2,7	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15
ЩО	Складское помещение	1,22	2,1	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15
ЩО	Инвентарная	0,91	1,5	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15
ЩО	Цех сушки древесины	1,6	2,7	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15
ЩО	Комната персонала	1,82	3,1	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15
ЩО	Цех сборки и отделки	1,37	2,3	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15
ЩО	Помещение ЦТП	0,3	0,5	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15
ЩО	Коридор	2,28	3,9	1,15	Acti 9 iC60L	100	6	72	15

Полные технические характеристики автоматических выключателей ВА51–31, производства группы компаний КЭАЗ, приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Параметры автоматических выключателей ВА51–31

Параметры	Значение
Количество силовых полюсов	3
Номинальное напряжение, В	690
Номинальный ток, А	40
Вид привода	Ручной
Тип расцепителя	Тепловой, электромагнитный
Род тока	Переменный (АС)
Уставка срабатывания магнитного расцепителя I_m , А	500
Степень защиты	IP20
Высота, мм	175
Ширина, мм	113
Глубина, мм	114
Диапазон рабочих температур	от –60 до +40
Климатическое исполнение	УХЛ3
Предельная отключающая способность, кА	4
Частота, Гц	50
Масса, кг	2,2
Максимальное сечение подключаемого кабеля, мм ²	10

Полные технические характеристики автоматических выключателей iC60L приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Параметры автоматических выключателей iC60L

Параметры	Значения
Номинальный ток	6 А
Характеристика эл.магнитного расцепителя	C
Номинальное напряжение	220 В
Количество силовых полюсов	1 полюс
Количество модулей DIN	1 модуль
Номинальная отключающая способность (АС) (IEC/EN 60898)	15 кА
Глубина	78,5 мм
Степень защиты	IP20
Ярод тока	Переменный
Высота	85 мм
Ширина	18 мм
Предельная отключающая способность (DC)	15 кА
Предельная отключающая способность	35/12,5
Максимальное сечение подключаемого кабеля	25 мм ²

Продолжение таблицы 12

Параметры	Значения
Климатическое исполнение	УХЛ4
Частота	50 Гц
Масса	0,125 кг
Категория перенапряжения	4
Класс токоограничения	3
Степень загрязнения	3
Тип напряжения/тока	Переменный/постоянный
Количество защищенных полюсов	1

Выводы по разделу.

В пятом разделе ВКР произведён расчет и выбор аппаратов защиты. Рассчитаны токи короткого замыкания.

Произведен выбор автоматических выключателей системы электроосвещения. В ТП предприятия по деревообработке устанавливаются автоматические выключатели марки ВА51–31, в щите рабочего освещения ЩО приняты к установке автоматические выключатели Acti 9 iC60L, производства компании «Schneider Electric». Для включения и выключения осветительных приборов в помещениях предприятия по деревообработке применяются одноклавишные выключатели Этюд, производства компании «Schneider Electric», даны их характеристики. Приведена схема подключения светильников при помощи одноклавишного выключателя, по которой необходимо подключать все освещение на предприятии по деревообработке.

6 Описание систем освещения предприятия

Однолинейная электрическая схема сети освещения предприятия по деревообработке приведена на рисунке 7.

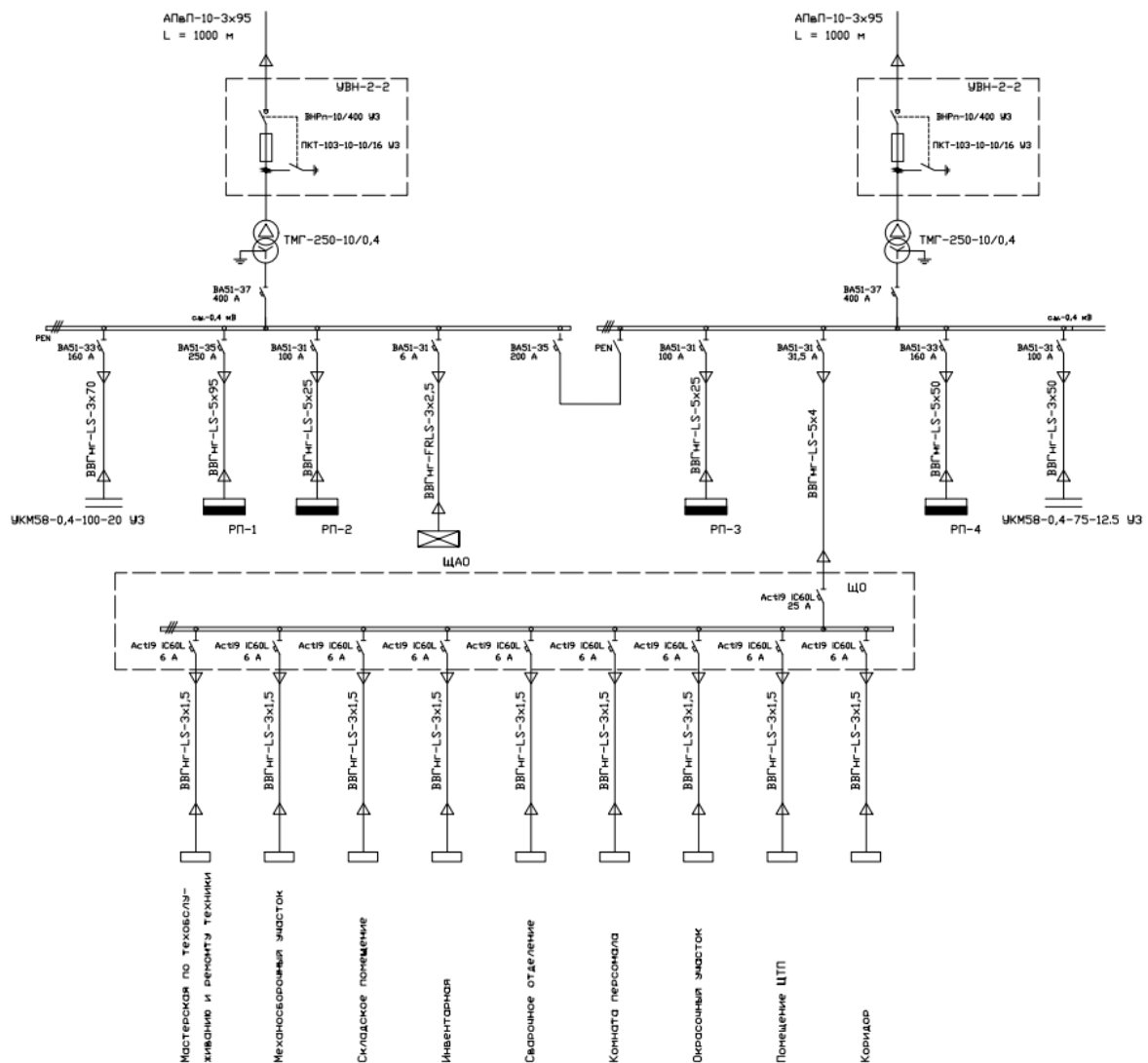


Рисунок 7 – Электрическая схема сети освещения предприятия по деревообработке

Рабочее освещение на деревообрабатывающем предприятии предназначено для обеспечения оптимальных условий труда, создавая необходимый уровень освещенности в производственных помещениях для выполнения технологических операций, таких как резка, шлифовка, сборка и контроль качества древесных изделий. Оно играет ключевую роль в

повышении безопасности труда, минимизируя риски травматизма за счет равномерного распределения света и устранения зон с недостаточной видимостью. Кроме того, рабочее освещение способствует снижению утомляемости работников, что положительно влияет на их производительность и комфорт. Применение современных энергоэффективных светодиодных светильников, таких как «Айсберг» 76W–9500Lm IP65, позволяет значительно сократить энергопотребление, обеспечивая при этом высокое качество света. Таким образом, рабочее освещение не только улучшает эргономику производственной среды, но и вносит вклад в повышение качества продукции и общей эффективности предприятия. Рабочее освещение предприятия подключено от щита ЩО.

Эвакуационное освещение предприятия по деревообработке предназначено для обеспечения безопасной эвакуации персонала в случае чрезвычайных ситуаций, таких как пожар, отключение электроэнергии или другие аварийные обстоятельства. Оно гарантирует достаточную видимость путей эвакуации, выходов и зон безопасности, соответствуя требованиям СП 52.13330.2016 и нормам пожарной безопасности. Установка световых указателей «Выход», выполненных светильниками НББ02–25 с IP54, над эвакуационными выходами способствует четкой ориентации работников, минимизируя риски паники и травм. Эвакуационное освещение повышает общий уровень безопасности на предприятии, обеспечивая надежную работу в критических ситуациях.

Аварийное освещение предприятия по деревообработке предназначено для обеспечения минимально необходимого уровня освещенности в производственных помещениях в случае отключения основного электроснабжения или других аварийных ситуаций. Оно обеспечивает безопасность персонала, позволяя продолжать критически важные технологические процессы, предотвращать аварии на оборудовании и минимизировать риски для работников. Аварийное освещение соответствует нормативам СП 52.13330.2016 и обеспечивает достаточную видимость для

безопасного завершения операций или эвакуации. Использование энергоэффективных светильников, таких как светодиодные «Айсберг» 76W–9500Lm IP65, в аварийном режиме способствует надежности системы и снижению энергозатрат, обеспечивая стабильную работу предприятия в экстренных условиях.

Выводы по разделу.

В шестом разделе ВКР описана система освещения предприятия. Рабочее, эвакуационное и аварийное освещение деревообрабатывающего предприятия образуют комплексную систему, обеспечивающую безопасность, производительность и энергоэффективность производства.

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработан проект системы освещения предприятия по деревообработке.

Проведен всесторонний анализ состояния системы освещения деревообрабатывающего предприятия и определены требования к освещенности его структурных подразделений. Анализ функционального назначения подразделений позволил установить дифференцированные требования к уровням освещенности. Учет условий эксплуатации, таких как запыленность и температурный режим, подтвердил необходимость применения светильников с повышенной степенью защиты IP54 и устойчивостью к агрессивной среде.

Результаты анализа легли в основу характеристик помещений предприятия по деревообработке. Также приведен план предприятия, который отражает расположение структурных единиц и служит ориентиром для дальнейшего светотехнического проектирования. Таким образом, данный раздел обеспечил информационную базу для последующих расчетов и выбора оборудования, определив ключевые параметры, необходимые для разработки эффективной и соответствующей нормативам системы освещения.

Проведен выбор осветительных приборов для системы рабочего освещения деревообрабатывающего предприятия на основе анализа требований к освещенности, условий эксплуатации. Учитывая специфику производственных помещений предприятия – высокую запыленность, и необходимость равномерного освещения с хорошей цветопередачей, – предпочтение отдано светодиодным технологиям, обеспечивающим энергоэффективность, долговечность и соответствие санитарным нормам.

Для всех помещений предприятия по деревообработке приняты к установке светодиодные светильники Айсберг 76W–9500Lm IP65. Выбор данных светильников обеспечивает создание надежной и функциональной системы рабочего освещения, соответствующей как технологическим задачам

предприятия, так и современным стандартам энергоэффективности и безопасности.

Для эвакуационного электроосвещения над выходами предусмотрены световые указатели «Выход», выполненные светильниками марки НББ02–25 в помещениях со степенью защиты IP54. Рассчитано аварийное освещение предприятия по деревообработке.

На основе анализа производственных характеристик предприятия и требований нормативных документов выбрана оптимальная схема электроснабжения, обеспечивающая равномерное распределение нагрузки и стабильное питание осветительных установок. В качестве щитов аварийного и рабочего освещения принимаются пластиковые распределительные навесные щиты ЩРН–П–12 IP65 типа Kaedra, производства компании «Schneider Electric».

Проведен расчет электрических нагрузок с учетом мощности осветительного оборудования и длины линий. На основе полученных данных выбраны сечения кабелей, соответствующие требованиям по допустимому току, падению напряжения и пожарной безопасности. Применение кабелей с оптимальными параметрами обеспечивает надежность электроснабжения, снижение энергопотерь и долговечность осветительной сети. Для питающей и групповой электросети выбираем кабель марки ВВГнг–LS. Для сетей аварийного освещения принимается кабель ВВГнг–FRLS.

Произведен выбор автоматических выключателей системы электроосвещения. В ТП предприятия по деревообработке устанавливаются автоматические выключатели марки ВА51–31, в щите рабочего освещения ЩО приняты к установке автоматические выключатели Acti 9 iC60L, производства компании «Schneider Electric». Для включения и выключения осветительных приборов в помещениях предприятия по деревообработке применяются одноклавишные выключатели Этюд, производства компании «Schneider Electric», даны их характеристики. Приведена схема подключения светильников при помощи одноклавишного выключателя, по которой

необходимо подключать все освещение на предприятии по деревообработке. В качестве щитов аварийного и рабочего освещения принимаются пластиковые распределительные навесные щиты ЩРн–П–12 IP65 типа Kaedra, производства компании «Schneider Electric», приведены их технические характеристики.

Рассчитаны токи короткого замыкания, на основании которых видно, что выбранные автоматические выключатели могут отключить данный ток КЗ. Приведена электрическая схема сети освещения предприятия по деревообработке.

Описана система освещения предприятия. Рабочее, эвакуационное и аварийное освещение деревообрабатывающего предприятия образуют комплексную систему, обеспечивающую безопасность, производительность и энергоэффективность производства.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Аллюнов А. Н., Вяткина О. С., Поздеев Н. Д. Электроснабжение осветительных установок : учебное пособие. Вологда : ВоГУ, 2018. 71 с.
2. Бабкин И.М. Электрическое освещение промышленных предприятий. Основы расчета : учебное пособие. Архангельск : САФУ, 2019. 79 с.
3. Бакшаева Н. С., Закалата А.А., Дерендяева Л.В. Электроснабжение промышленных предприятий Часть 1: учебное пособие. Киров : ВятГУ, 2021. 195 с.
4. Бирюлин В. И., Куделина Д. В. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
5. Бовтрикова Е. В. Электроснабжение потребителей : учебно-методическое пособие. Москва : РосНОУ, 2020. 241 с.
6. Бондаренко, С. И., Петрова А. Н. Электрическое освещение : учебное пособие. Иркутск : ИРНИТУ, 2022. 318 с.
7. Боцман В. В. Электроснабжение : 2019–08–27. Белгород : БелГАУ им.В.Я.Горина, 2019. 144 с.
8. Валиуллин К.Р., Чернова А.Д. Введение в электроэнергетику : учебное пособие. Оренбург : ОГУ, 2020. 115 с.
9. Васильев Д. А., Пантелеева Л. А. Электроснабжение : учебное пособие. Ижевск : УдГАУ, 2022. 60 с.
10. ГОСТ 28249–93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ [Электронный ресурс] : Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 21 октября 1993 г. Дата введения 1995–01–01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004630?ysclid=m8lbw01k5o719935179> (дата обращения: 23.03.2025).

11. Грачев А. С. Электрическое освещение : учебно–методическое пособие. Йошкар–Ола : МарГУ, 2023. 94 с.
12. Гриднева, Т. С. Электроснабжение : методические указания. Самара : СамГАУ, 2020. 67 с.
13. Дробов А. В. Электрическое освещение : учебное пособие. Минск : РИПО, 2017. 219 с.
14. Ключкова Н.Н. Электрическое освещение : учебное пособие / Ключкова Н.Н., Обухова А.В. Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2016. 95 с.
15. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. Вологда : Инфра–Инженерия, 2021. 156 с.
16. Потенко Н.Д. Проектирование искусственного освещения помещений общественного назначения : учебное пособие. Самара : Самарский государственный архитектурно–строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. 196 с.
17. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс] : Приказ Минэнерго России от 08.07.2002 № 204. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464/?ysclid=m8lak3174h350929862 (дата обращения: 23.03.2025).
18. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95 [Электронный ресурс] : Приказ Министерства строительства и жилищно–коммунального хозяйства Российской Федерации от 28 декабря 2021 г. N 1029/пр. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197?ysclid=m8laocvgs0610558306> (дата обращения: 23.03.2025).
19. Технические характеристики светодиодного светильника Айсберг 76W–9500Lm IP65. URL: <https://vs Svetodiody.ru/svetilnik-aysberg-76w-9500lm-ip65/?ysclid=m8lbh702hd352072097> (дата обращения: 23.03.2025).
20. Технические характеристики автоматических выключателей типа Acti9. URL: https://emis.ru/catalog/SE_acti_9/ (дата обращения: 23.03.2025).

21. Технические характеристики автоматических выключателей типа ВА57–31. URL: <https://keaz.ru/catalog/automat/avtomaticheskie-viklyuchateli-v-litom-korpuse/va57-blochnie-avtomaticheskie-vikluchateli-na-toki-ot-16a-do-630a/va57-31?ysclid=m8lc7vhcbf115842880> (дата обращения: 23.03.2025).

22. Технические характеристики силовых кабелей. URL: <http://www.kamkabel.ru> (дата обращения: 23.03.2025).

23. Хусаев Н. С., Коновалова А. А. Электроснабжение : учебно-методическое пособие. Улан-Удэ : Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова, 2019. 92 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.