

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 столовой предприятия по производству пластмасс

Обучающийся

В.К. Дворянчук

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа включает 46 страниц, 19 рисунков, 2 таблицы, 20 источников.

Ключевые слова: освещение, столовая, светильник, нагрузка, мощность, оборудование, защита, надежность, безопасность.

Приведена характеристика столовой. Выполнен анализ действующей системы освещения, выявлены ее недостатки, с учетом которых определены технические и эксплуатационные требования к предлагаемой системе освещения. С учетом заданных технических условий выполнена разработка системы освещения столовой. Выбраны марки и число светильников по помещениям, составлен план осветительной сети, выбрано ее оборудование, отечественного производства. Для осветительной сети выбраны кабели, автоматические выключатели серии, устройства защитного отключения и программируемое реле для автоматизированного интеллектуального управления освещением. Для проверки термической стойкости выбранных кабелей проведен расчет токов короткого замыкания на вводе щитка основного освещения и на вводе щитка аварийного освещения. Сечения жил всех кабелей превышают минимальные по термической стойкости, все кабели устойчивы к токам короткого замыкания. Выбраны марки щитов освещения.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта, анализ действующей системы освещения и ее недостатков, технические требования к предлагаемой системе освещения	7
1.1 Характеристика столовой предприятия по производству пластмасс	7
1.2 Анализ действующей системы освещения.....	9
1.3 Технические и эксплуатационные требования к предлагаемой системе освещения	12
2 Разработка системы освещения столовой	13
2.1 Выбор источников света.....	13
2.2 Светотехнический расчет помещений	15
2.3 Выбор светильников	17
2.4 Выбор кабелей осветительной сети	21
2.5 Расчет токов короткого замыкания, проверка кабелей на термическую стойкость	25
2.6 Выбор коммутационно-защитной аппаратуры	31
2.7 Выбор программируемого реле	35
2.8 Выбор щитков освещения	41
Заключение	43
Список используемых источников.....	45

Введение

В современном мире промышленные предприятия представляют собой сложные комплексы, включающие не только производственные помещения, но и обширную инфраструктуру для обеспечения комфортных условий труда работников. Общественно-бытовые здания являются неотъемлемой частью инфраструктуры современных промышленных предприятий, они предназначены для создания комфортных условий труда и отдыха работников, а также для организации различных социально-бытовых функций. Важными вспомогательными зданиями на промышленных объектах являются столовые, позволяющие обеспечить сотрудников горячим, сбалансированным питанием непосредственно на предприятии, что повышает их работоспособность и удовлетворенность трудом. Кроме того, наличие собственной столовой в рамках инфраструктуры предприятия является важным социальным и морально-психологическим фактором, демонстрирующим заботу руководства о своих работниках, способствующим созданию благоприятных условий для труда и отдыха сотрудников, повышению их мотивации и производительности. Общественно-бытовые здания, в том числе и столовые, на промышленных предприятиях играют важную роль в обеспечении комфортных условий для работников, что в конечном итоге положительно сказывается на эффективности производства.

Внутренние помещения общественно-бытовых зданий должны обеспечиваться качественным освещением достаточного уровня, важно выдерживать достаточный уровень освещенности, показатели качества светового потока, это, в конечном счете, влияет на эффективность производственных и технологических процессов на предприятии, настроение и мотивацию людей. В случае недостаточной освещенности помещений общественно-бытовых зданий отмечается выраженное снижение качества отдыха персонала, гигиенических и прочих процедур, если световой поток имеет высокий уровень пульсаций или неоптимальную цветовую

температуру, это также является негативным фактором для условий отдыха и быта персонала. Например, в столовых, при недостаточной освещенности может снижаться качество приготовления пищи, со всеми негативными последствиями. Согласно современной статистике, предприятия и организации, уделяющие повышенное внимание обеспечению качественного освещения для сотрудников в общественно-бытовых зданиях, получают дополнительные конкурентные преимущества в виде более эффективной работы персонала, его повышенной лояльности и трудовой мотивации, что повышает общую успешность и прибыльность предприятия, в конечном счете. Таким образом, существенные инвестиции в обеспечение качественного и достаточного освещения помещений общественно-бытовых зданий на производственных объектах предприятий являются оправданными, в том числе с экономической точки зрения.

Столовые на промышленных предприятиях играют важную роль в обеспечении сотрудников качественным и сбалансированным питанием, позволяя работникам получать горячие, питательные обеды прямо на рабочем месте, что повышает их работоспособность и удовлетворенность трудом. Организация столовых на промышленных объектах имеет ряд преимуществ. Во-первых, это удобство для сотрудников, которые могут быстро и без лишних затрат времени перекусить во время обеденного перерыва, во-вторых, это забота о здоровье работников, ведь в столовых предлагается сбалансированное меню с учетом специфики физического труда. Наличие собственной столовой на промышленном предприятии является важным элементом социальной политики, способствующим повышению производительности труда и лояльности персонала. Для эффективной организации столовой на промышленном предприятии важно учитывать несколько факторов, необходимо правильно рассчитать необходимую пропускную способность, чтобы обеспечить питанием всех сотрудников в течение ограниченного времени обеденного перерыва, следует уделить внимание санитарно-гигиеническим нормам и организации рабочего процесса

в столовой. Выполнение данных условий требует качественного и достаточного освещения помещений.

Актуальность темы работы состоит в том, что существующая на данный момент система освещения столовой предприятия по производству пластмасс не соответствует требуемым техническим и эксплуатационным параметрам. Не обеспечивается достаточный уровень освещенности и качества светового потока, энергоэффективность освещения низкая – повышены экономические затраты на энергообеспечение освещения. Используемые для основного освещения лампы накаливания требуют частой замены, светильники требуют частого регулярного осмотра и обслуживания. Используемые для аварийного освещения люминесцентные лампы имеют низкую надежность, требуют регулярных проверок работоспособности пускорегулирующей аппаратуры. Также, в целом, все оборудование осветительной сети сильно изношено, отмечаются перегревы отдельных элементов и нарушение изоляции. В связи с этим, необходимо разработать новую систему освещения столовой предприятия по производству пластмасс, которая обеспечит ее дальнейшую надежную и эффективную эксплуатацию, а также снизит технико-эксплуатационные экономические и трудовые затраты на освещение.

Цель работы: обеспечение достаточного, качественного, надежного и безопасного освещения столовой.

Задачи работы:

- провести выбор источников света, светотехнический расчет помещений, выбор светильников;
- составить план предлагаемой системы освещения (СО), выбрать кабели, коммутационное, защитное и управляющее оборудование.

Практическая значимость работы состоит в последующей реализации предложенной СО и ее технических решений, это обеспечит качественное и достаточное освещение столовой, ее дальнейшую надежную и эффективную эксплуатацию в составе предприятия.

1 Характеристика объекта, анализ действующей системы освещения и ее недостатков, технические требования к предлагаемой системе освещения

1.1 Характеристика столовой предприятия по производству пластмасс

Столовая предприятия – не просто место, где сотрудники могут принимать пищу, это важный элемент корпоративной культуры, который влияет на атмосферу в коллективе, здоровье работников и общую продуктивность. Столовая выполняет несколько ключевых функций:

- основная функция – предоставление работникам полноценного питания в течение рабочего дня, это особенно важно для поддержания энергии и концентрации, что напрямую влияет на производительность труда;
- служит местом для общения сотрудников, здесь работники могут обмениваться идеями, обсуждать рабочие вопросы или просто проводить время в неформальной обстановке, это способствует укреплению командного духа и улучшению межличностных отношений;
- может стать местом для проведения различных мероприятий, таких как праздники, дни рождения или корпоративные встречи, это помогает создать более сплоченный коллектив и улучшить атмосферу на работе.

Столовая имеет большое значение для работников: предоставление здорового и сбалансированного питания способствует улучшению физического состояния сотрудников, это, в свою очередь, снижает количество больничных и повышает общую продуктивность.

Перечень помещений и данные по требуемому уровню освещенности сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень помещений и данные по требуемому уровню освещенности

Помещения	Требуемая минимальная освещенность, лк
Обеденный зал	200
Горячий цех	300
Холодный цех	300
Моечная	300

План помещений столовой приведен на рисунке 1.

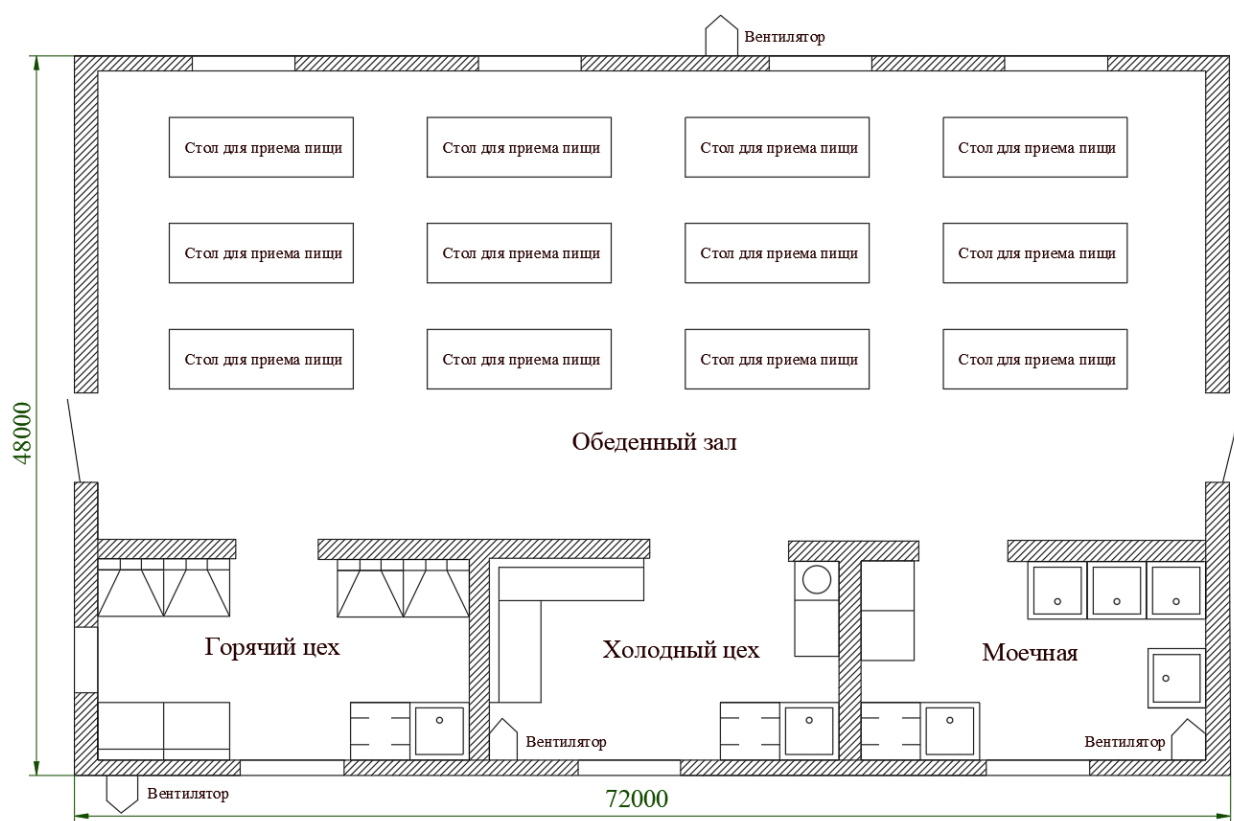


Рисунок 1 – План помещений столовой

Имеется большой обеденный зал, горячий и холодный цеха, а также моечная.

1.2 Анализ действующей системы освещения

План действующей СО приведен на рисунке 2.

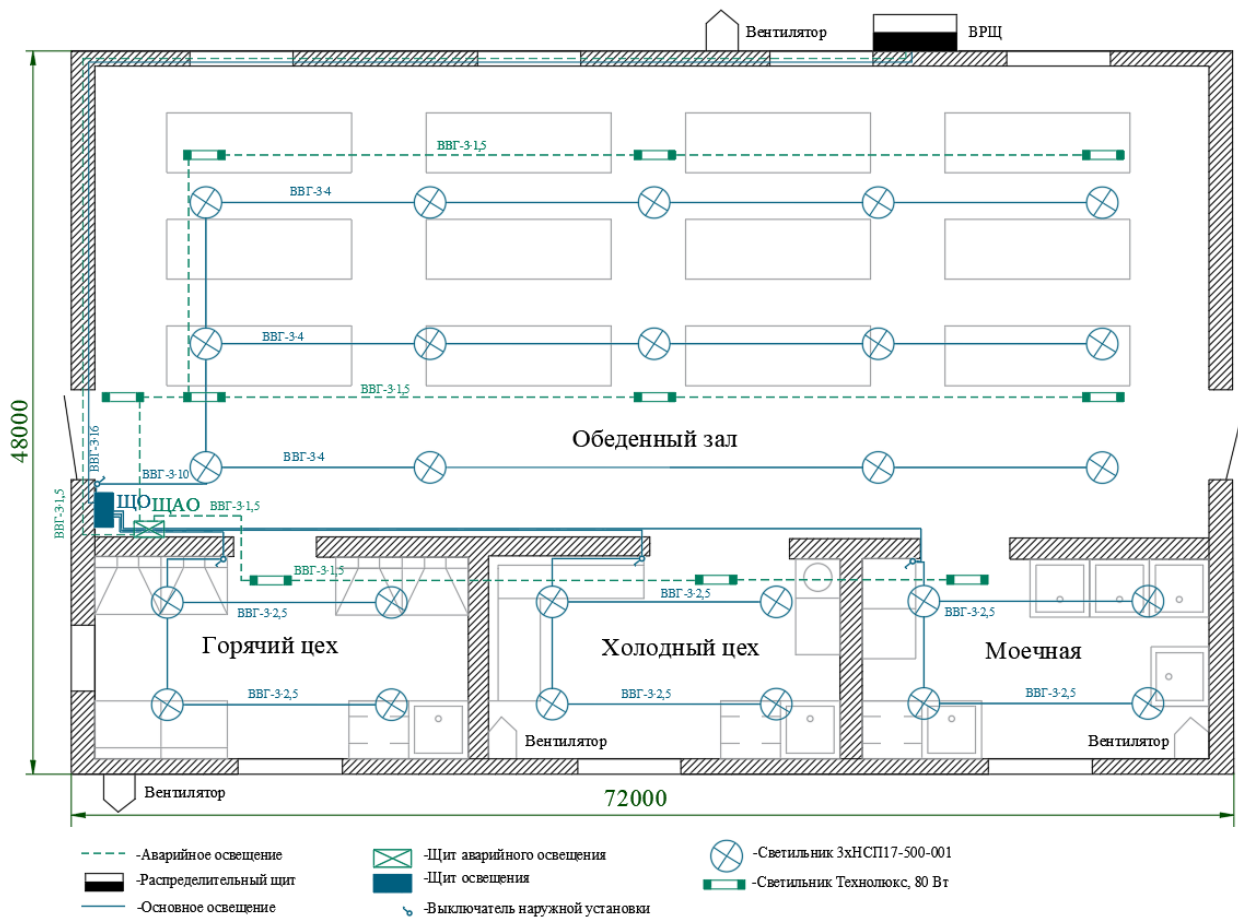


Рисунок 2 – План действующей системы освещения

Действующая на данный момент система освещения столовой предприятия по производству пластмасс не соответствует требуемым техническим и эксплуатационным параметрам. Не обеспечивается достаточный уровень освещенности и качества светового потока, энергоэффективность освещения низкая – повышены экономические затраты на энергообеспечение освещения. Используемые для основного освещения лампы накаливания требуют частой замены, светильники требуют частого регулярного осмотра и обслуживания. Используемые для аварийного

освещения люминесцентные лампы имеют низкую надежность, требуют регулярных проверок работоспособности пускорегулирующей аппаратуры.

Однолинейная схема действующей системы освещения приведена на рисунке 3.

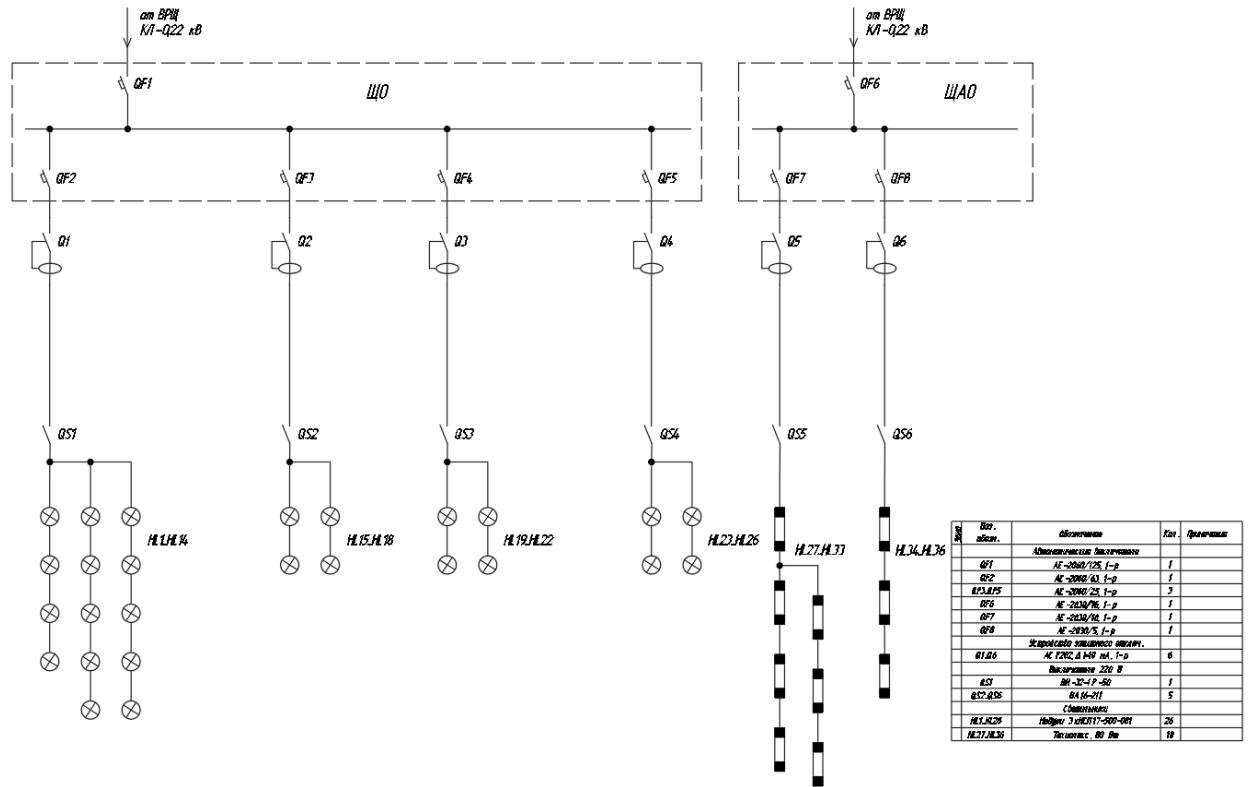


Рисунок 3 – Однолинейная схема действующей системы освещения

В электрической сети СО используются автоматические выключатели (АВ) и кабели устаревших марок

АВ устаревших марок АЕ-2060 и АЕ-2030 представляют собой важный элемент электрических систем, который постепенно выходит из употребления в современных условиях. Несмотря на то, что такие выключатели продолжают использоваться на многих объектах, они имеют ряд существенных недостатков по сравнению с более современными моделями. Основной проблемой автоматических выключателей устаревших марок является их низкая надежность и ограниченные функциональные возможности. Данные

АВ были разработаны и произведены еще в советский период, когда требования к электробезопасности и энергоэффективности были менее строгими, такие выключатели часто характеризуются высокой вероятностью отказа, недостаточной отключающей способностью и неудобством в эксплуатации. Кроме того, устаревшие автоматические выключатели, как правило, имеют более громоздкие размеры и меньшее удобство обслуживания по сравнению с современными аналогами. В связи с этим, целесообразно проводить замену устаревших автоматических выключателей на более современные модели, которые обладают улучшенными характеристиками надежности, функциональности и энергоэффективности, это позволит повысить безопасность и эксплуатационные показатели электрических систем, в том числе систем освещения.

Кабели устаревшей марки ВВГ не соответствуют актуальным требованиям по пожарной безопасности (изоляция не имеет достаточные показатели негорючести и дымовыделения при горении).

Управление СО осуществляется вручную, только с помощью выключателей, автоматизация управления отсутствует. Это существенно увеличивает электропотребление, с учетом регулярной периодической работы освещения помещений без актуальной надобности, при отсутствии людей. Автоматизация управления освещением, с датчиками присутствия людей и интеллектуальным управлением, существенно повысит энергоэффективность СО и снизит износ источников света, также повысится эргономичность и удобство пользования освещением.

В целом, все оборудование осветительной сети сильно изношено, отмечаются перегревы отдельных элементов и нарушение изоляции, что обуславливает повышенную пожароопасность и вынужденные отключения отдельных линий СО, увеличивает риски поражения электрическим током при обслуживании СО (что особенно опасно с учетом проводимых на высоте работ). Таким образом, необходимо разработать новую систему освещения столовой предприятия по производству пластмасс, которая обеспечит ее

дальнейшую надежную и эффективную эксплуатацию, а также снизит технико-эксплуатационные экономические и трудовые затраты на освещение.

1.3 Технические и эксплуатационные требования к предлагаемой системе освещения

Организация качественного освещения в столовой промышленного предприятия является важным фактором, влияющим на комфорт и безопасность сотрудников, при разработке технических требований к системе освещения необходимо учитывать ряд ключевых аспектов. Во-первых, важно обеспечить достаточный уровень освещенности в основных зонах, это позволит создать комфортные условия для приема пищи и работы персонала. Во-вторых, необходимо предусмотреть равномерное распределение света по всей площади столовой, избегание темных углов и зон с резкими перепадами освещенности важно для обеспечения безопасности и предотвращения травматизма. Для этого следует использовать достаточное количество светильников, расположенных на оптимальной высоте. В-третьих, при выборе светильников следует отдавать предпочтение энергоэффективным и долговечным моделям, это может быть светодиодное освещение, которое позволит снизить затраты на электроэнергию [12]. Автоматизация управления освещением на основе программируемых реле (ПР) существенно повысит энергоэффективность СО и снизит износ источников света, также повысится эргономичность и удобство пользования освещением.

Выводы.

Приведена характеристика столовой. Выполнен анализ действующей системы освещения, выявлены ее недостатки, с учетом которых определены технические и эксплуатационные требования к предлагаемой СО.

2 Разработка системы освещения столовой

2.1 Выбор источников света

В настоящее время для современных систем освещения применяются, в основном, наиболее энергоэффективные источники света (ИС) – светодиодные и люминесцентные лампы. Лампы накаливания имеют самую низкую энергоэффективность и самый малый ресурс использования, их имеет смысл применять только в СО с приоритетом на надежность и устойчивость к внешним воздействиям (например, электромагнитным импульсам) – например, на важных военных и административных объектах, или для аварийного освещения. Дуговоротутные лампы имеют более высокую энергоэффективность и эксплуатационный ресурс, но они малоприменимы для использования в общественных и административных помещениях, а также содержат токсичные пары ртути. Галогенные лампы накаливания обеспечивают лучшую энергоэффективность чем вакуумные лампы накаливания, однако их эксплуатационный ресурс так же мал. Люминесцентные лампы имеют хорошую энергоэффективность (но существенно меньшую, чем у светодиодов), однако их ресурс невысок, они содержат токсичные пары ртути и плохо подходят для СО, требующих частых включений и выключений света. Светодиодные же лампы лишены всех указанных выше недостатков и являются наиболее перспективными для реализации современных СО источниками света [3].

Светодиодные лампы (СЛ) в последние годы стремительно вытесняют традиционные лампы накаливания и компактные люминесцентные лампы, становясь все более популярным и востребованным источником освещения, это обусловлено целым рядом преимуществ, которыми обладают светодиодные технологии. Одним из ключевых преимуществ светодиодных ламп является их высокая энергоэффективность, светодиоды потребляют в 5-10 раз меньше электроэнергии по сравнению с лампами накаливания,

обеспечивая при этом сопоставимый уровень освещенности, это позволяет значительно снизить затраты на электричество, особенно в условиях постоянно растущих тарифов. Кроме того, СЛ отличаются гораздо более длительным сроком службы – до 50000 часов непрерывной работы, это в 10-20 раз больше, чем у ламп накаливания, такая долговечность позволяет существенно сократить расходы на замену осветительных приборов. Еще одним важным преимуществом светодиодов является их экологичность, в отличие от ртутьсодержащих люминесцентных ламп, светодиодные лампы не требуют специальной утилизации и не наносят вреда окружающей среде. СЛ также не нагреваются до высоких температур, что повышает безопасность их применения [5].

Спектры света ИС показаны на рисунке 1.

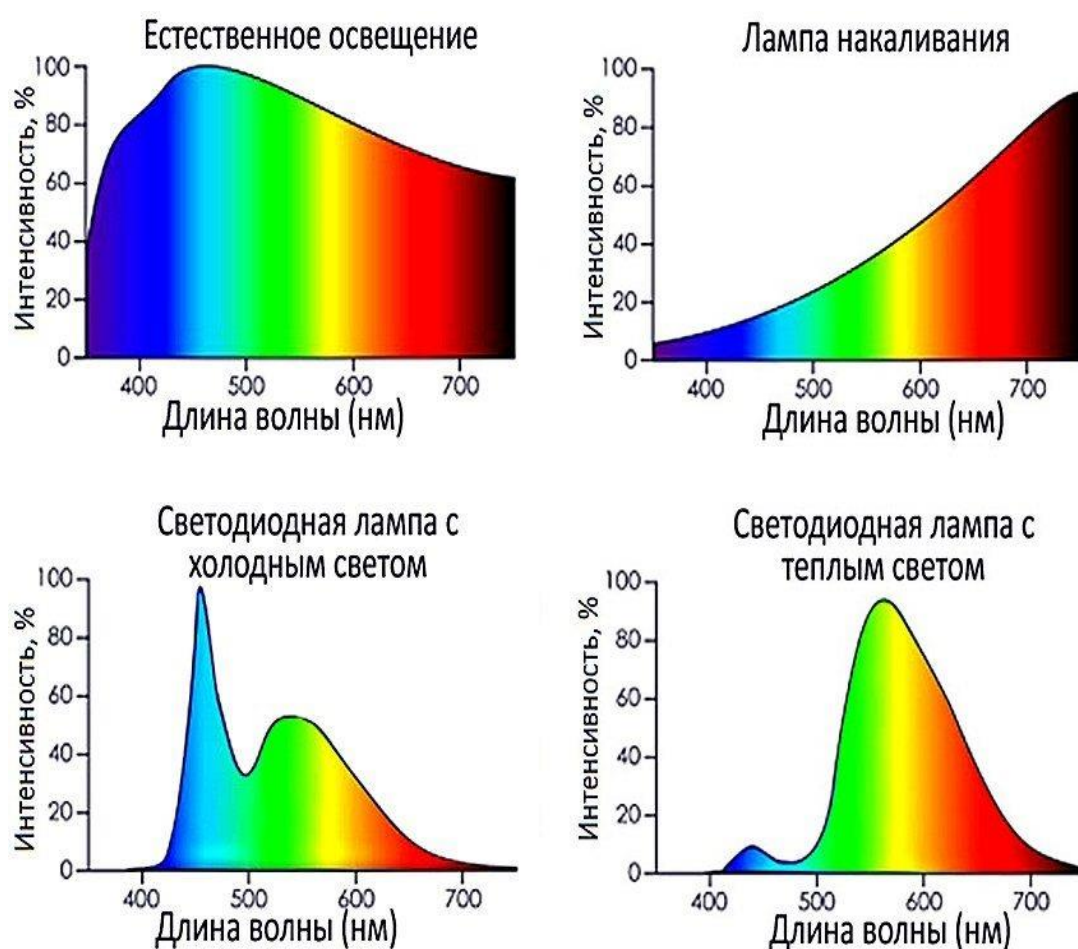


Рисунок 4 – Спектры света источников света

Светодиодное освещение имеет спектр приближенный к естественному.

С учетом указанных преимуществ, в качестве ИС выбираются светодиодные лампы. Структура светодиода показана на рисунке 5.

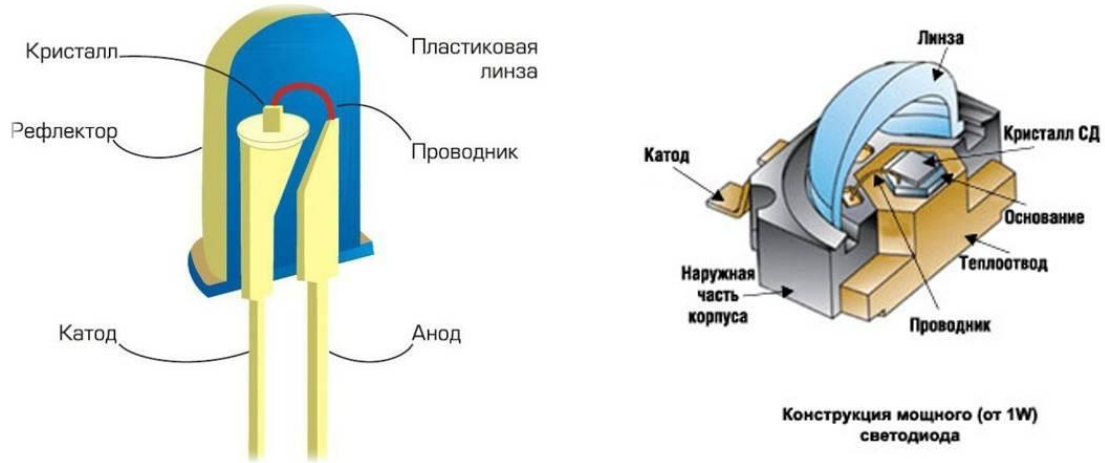


Рисунок 5 – Структура светодиода

Светодиод представляет собой компактный, простой и эффективный источник света.

2.2 Светотехнический расчет помещений

«Светотехнический расчет выполняется методом коэффициента использования светового потока.

Для каждого помещения определяются:

- индексы помещений:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (1)$$

где A, B, h – длина, ширина и высота помещений, м.

- требуемый световой поток:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{K_u}, \quad (2)$$

где E – нормируемая освещенность, лк;

S – площадь помещения, м²;

K_z , Z , K_u – коэффициенты запаса, минимальной освещенности, использования светового потока» [1].

Общая освещаемая площадь разбита на четыре участка:

- обеденный зал, участок №1;
- горячий цех, участок №2;
- холодный цех, участок №3;
- моечная, участок №4.

«Освещаемая площадь участков:

$$F_1 = 71,5 \cdot 29,5 = 2109,25 \text{ м}^2,$$

$$F_2 = 23,1 \cdot 17,2 = 397,32 \text{ м}^2,$$

$$F_3 = 23,1 \cdot 17,2 = 397,32 \text{ м}^2,$$

$$F_4 = 23,1 \cdot 17,2 = 397,32 \text{ м}^2.$$

Для участка 1, по (1,2):

$$i = \frac{71,5 \cdot 29,5}{8 \cdot (71,5 \cdot 29,5)} = 2,61,$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 2109,25 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,42} = 912496 \text{ лм.}$$

Для участка 2, по (1,2):

$$i = \frac{23,1 \cdot 17,2}{8 \cdot (23,1 \cdot 17,2)} = 1,23,$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 397,32 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,53} = 261320 \text{ лм.}$$

Для участка 3, по (1,2):

$$i = \frac{23,1 \cdot 17,2}{8 \cdot (23,1 \cdot 17,2)} = 1,23,$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 397,32 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,53} = 261320 \text{ лм.}$$

Для участка 4, по (1,2)» [16]:

$$i = \frac{23,1 \cdot 17,2}{8 \cdot (23,1 \cdot 17,2)} = 1,23,$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 397,32 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,53} = 261320 \text{ лм.}$$

Данные значения будут учтены при выборе марок и числа светильников.

2.3 Выбор светильников

Разработка систем освещения на различных объектах, в обязательном порядке, подразумевает грамотный и правильный выбор марок светильников, их количества, мест и конфигурации расположения. Важным определяющим критерием при выборе светильников является их соответствие нормативным требованиям к уровню освещенности и показателям качества светового потока (например, уровню мерцаний или световой температуре), для каждого типа помещений существуют санитарные нормы, которые необходимо соблюдать,

это позволит создать комфортные и безопасные условия для работы или пребывания людей. Требуется в обязательном порядке учитывать надежность и долговечность светильников, важно, чтобы они обладали высокой механической прочностью, устойчивостью к вибрациям и перепадам температур, большой срок службы позволит сократить затраты на их замену. Немаловажным аспектом при выборе марок осветительных приборов является и эстетическая составляющая их внешнего вида, они должны гармонично вписываться в интерьер помещений, не создавая визуального дискомфорта, для этого следует выбирать модели с современным дизайном, подходящие по форме, размеру и цветовому решению. Таким образом, при выборе светильников необходимо комплексно оценивать такие факторы, как соответствие нормативным требованиям, энергоэффективность, надежность, долговечность и эстетические характеристики [10].

«Необходимое число светильников для каждого помещения:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_c}, \quad (3)$$

где Φ_c – световой поток одного светильника, лм.

Освещение выполняется светильниками WebStar-105W. Используются модули по 5 светильников.

Для участка 1, требуемое число модулей, по (3):

$$N \geq \frac{912496}{5 \cdot 13120} \approx 14 \text{ шт}$$

Принимается 14 модулей по 5 светильников.

Для участка 2:

$$N \geq \frac{261320}{5 \cdot 13120} \approx 4 \text{ шт}$$

Принимается 4 модуля по 5 светильников.

Для участка 3:

$$N \geq \frac{261320}{5 \cdot 13120} \approx 4 \text{ шт}$$

Принимается 4 модуля по 5 светильников.

Для участка 4:

$$N \geq \frac{261320}{5 \cdot 13120} \approx 4 \text{ шт}$$

Принимается 4 модуля по 5 светильников» [17].

«Расчёт аварийного освещения (АО).

АО выбирается как не менее 5% от основного. Требуемая суммарная мощность АО:

$$P_{ав} = 0,05 \cdot (105 \cdot 5 \cdot 26) = 682,5 \text{ Вт}$$

Выбираем для АО светильники Атлант, 70 Вт.

Требуемое число светильников:

$$N_{ав} \geq \frac{P_{ав}}{P_{св}}, \quad (4)$$

где $P_{св}$ – паспортная мощность, Вт.

Требуемое число светильников АО» [17]:

- энергоэффективность;
- долговечность, требуют минимального обслуживания и реже нуждаются в замене;
- надежность, устойчивы к механическим воздействиям, вибрациям и перепадам температур, степень защиты IP65 позволяет использовать светильники во влажных и запыленных средах;
- качество света, обеспечивают высокий индекс цветопередачи, что создает естественное и комфортное освещение;
- универсальность, могут применяться для освещения промышленных, складских, торговых и других помещений;
- широкий угол светового пучка (120°) обеспечивает равномерное распределение света.

2.4 Выбор кабелей осветительной сети

«Электрические нагрузки освещаемых помещений определяются исходя из числа и мощности установленных светильников:

$$P_o = P_c \cdot n_c, \quad (5)$$

где P_c – мощность одного светильника, Вт;

n_c – число светильников, шт.

Нагрузка освещения для участка 1:

$$P_o = (105 \cdot 5) \cdot 14 = 7350 \text{ Вт}$$

Нагрузка освещения для участков 2-4:

$$P_o = (105 \cdot 5) \cdot 4 = 2100 \text{ Вт}$$

Нагрузка освещения в целом:

$$P_o = (105 \cdot 5) \cdot (14 + 4 + 4 + 4) = 13650 \text{ Вт}$$

Нагрузка аварийного освещения:

$$P_o = 70 \cdot 10 = 700 \text{ Вт}$$

В ГОСТ Р50571 и ПУЭ содержится предписание об устройстве сетей освещения на основе системы нейтрали сети TN-C-S, обеспечивающей высокий уровень электробезопасности. Схема сети с системой нейтрали TN-C-S показана на рисунке 7.

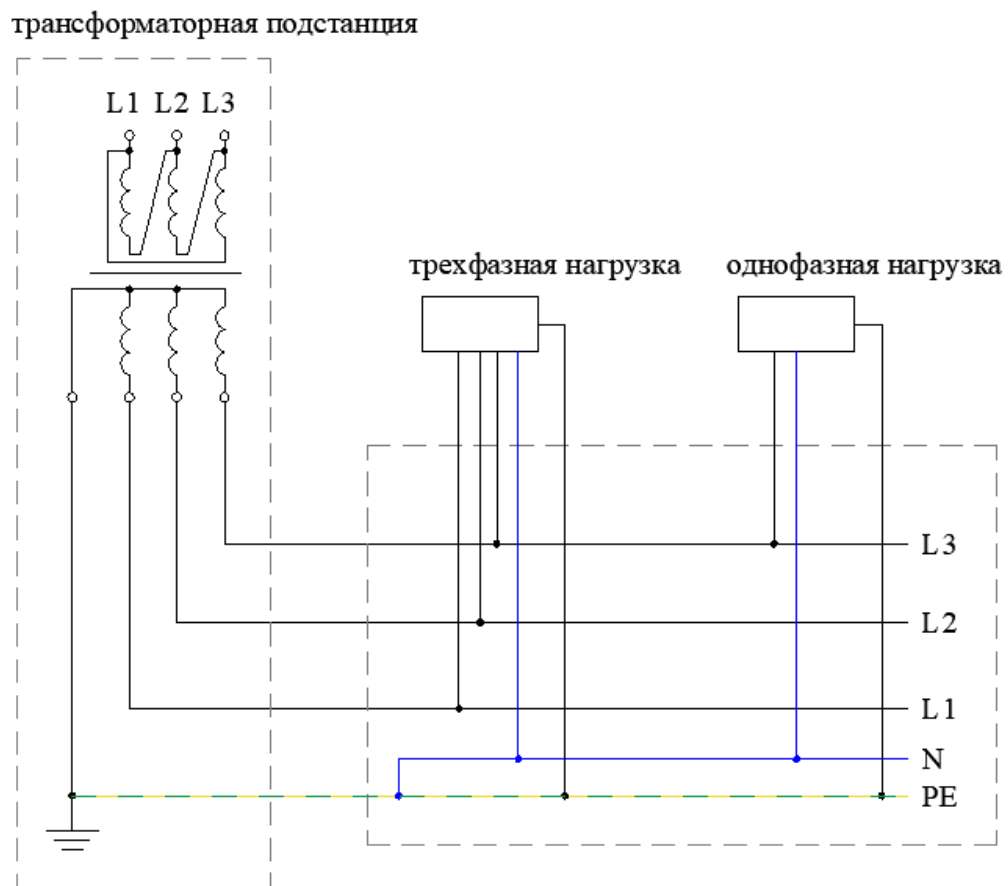


Рисунок 7 – Схема сети с системой нейтрали TN-C-S

Использование системы нейтрали TN-C-S позволит эффективно использовать УЗО и обеспечить высокий уровень электробезопасности» [2].

«В Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) указано, что для осветительных сетей следует применять электропроводку с медными жилами. с сечением не менее 1,5 мм². Напряжение действующих осветительных сетей составляет 220 В. Следовательно, требуется выбрать кабели современных марок с сечениями медных жил в соответствии с нагрузками и расчетными токами линий питания систем освещения.

Расчетные токи линий освещения:

$$I_p = \frac{P_o}{U_n \cdot \cos \varphi}, \quad (6)$$

где U_n – напряжение сети, 220 В;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности сети» [7].

Для линии питания основного освещения участка 1:

$$I_p = \frac{7350}{220 \cdot 0,75} = 44,55 \text{ A.}$$

Выбирается кабель ВВГнг-LS-3·6, $I_{доп} = 50 \text{ A}$ [18].

Для линий питания основного освещения участков 2-4:

$$I_p = \frac{2100}{220 \cdot 0,75} = 12,73 \text{ A.}$$

Выбирается кабель ВВГнг-LS-3·1,5, $I_{доп} = 21 \text{ A}$.

Для линии к щитку освещения (ЩО):

$$I_p = \frac{13650}{220 \cdot 0,75} = 82,73 \text{ А.}$$

Выбирается кабель ВВГнг-LS-3·16, $I_{доп} = 100 \text{ А.}$

Для линий аварийного освещения:

$$I_p = \frac{700}{220 \cdot 0,75} = 4,24 \text{ А.}$$

Выбирается кабель ВВГнг-LS-3·1,5, $I_{доп} = 21 \text{ А.}$

Данная марка кабелей имеет негорючую изоляцию с низким дымовыделением. Внешний вид кабеля показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Кабель ВВГнг-LS-3·1,5

Кабели марки ВВГнг-LS являются одним из наиболее востребованных и широко применяемых видов силовых кабелей в современном строительстве и промышленности. Основным преимуществом является их повышенная пожаробезопасность, благодаря специальным добавкам в изоляции и оболочке, они не поддерживают горение и выделяют минимальное количество

токсичных веществ при возгорании. Высокая безопасность при пожаре критически важна в случае прокладки электропроводки в местах массового пребывания людей, например, в промышленных или административно-бытовых зданиях производственных предприятий. Кабели отличаются высокой механической прочностью и устойчивостью к внешним воздействиям, что позволяет уверенно и безопасно их использовать для электропроводок как в сухих, так и во влажных помещениях. Конструкция выдерживает умеренные механические нагрузки и перепады температур, что может быть критически важным в определенных производственных условиях. Еще одним важным преимуществом данных кабелей является их экологичность – конструкция содержит минимальное количество вредных веществ, что упрощает их утилизацию [15]. В осветительной сети будет использоваться система нейтрали TN-C-S, согласно указаниям ПУЭ [11].

2.5 Расчет токов короткого замыкания, проверка кабелей на термическую стойкость

Для проверки термической стойкости выбранных кабелей проводится расчет токов КЗ на вводе щитка основного освещения (ЩО) и на вводе щитка аварийного освещения (ЩАО).

«Расчет токов КЗ на вводах щитов освещения.

Проводится расчет токов КЗ на вводах ЩО.

Сопротивление системы:

$$X'_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.К0}^{(3)}}, \quad (7)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

$I_{к.з.К0}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ на вводе 0,4 кВ ВРЩ, кА.

$$X'_c = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,611} = 0,378 \text{ Ом.}$$

Расчетные схемы – на рисунке 9.

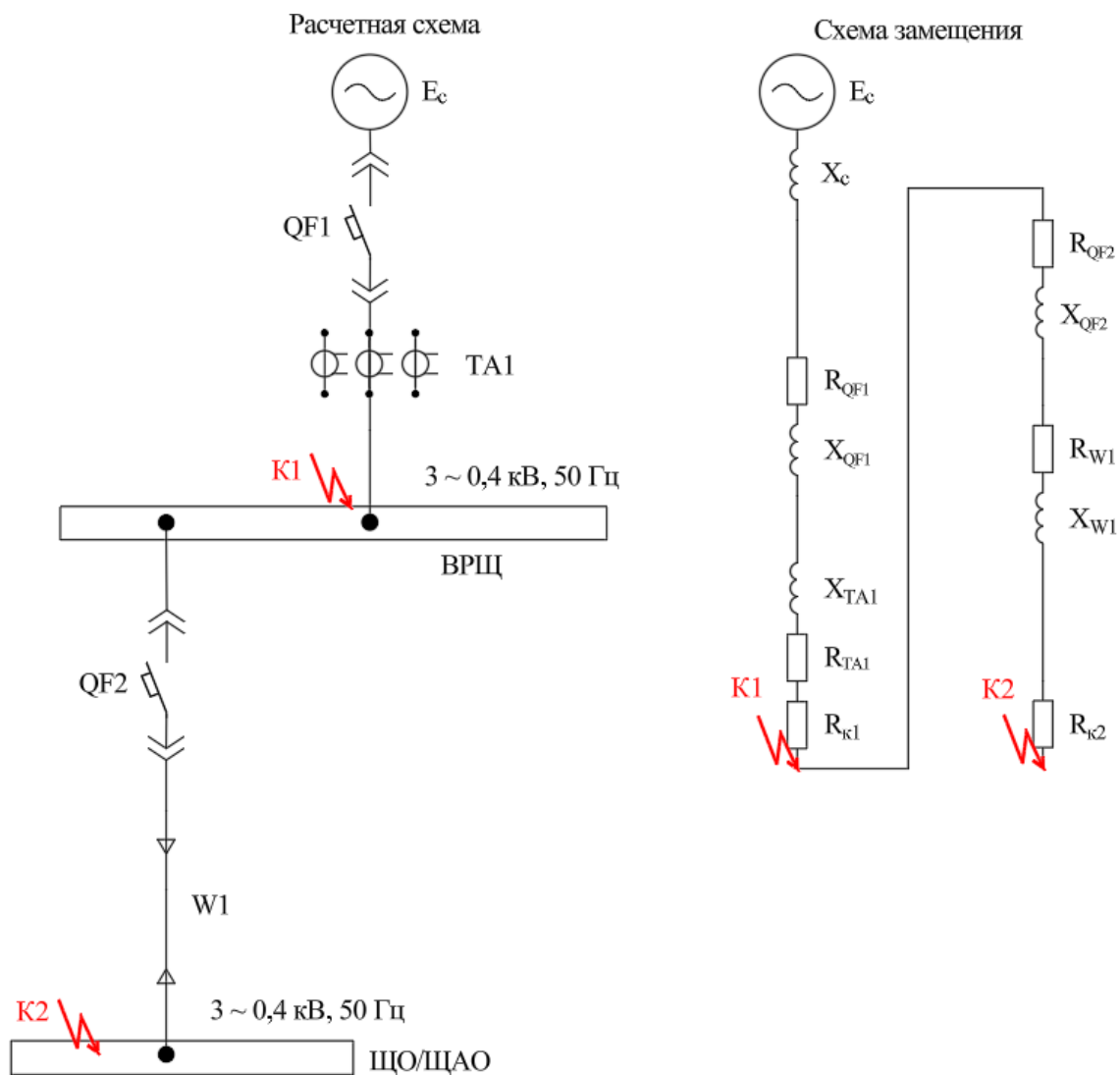


Рисунок 9 – Расчетные схемы

Сопротивления линии W1:

$$R_{W1} = r_0 \cdot L_{W1}, \quad (8)$$

где L_{W1} – длина КЛ, м» [13].

$$R_{w1} = 1,16 \cdot 81,5 = 94,54 \text{ мОм},$$

$$X_{w1} = x_0 \cdot L_{w1}, \quad (9)$$

$$X_{w1} = 0,095 \cdot 81,5 = 7,743 \text{ мОм}.$$

«Переходные сопротивления: $R_{k1} = 0,0034 \text{ мОм}$; $R_{k2} = 0,85 \text{ мОм}$.

Активные сопротивления элементов:

- выключателя на вводе 0,4 кВ ВРЩ: 0,06 мОм;
- трансформатора тока на фидере 0,4 кВ ВРЩ: 0,07 мОм.

$$R_{\Sigma 1} = R_{T1} + R_{QF1} + R_{TA1} + R_{k1}, \quad (10)$$

$$R_{\Sigma 1} = 0,06 + 0,07 + 0,0034 = 0,133 \text{ мОм}.$$

Индуктивные сопротивления элементов:

- выключателя на вводе 0,4 кВ ВРЩ: 0,07 мОм;
- трансформатора тока на фидере 0,4 кВ ВРЩ: 0,07 мОм.

$$X_{\Sigma 1} = X_T + X_{QF1} + X_{TA1}, \quad (11)$$

$$X_{\Sigma 1} = 0,07 + 0,07 = 0,14 \text{ мОм}.$$

Активное сопротивление выключателя на фидере к ЩО: 0,112 мОм.

$$R_{\Sigma 2} = R_{QF2} + R_{w1} + R_{k2}, \quad (12)$$

$$R_{\Sigma 2} = 0,112 + 94,54 + 0,85 = 95,502 \text{ мОм}.$$

Индуктивное сопротивление выключателя на фидере: 0,13 мОм» [8].

$$X_{\Sigma 2} = X_{QF2} + X_{w1}, \quad (13)$$

$$X_{\text{э}2} = 0,14 + 7,743 = 7,883 \text{ мОм.}$$

«Сопротивления до точек КЗ:

$$R_{\text{к1}} = R_{\text{э1}}, \quad (14)$$

$$R_{\text{к1}} = 0,133 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{к1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{э1}}, \quad (15)$$

$$X_{\text{к1}} = 0,378 \cdot 10^3 + 0,14 = 378,122 \text{ мОм,}$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{0,133^2 + 378,122^2} = 378,122 \text{ мОм,}$$

$$R_{\text{к2}} = R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}}, \quad (16)$$

$$R_{\text{к2}} = 0,133 + 95,502 = 95,635 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{к2}} = X_{\text{с}} + X_{\text{э1}} + X_{\text{э2}}, \quad (17)$$

$$X_{\text{к2}} = 0,378 \cdot 10^3 + 0,14 + 7,883 = 386,004 \text{ мОм,}$$

$$Z_{\text{к2}} = \sqrt{95,635^2 + 386,004^2} = 397,675 \text{ мОм.}$$

Трёхфазный ток КЗ:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{к}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{к}}}, \quad (18)$$

где $U_{\text{к}}$ – напряжение КЗ, кВ;

$Z_{\text{к}}$ – полное сопротивление цепи, Ом.

Ударный ток КЗ:

$$i_{\text{y}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{y}} \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (19)$$

где K_{y} – ударный коэффициент» [14]:

«Токи КЗ в точке К1, по (19,20):

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 378,122 \cdot 10^{-3}} = 0,61 \text{ кА},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 0,61 = 1,12 \text{ кА}.$$

Сопротивления петли фаза-ноль:

— для линии W1:

$$R_{\text{нW1}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{W1}}, \quad (20)$$

$$R_{\text{нW1}} = 2 \cdot 0,16 \cdot 81,5 = 189,08 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{нW1}} = x_{0\text{н}} \cdot L_{\text{W1}}, \quad (21)$$

$$X_{\text{нW1}} = 0,095 \cdot 81,5 = 7,743 \text{ мОм}.$$

— до точек К1, К2:

$$R_{\text{н1}} = R_{\kappa 1}, \quad (22)$$

$$X_{\text{н1}} = 2 \cdot X_{\text{с}}, \quad (23)$$

$$X_{\text{н1}} = 2 \cdot 378 = 756 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{н1}} = \sqrt{0,0034^2 + 756^2} = 756 \text{ мОм},$$

$$R_{\text{н2}} = R_{\kappa 1} + R_{\text{нW1}} + R_{\kappa 2}, \quad (24)$$

$$R_{\text{н2}} = 0,0034 + 189,08 + 0,85 = 189,933 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{н2}} = X_{\text{нW1}} + 2 \cdot X_{\text{с}}, \quad (25)$$

$$X_{\text{н2}} = 7,743 + 2 \cdot 378 = 763,706 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{н2}} = \sqrt{189,933^2 + 763,706^2} = 786,97 \text{ мОм}.$$

Однофазный ток КЗ в точке К1:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{п}}}, \quad (26)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, кВ;

$Z_{\text{п}}$ – полное сопротивление петли фаза-ноль, мОм» [9].

$$I_{\text{к1}}^{(1)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 756 \cdot 10^{-3}} = 0,30 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов – в таблице 2.

Таблица 2 – Токи КЗ

Точка КЗ	$I_{\text{к}}^{(3)}$, кА	$I_{\text{к}}^{(2)}$, кА	$I_{\text{к}}^{(1)}$, кА
К1	0,61	1,12	0,30
К2 (ЩО)	0,58	1,07	0,26
К2 (ЩАО)	0,55	1,01	0,25

«Термически стойкое сечение жил:

$$F_T = I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{\text{п}}} / K_T, \quad (27)$$

где $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ, кА

$t_{\text{п}}$ – время КЗ срабатывания защиты, с;

K_T – температурный коэффициент» [6].

Для КЛ на ЩО:

$$F_T = 0,58 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,015} / 165 = 0,43 \text{ мм}^2 < 1,5 \text{ мм}^2.$$

Для КЛ на ЩАО:

$$F_T = 0,55 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,015} / 165 = 0,41 \text{ мм}^2 < 1,5 \text{ мм}^2.$$

Сечения жил всех кабелей превышают минимальные по термической стойкости, все кабели устойчивы к токам КЗ.

2.6 Выбор коммутационно-защитной аппаратуры

Автоматические выключатели (АВ) являются важным элементом современных электрических систем, они предназначены для защиты электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий, предотвращая возникновение пожаров и других опасных ситуаций. Основная функция – быстрое отключение электрической цепи при возникновении аварийной ситуации, АВ реагируют на превышение установленных значений тока, напряжения или других параметров, мгновенно размыкая контакты и разрывая цепь, это позволяет предотвратить повреждение оборудования и обеспечить безопасность людей. В случае короткого замыкания АВ отключает электрическую цепь практически мгновенно, с помощью электромагнитного расцепителя, срабатывающего на сверхток КЗ. Если же перегрузка электросети относительно невелика, но продолжительна по времени, тогда для отключения требуется время ввиду постепенного нагрева биметаллической пластины теплового расцепителя. Такой комплексный подход к защите линий питания электроприемников обеспечивает высокую эксплуатационную надежность и безопасность системы электроснабжения с минимальными техническими и экономическими издержками. В целом, АВ играют ключевую роль в обеспечении безопасности и надежности электрических систем [20].

«Линии освещения защищаются автоматическими выключателями, которые выбираются:

- по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (28)$$

– по току теплового расцепителя:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (29)$$

Для линии освещения участка №1» [14]:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 44,55 = 49 \text{ А.}$$

Принимается к установке АВ марки ВА-47-29, 50А и выключатель марки ВН-32-1Р, 50 А.

Для линий освещения участков №2-4:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 12,73 = 14 \text{ А.}$$

Принимаются ВА-47-29, 16 А и ВА16-211, 16 А.

Для ввода ЩО:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 82,73 = 91 \text{ А.}$$

Принимается ВА-47-100, 100 А

Для ввода ЩАО:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 4,24 = 4,7 \text{ А.}$$

Принимается ВА-47-29, 5 А.

Для линии 1 АО (7 светильников):

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 2,97 = 3,3 \text{ А.}$$

Принимается ВА-47-29, 4 А.

Для линии 2 АО (3 светильника):

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 1,27 = 1,4 \text{ А.}$$

Принимается ВА-47-29, 1,6 А.

Внешний вид автоматического выключателя ВА-47-29 показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Автомат ВА-47-29

Внешний вид выключателя ВА16-211 показан на рисунке 11.



Рисунок 11 – Выключатель BA16-211

В целях обеспечения электро- и пожаробезопасности, на фидерах щитков освещения устанавливаются УЗО марки АС F202, $\Delta I=10$ мА, 1-р.

Внешний вид УЗО показан на рисунке 12.



Рисунок 12 – Внешний вид УЗО

Структурная схема УЗО показана на рисунке 13.

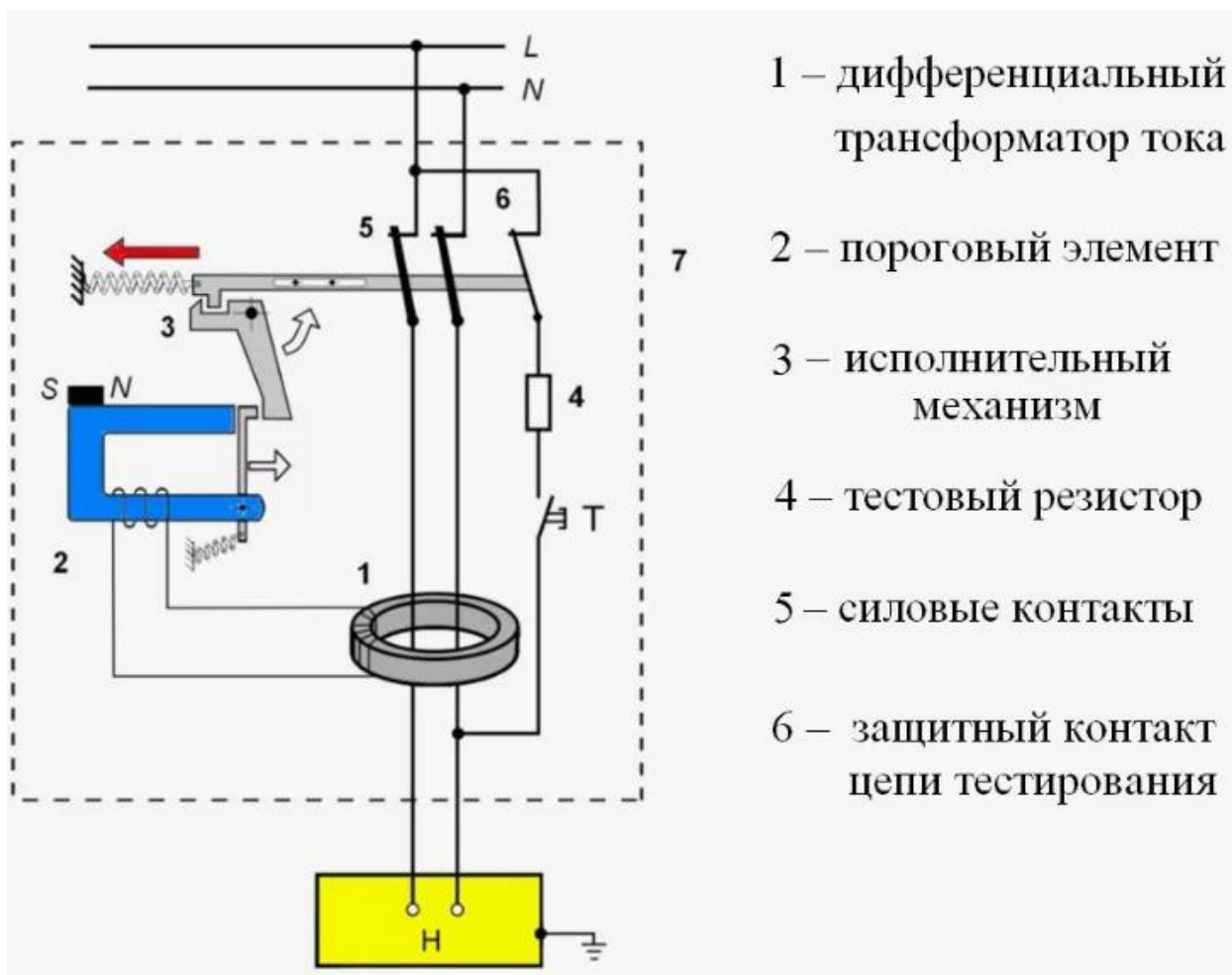


Рисунок 13 – Структурная схема УЗО

При появлении в защищаемой цепи тока утечки со значением более уставки срабатывания УЗО, дифференциальный трансформатор тока выдает достаточную величину тока для срабатывания исполнительного механизма отключения контактов.

2.7 Выбор программируемого реле

На данный момент управление освещением осуществляется вручную, только с помощью выключателей, автоматизация управления отсутствует. Это существенно увеличивает электропотребление, с учетом регулярной периодической работы освещения помещений без актуальной надобности, при

отсутствии людей. Автоматизация управления освещением, с датчиками присутствия людей и интеллектуальным управлением программируемым реле (ПР), существенно повысит энергоэффективность СО и снизит износ источников света, также повысится эргономичность и удобство пользования освещением. На данный момент в системах управления освещением различных производственных и иных объектов все чаще используют программируемые реле для повышения эффективности, гибкости и энергосбережения, позволяя автоматизировать процессы включения, выключения и регулировки освещения в зависимости от различных факторов. Основное преимущество такого подхода заключается в возможности создания индивидуальных сценариев управления СО (реализация автоматического «интеллектуального» управления). При наладке и настройке СО можно запрограммировать реле на выполнение определенных действий в зависимости от времени суток, присутствия людей, уровня естественного освещения и других параметров. Это позволяет, обеспечить оптимальную работу СО локально в нужных местах и в нужное время. Например, можно автоматически включать освещение в рабочих зонах утром, постепенно снижать его интенсивность к вечеру, а также отключать свет в пустых помещениях. Помимо энергосбережения, данная реализация СО позволяет повысить удобство и комфорт использования системы освещения, пользователь может задавать различные режимы работы, подходящие для разных ситуаций – от яркого освещения для рабочих задач до приглушенного света для создания уютной атмосферы.

«При проектировании СЭС различных объектов, а также при проведении реконструкции и модернизации действующих СЭС одним из самых актуальных вопросов является обеспечение их максимальной энергоэффективности и автоматизации систем управления электроприемниками (ЭП). Одним из способов достижения этого является использование программируемых реле, которые позволяют максимально оптимизировать работу ЭП и участков СЭС конкретно под требуемую

специфику с учетом максимальной энергоэффективности, автоматизации, эргономики и удобства пользования электрооборудованием. ПР являются современными электронно-цифровыми модулями, обеспечивающими гибкую и точную программную настройку режимов работы присоединяемых ЭП и цепей управления. Принцип работы ПР показан на рисунке 14.

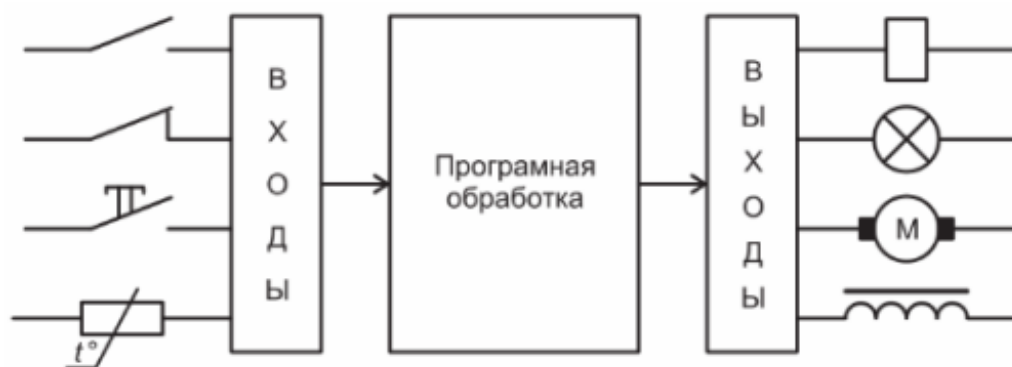


Рисунок 14 – Принцип работы программируемого реле

Структурная схема ПР приведена на рисунке 15.

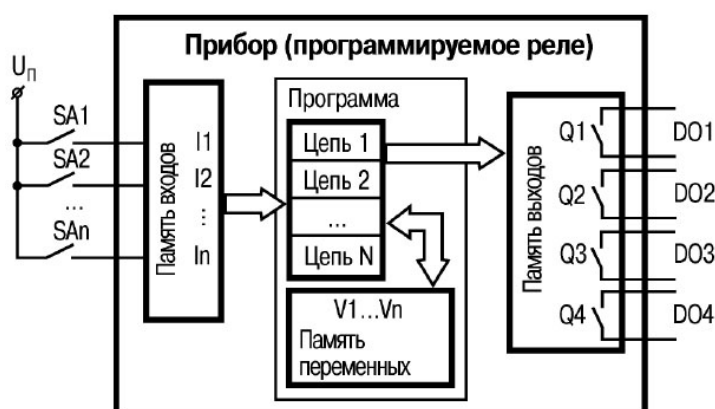


Рисунок 15 – Структурная схема ПР

Область применения ПР: наружное, внутреннее и торговое освещение; управление компрессорами, насосами, вентиляторами, кондиционерами, калориферами, обогревателями, транспортерами и другим технологическим

электрооборудованием; управление электроприводом дверей, ворот, лифтов, подъемников и любых других ЭП, подходящих под паспортные данные ПР по рабочим параметрам (ток, напряжение сети и т.д.). Логика работы ПР определяется пользователем в процессе программирования с помощью среды программного обеспечения (ПО). В настоящее время различные ПР выпускают многие ведущие производители электрооборудования» [4].

Управление освещением с помощью программируемых реле является эффективным и гибким решением, позволяющим оптимизировать энергопотребление, повысить удобство использования и создать комфортную световую среду, это делает такие системы все более востребованными в современных зданиях и сооружениях. Программируемые реле обладают рядом преимуществ, делающих их идеальными для управления освещением, к основным характеристикам относятся:

- большое количество каналов ввода-вывода;
- поддержка как дискретных, так и аналоговых сигналов;
- наличие нескольких интерфейсов связи RS-485;
- возможность расширения функционала через дополнительные модули;
- простота программирования благодаря использованию визуальных блоков.

Функциональные возможности современных реле позволяют реализовать различные сценарии управления освещением:

- сценарии короткого и длинного нажатия;
- синхронное управление освещением и вентиляцией;
- общее отключение всех потребителей с возможностью последующего индивидуального управления;
- аналоговое регулирование яркости освещения.

Программирование осуществляется в специализированном программном обеспечении, таком как OwenLogic, где используются функциональные блоки FBD, это значительно упрощает процесс разработки

для тех, кто не имеет глубоких знаний в области промышленного программирования. Предлагается использовать ПР марки ОВЕН ПР200, внешний вид показан на рисунке 16.



Рисунок 16 – Реле ОВЕН ПР200

Монтаж ПР показан на рисунке 17.

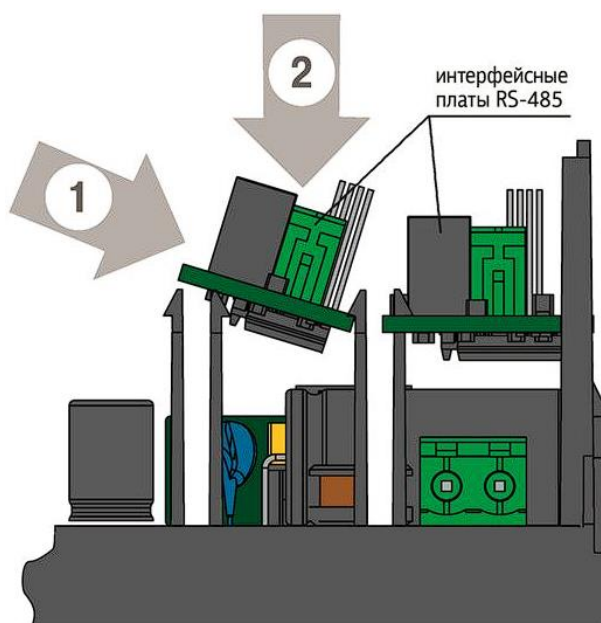


Рисунок 17 – Монтаж ОВЕН ПР200

Отличительные характеристики ПР – на рисунке 18.

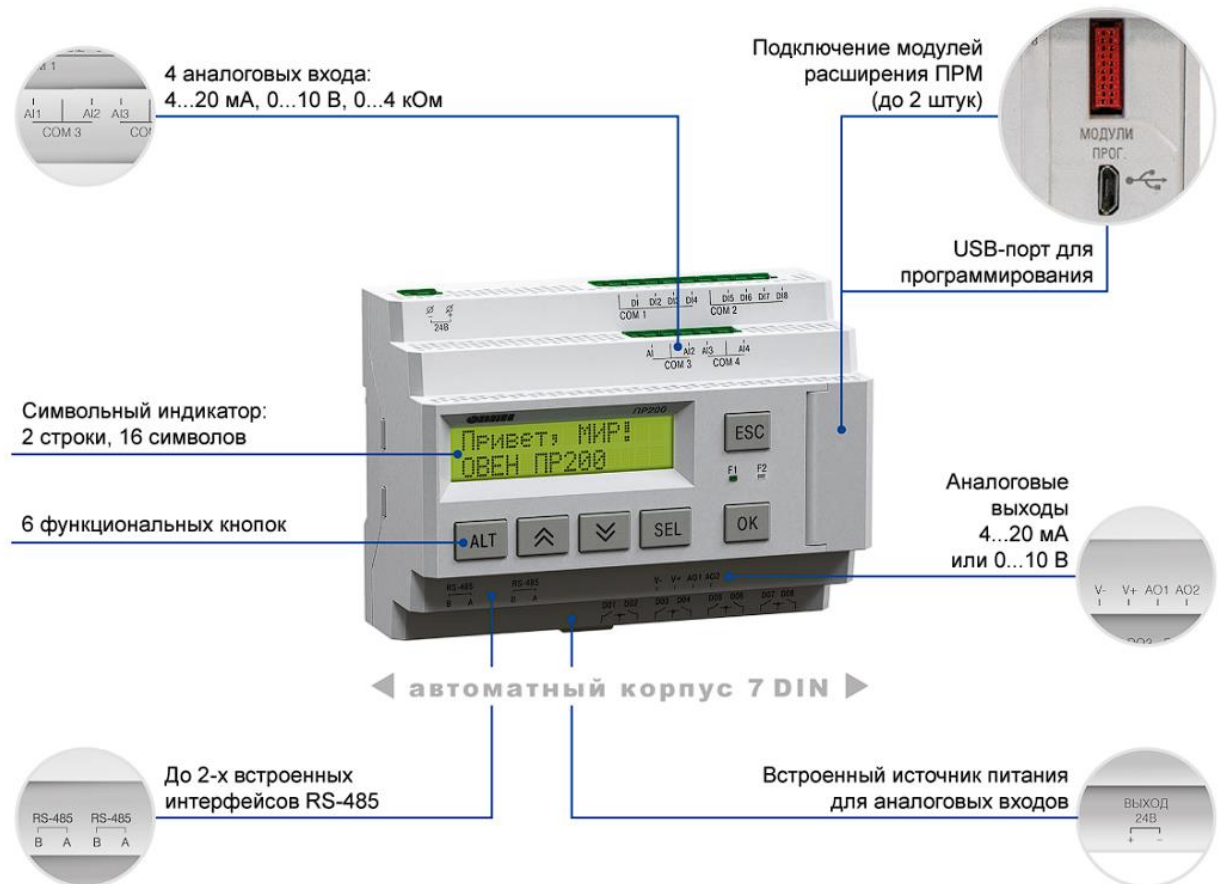


Рисунок 18 – Отличительные характеристики ОВЕН ПР200

«К основному модулю ПР могут присоединяться различные выносные датчики, обеспечивающие настройку по дополнительным параметрам, таким образом режимы работы ПР могут настраиваться:

- по времени суток, продолжительности операций и иным временным промежуткам;
- по показаниям датчиков (по освещенности, температуре, давлению, присутствию объекта, звуку и т.д.).

Преимущества использования ПР для управления освещением:

- не нужен часовой выключатель (функция встроена в ПР);
- требуется меньшее количество аппаратуры;

- возможность легкой переконфигурации системы освещения;
- возможность установки дополнительных временных установок переключения (ступенчатое выключение в конце дня и т.д.);
- максимальная эргономичность и энергоэффективность пользования освещением, дополнительные функции (мигание света перед его автоматическим выключением; централизованное выключение и включение; управление через сумеречный и часовой выключатели и т.д.).

Внешняя проводка для системы освещения с использованием ПР не отличается от обычной проводки для системы освещения. Дополнительные функции вводятся непосредственно в ПР» [19].

Интеграция систем управления освещением с ПР с облачными сервисами и SCADA-системами открывает новые возможности для дистанционного контроля и управления, это позволяет создавать действительно умные системы, способные адаптироваться к различным условиям эксплуатации.

2.8 Выбор щитков освещения

Щитки освещения являются важным элементом любой системы электроснабжения, отвечая за распределение и управление осветительными приборами, от правильного выбора и установки щитков во многом зависит эффективность, безопасность и надежность работы системы освещения. Основной функцией щитков освещения является распределение электрической энергии по различным групповым линиям, питающим отдельные светильники или их группы, они оснащаются автоматическими выключателями, предохранителями и другими защитными устройствами, обеспечивающими защиту осветительной сети от перегрузок и коротких замыканий. Важным требованием к щиткам освещения является их соответствие нормативным документам по электробезопасности, они должны

быть изготовлены из негорючих, влагостойких материалов и иметь необходимую степень защиты от внешних воздействий, немаловажным фактором является также компактность и эргономичность конструкции.

В ЩО требуется установить: вводной АВ (два посадочных места на DIN-рейке), четыре фидерных АВ, четыре фидерных УЗО (два посадочных места), ЦПР (семь посадочных мест). Итого требуется выбрать ЩО минимум на 21 посадочное место. Выбирается щит ЩРН-24. В ЩАО требуется установить: вводной АВ (два посадочных места), два фидерных АВ, два фидерных УЗО (два посадочных места). Итого требуется выбрать ЩАО минимум на 8 посадочных мест. Выбирается щиток ЩАО-8.

Внешний вид щита освещения ЩРН-24 показан на рисунке 19.



Рисунок 19 – Щит освещения ЩРН-24

Выводы по разделу 2.

С учетом заданных технических условий выполнена разработка системы освещения столовой. Выбраны марки и число светильников по помещениям, составлен план осветительной сети, выбрано ее оборудование, отечественного производства.

Заключение

Проведена разработка системы освещения столовой предприятия по производству пластмасс. Обеспечение качественного освещения в столовой промышленного предприятия является важным фактором, влияющим на комфорт и безопасность сотрудников, при разработке технических требований к системе освещения необходимо учитывать ряд ключевых аспектов. Важно обеспечить достаточный уровень освещенности в основных зонах, это позволит создать комфортные условия для приема пищи и работы персонала. Требуется предусмотреть равномерное распределение света по всей площади столовой, избегание темных углов и зон с резкими перепадами освещенности важно для обеспечения безопасности и предотвращения травматизма. Для этого следует использовать достаточное количество светильников, расположенных на оптимальной высоте, следует отдавать предпочтение энергоэффективным и долговечным моделям, это будет светодиодное освещение, которое позволит снизить затраты на электроэнергию. Автоматизация управления освещением на основе программируемых реле существенно повысит энергоэффективность СО и снизит износ источников света, также повысится эргономичность и удобство пользования освещением.

Светотехнический расчет выполнен методом коэффициента использования светового потока. Значения требуемого светового потока учтены при выборе марок и числа светильников по помещениям. Основное освещение выполняется светильниками WebStar-105W, их основные преимущества: высокая энергоэффективность, широкий угол светового пучка для равномерного освещения, прочный алюминиевый корпус и высокая степень защиты IP65, длительный срок службы, возможность использования в широком диапазоне температур. Аварийное освещение выполняется светильниками Атлант, 70 Вт, их основные преимущества: энергоэффективность; долговечность, требуют минимального обслуживания и реже нуждаются в замене; надежность, устойчивы к механическим

воздействиям, вибрациям и перепадам температур; степень защиты IP65 позволяет использовать светильники во влажных и запыленных средах; качество света, обеспечивающее высокий индекс цветопередачи, что создает естественное и комфортное освещение; универсальность, могут применяться для освещения промышленных, складских, торговых и других помещений; широкий угол светового пучка (120°) обеспечивает равномерное распределение света. Выбраны марки и число светильников по помещениям, составлен план осветительной сети, выбрано ее оборудование, отечественного производства.

Использование в осветительной сети системы нейтрали TN-C-S позволит эффективно использовать УЗО и обеспечить высокий уровень электробезопасности. Для осветительной сети выбраны кабели марки ВВГнг-LS, автоматические выключатели серии ВА, устройства защитного отключения и программируемое реле марки ОВЕН ПР200 для автоматизированного интеллектуального управления освещением. В целях обеспечения электро- и пожаробезопасности, на фидерах щитков освещения устанавливаются УЗО марки АС F202, $\Delta I=10$ мА, 1-р. При появлении в защищаемой цепи тока утечки со значением более уставки срабатывания УЗО, дифференциальный трансформатор тока выдаст достаточную величину тока для срабатывания исполнительного механизма отключения контактов.

Для проверки термической стойкости выбранных кабелей проведен расчет токов КЗ на вводе щитка основного освещения и на вводе щитка аварийного освещения. Сечения жил всех кабелей превышают минимальные по термической стойкости, все кабели устойчивы к токам КЗ. Выбраны марки щитов освещения.

Реализация предложенной системы освещения обеспечит качественное и достаточное освещение столовой, ее дальнейшую надежную и эффективную эксплуатацию в составе предприятия.

Список используемых источников

1. Ажикова А. К., Шабоянц Н. Г. Естественное и искусственное освещение : учебно-методическое пособие. Астрахань : АГМУ, 2023. 57 с.
2. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
3. Бондаренко С. И., Петрова А. Н. Электрическое освещение : учебное пособие. Иркутск : ИРНИТУ, 2022. 318 с.
4. Голов Р. С. Управление энергосбережением на промышленном предприятии : монография. М. : Дашков и К, 2023. 458 с.
5. Грачев А. С. Электрическое освещение : учебно-методическое пособие. Йошкар-Ола : МарГУ, 2023. 94 с.
6. Иванов С.Н. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
7. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
8. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
9. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
10. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. СПб. : Лань, 2023. 396 с.
11. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
12. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 336 с.
13. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.

14. Фризен В. Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий : учебное пособие. – 2-е изд., испр. Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2021. 194 с.

15. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2021. 288 с.

16. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учебное пособие. – 3-е изд., испр. М. : ИНФРА-М, 2023. 214 с.

17. Шеховцов В. П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 158 с.

18. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.

19. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 495 с.

20. Щербаков Е. Ф. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 303 с.