

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)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем
электроснабжения

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Автоматизированная система управления осветительными
установками ТРК, повышающая эффективность их функционирования

Обучающийся

М. А. Пауков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

д.т.н., П. А. Николаев

руководитель

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

Содержание

Введение.....	3
1 Изучение фундаментальных принципов оптимизации работы осветительных систем.....	6
1.1 Лампы накаливания	9
1.2 Дуговые газоразрядные лампы	10
1.3 Светодиодные лампы и источники света	12
1.4 Методы эффективного использования различных типов источников света в осветительных сетях	14
1.5 Устройства и оборудование для автоматизации освещения	19
1.6 Протоколы управления освещением.....	23
2 Разработка системы освещения на объекте проектируемого здания ТРК...	35
2.1 Описание объекта проектирования	36
2.2 Выбор осветительного оборудования и расчет системы освещения.....	39
3 Разработка АСУО на объекте ТРК и проверка эффективности работы системы.....	53
3.1 Подбор оборудования для управления системой освещения.....	54
3.2 Расчет стоимости внедрения АСУО для сетей освещения в ТРК	61
3.3 Оценка экономической эффективности применения АСУО	63
Заключение	71
Список используемых источников.....	73

Введение

За последние годы на территории Российской Федерации наблюдается активная фаза развития в формировании городской инфраструктуры страны. Это подтверждается множеством аспектов, в ряд которых входит разработка программ доступного жилья в рамках развития жилищного строительства, благоустройство общественных пространств в целях создания комфортной городской среды, повышение уровня доступности транспортной сети и многое другое. Отсюда вытекает высокий спрос на разработку строительных проектов, что вызывает активный рост объёма строительных работ в регионах России [11]. Вследствие того, что наблюдается тенденция к увеличению количества вводимых в эксплуатацию жилых и общественных зданий, отмечается также и существенное повышение спроса на электроэнергию [27]. Данный факт тесно связан с необходимостью контроля потребления ресурсов и оптимизации расходов, что в свою очередь приводит к экономии энергоресурсов страны и снижению финансовых затрат.

В общем объёме потребляемой электроэнергии доля, расходуемая на освещение, составляет значительный процент. Жилые и коммерческие здания характеризуются значительным энергопотреблением, обусловленным высоким уровнем использования электроэнергии для функционирования осветительных систем. Освещение играет ключевую роль в обеспечении эксплуатационных характеристик зданий, а также в создании комфортных условий для пребывания как внутри помещений, так и на внешних территориях. «Расход электрической энергии на цели освещения в системах электроснабжения составляет значительную часть в общем балансе их электропотребления (в жилых и общественных зданиях: 60–70 %). Поэтому снижение электропотребления осветительными установками, на фоне постоянно растущих цен на энергетические ресурсы, очень актуальная задача в наши дни» [7].

Оптимизация работы технических устройств и электрооборудования, используемых в зданиях, помогает снизить потребление ресурсов на уровне страны. В настоящее время это имеет огромное значение для энергетической политики на региональном, национальном и международном уровнях. С экономической точки зрения повышение энергоэффективности осветительных установок имеет большое значение в экономии электроэнергии. Для сравнения, «в России на 2011 г. было выработано 1040,5 млрд кВт·ч электроэнергии, а на освещение было потрачено 137 млрд кВт·ч или около 13,2%. При этом общий потенциал энергосбережения в российском секторе освещения в долгосрочной перспективе составляет более 40% или 57 млрд кВт·ч в год» [14]. С другого ракурса проблема эффективности систем освещения может быть успешно решена, если обеспечить оптимизацию использования и функционирования осветительных устройств. Это создаёт наилучшие условия для более длительного срока службы системы освещения, что позволит снизить расходы на её обслуживание [17].

Одним из наиболее известных способов экономии электроэнергии в системах освещения до сих пор остаётся внедрение энергоэффективных ламп. Но в системах наружного освещения, таких как улицы, дворы и подъезды многоквартирных домов, они не всегда дают нужный результат [26].

Стоит также принимать во внимание, что значительные потери электрической энергии в системах внутреннего освещения чаще обусловлены человеческим фактором. Например, в коммунальном секторе порядка 30% электроэнергии зачастую расходуется только на освещение пустующих помещений [18].

В силу того, что лампы внутреннего и наружного освещения не всегда оборудованы необходимой системой управления, это влечёт за собой дополнительные затраты, нерациональное использование электроэнергии и преждевременный выход ламп из строя. Потому одним из возможных путей решения подобной проблемы в системах внутреннего и наружного освещения имеет место применение устройств автоматического управления освещением,

в том числе приборов релейной автоматики, датчиков и фотоэлементов для создания интеллектуальных сетей с автоматизированной системой управления освещением – АСУО. Данный комплекс может выполнять ряд функций, в число которых входит и контроль уровня освещённости, и автоматическую коммутацию (включение либо отключение) светильников посредством учета и анализа ряда факторов: показатели освещённости, наличие людей в освещаемой зоне и прочих вводных параметров.

Тема исследования в рамках данной магистерской работы посвящена разработке автоматизированной системы управления осветительными установками для торгово-развлекательного комплекса (ТРК), повышающей эффективность их функционирования.

Актуальность выбранной темы обусловлена решением проблемы повышения энергетической эффективности электропотребления на проектируемых объектах, а также надежности работы и увеличения срока эксплуатации систем освещения благодаря интеграции автоматизированных систем (АСУО) для управления осветительной нагрузкой с использованием средств автоматики.

Исходя из этого, целью диссертационного исследования является снижение затрат на электропотребление проектируемого объекта ТРК благодаря внедрению данной системы автоматизированного управления осветительными установками.

1 Изучение фундаментальных принципов оптимизации работы осветительных систем

Проектирование инженерных сетей электроснабжения для различных объектов капитального строительства требует особого внимания к решению вопроса по обеспечению эффективного функционирования систем освещения, будь это строительство новых или реконструкция существующих систем. Грамотный подход позволяет существенно повысить класс энергоэффективности проектируемых зданий и объектов городской инфраструктуры в целом.

Системы автоматического управления освещением (АСУО) представляют собой целый комплекс устройств, включающий в себя различные технические и интеллектуальные решения. Они созданы для того, чтобы оптимизировать работу осветительных систем, повысить их эффективность, снизить потребление энергии и сделать освещение более комфортным для пользователей.

Разработка и внедрение автоматизированных систем требует комплексного подхода, включающего в себя не только технические аспекты, но также учет экономических, экологических и социальных факторов. Чтобы успешно реализовать подобный проект, необходимо применить современные методы по оптимизации функционирования и управления осветительными системами.

Необходимо рассмотреть и решить следующий перечень задач:

- провести анализ существующих технологий в области автоматизации управления осветительными установками;
- сформировать совокупность технических решений для создания АСУО на примере разработки проекта по модернизации освещения в ТРК;

- разработать структуру функционирования системы с учетом особенностей исследуемого объекта и определить технико-экономические показатели предлагаемого проекта;
- оценить эффективность разработки проекта с интеллектуальной системой управления освещением в ТРК для предприятия в целом с прогнозом срока его окупаемости.

Чтобы получить достоверную картину, необходимо начать с изучения основных системообразующих компонентов осветительной сети. В частности, следует рассмотреть ассортимент осветительных приборов, доступных в продаже и используемых в настоящее время на практике.

На сегодняшний день рынок световых элементов довольно обширен и не имеет четкого лидера с абсолютным преимуществом среди семейства конкурирующих аналогов, однако можно выделить несколько видов осветительных приборов с различными типами источниками света (ИС). Среди наиболее распространённых ИС выделяют следующие разновидности ламп:

- лампы накаливания и галогенные лампы;
- дуговые газоразрядные лампы низкого (люминесцентные лампы) и высокого (ртутные лампы ДРЛ, натриевые лампы ДНаТ, металлогалогеновые лампы МГЛ/ДРИ, неоновые лампы и так далее) давления;
- светодиодные лампы и ИС [9].

Основной ряд типовых ИС, применяемых в системах освещения, также изображен ниже (рисунок 1).

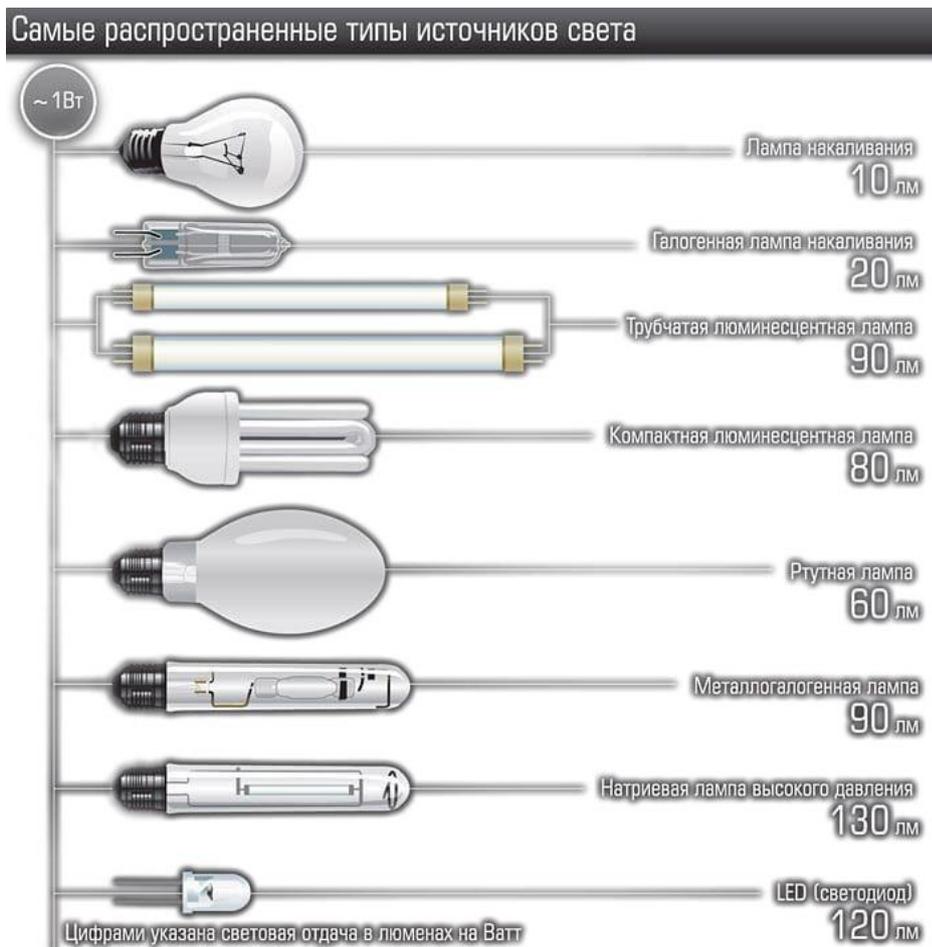


Рисунок 1 – Типовые источники искусственного освещения

Каждый из представленных образцов ИС представляет собой важный элемент в составе осветительного прибора, который, помимо своих конструктивных различий обладает уникальными параметрами световой отдачи. В сочетании с цельным корпусом и осветительной арматурой, ИС оказывает влияние на ряд светотехнических характеристик: уровень освещённости, интенсивность и распределение света, коэффициент полезного действия, и так далее [10]. Комплексное применение разных световых приборов дает возможность формирования большого спектра технических решений, поскольку являются основой в построении системы освещения и каждое из них вносит свой вклад в формирование характеристик системы в своей области применения.

Для большей наглядности следует детально рассмотреть лампы с каждым из вышеперечисленных типов ИС, что позволит изучить их особенности работы и поможет выявить проблемы в эффективности современных систем освещения.

1.1 Лампы накаливания

Одним из первых представителей традиционных ИС, широко вошедших в современный быт, являются лампы накаливания. Конструктивно лампы накаливания представляют собой герметичную колбу с вольфрамовой нитью, которая подвергается нагреву под воздействием протекания через нее электрического тока.

Большая часть излучения, испускаемого данными ИС, находится в желтой и красной областях спектра – диапазон инфракрасного спектра. Доля ультрафиолетового излучения в световом спектре таких ИС крайне незначительна – менее 1%. Данные типы ламп представляют собой источники теплового света. В силу физических особенностей процесса излучения света большая часть электроэнергии затрачивается на нагрев нити накала и инфракрасное излучение, и лишь небольшой объем преобразуется в видимый свет. Вследствие этого данные лампы имеют низкий показатель КПД (не более 6–8%).

С точки зрения энергосбережения и надежности по современным меркам они считаются морально устаревшими. По этой причине во многих странах Европы было решено сократить их производство включая страны Евросоюза, Швейцарию и Австралию. Бразилия и Венесуэла смогли отказаться от них еще в 2005 году, а в Соединенных Штатах запрет на использование ламп накаливания вступил в силу с 2023 года [30]. При этом лампы накаливания всё ещё используются в малобюджетных световых установках из-за своей низкой стоимости и невысоких требований к качеству электросети. Средний срок службы ламп накаливания не превышает 1000 часов при своей светоотдаче в

7–17 лм/Вт [15]. Для совершенствования ламп накаливания существуют решения, позволяющие увеличить светоотдачу в два раза и снизить рабочее напряжение благодаря замене вольфрамовой нити на углеродную.

Галогенные лампы являются модернизацией ламп накаливания, отличающиеся увеличенным сроком службы до 2–5 тыс. часов и пониженным энергопотреблением. Они обладают высокой яркостью и превосходной передачей цвета.

Однако галогенные лампы обладают рядом недостатков, поскольку при эксплуатации требуют:

- поддержки чистоты на поверхности колбы для избегания темных пятен и оплавления;
- использования стабилизаторов или блоков питания для защиты и продления срока службы, поскольку чувствительны к скачкам напряжения сети [15].

1.2 Дуговые газоразрядные лампы

Газоразрядные ИС создают свет благодаря электрическому разряду в газе и парах металла. Они различаются формой колбы, давлением газов и типом разряда. Спектр излучения зависит от рабочего газа и самого разряда. Люминесцентные лампы, излучающие максимум в ультрафиолетовой области, бывают низкого, высокого и сверхвысокого давления. Значения КПД и спектр излучения зависят от рабочего давления в колбе.

Люминесцентные лампы низкого давления выпускаются в различных цветовых решениях, включая белый спектр и другие цветовые оттенки. Лампы данного типа работают благодаря люминофору, испускающего фотоны света под воздействием ультрафиолетового излучения ртути от электрического разряда. Ключевым недостатком люминесцентных ламп является их невысокая эффективность работы при эксплуатации в условиях низких температур. Данный недостаток был решен в морозостойких лампах с двойной

колбой: примером тому служат лампы MASTER TL-D Xtra/Xtreme Polar. Однако они до сих пор не нашли своего широкого применения из-за своей высокой стоимости [15]. Люминесцентные лампы в компактном форм-факторе с электронным пускорегулирующим аппаратом (ЭПРА) широко применяются в интерьерном освещении. Их отличительная особенность – более низкое энергопотребление по сравнению с лампами накаливания и галогенными лампами.

Люминесцентные лампы также используются при создании акцентного освещения с возможностью изменения цветового спектра, например в системах RGB (Red Green Blue). Однако среди газоразрядных ИС для декоративной подсветки чаще используются неоновые типы ламп, имеющие более широкую цветовую гамму – более 54 оттенков, в зависимости от состава добавок в газе внутри колбы. Газосветные лампы, также известные как неоновые, относятся к классу люминесцентных ламп тлеющего разряда, излучающие свет за счет свечения самого газа (неона) помимо люминофора, а для их питания используются высоковольтные источники напряжения.

В отдельную категорию газоразрядных ИС относятся лампы безэлектродного типа. Устройство данных ламп включает в себя стеклянную колбу, источник высокочастотной энергии и устройство для передачи энергии в разряд (в роли которого может выступать индуктор или внешний электрод). Особенность работы этих ламп заключается в том, что они функционируют при высоких частотах питающего напряжения и создают электромагнитное поле вокруг стеклянной трубки для поддержания газового разряда. Благодаря отсутствию электродов внутри колбы, которые подвергаются износу за счет поглощения ими рабочего газа, безэлектродные лампы отличаются длительным сроком службы, который составляет около 10–15 тыс. часов [15].

Безэлектродные лампы имеют два варианта исполнения в зависимости от типа возбуждающего поля. Первый вариант – это лампы с ферритовым магнитопроводом, где разряд возникает под влиянием переменного вихревого поля, создаваемого магнитным потоком в магнитопроводе. Данные устройства

обладают высокой степенью компактности, долговечны и не создают электромагнитных помех. Второй вариант: плазменные лампы с внешними электродами – External Electrode Fluorescent Lamp (EEFL). Они предназначены для освещения рекламных конструкций с внутренней подсветкой и применяются в интерьерах для декоративных целей. Система EEFL состоит из безэлектродных ламп, колпачков с электродами и электронного трансформатора. Данная система способна выдавать высокие значения яркости, работая на токах до 6,7 мА и используя при этом лампы с диаметром до 5–8 мм. Срок службы для ламп EEFL составляет около 50 тысяч часов (примерно 5 лет), и за счет малых значений мощности питающего трансформатора они не создают таких значений помех, которые могли бы превысить уровень, генерируемый люминесцентными и неоновыми лампами.

Исходя из приведенных данных о газоразрядных лампах, можно утверждать, что они отличаются высокой степенью световой отдачи (порядка 30–60 лм/Вт), низким энергопотреблением и долгим сроком службы. Но важно принимать во внимание, что у них есть свои слабые стороны. Например, при условиях низкой температуры и в режиме частых коммутаций лампы дугового разряда высокого давления и лампы дневного света чаще выходят из строя. Неоновые лампы требуют высокого напряжения, что может вызвать проблемы с электромагнитными утечками. Все типы люминесцентных ламп содержат ртуть, что усложняет их утилизацию. Безэлектродные лампы создают электромагнитные помехи, распространяющиеся в окружающем пространстве и негативно воздействующие на электрическую сеть.

1.3 Светодиодные лампы и источники света

Светодиодные ИС – один из самых перспективных, быстро развивающихся источников искусственного света. Они функционируют на основе полупроводниковых светодиодных элементов (светодиодов) и

испускают свет при прохождении электрического тока через p-n-переход. Свет излучается в широком диапазоне: от инфракрасного до ультрафиолетового.

Светодиоды применяются для освещения разного рода помещений (жилые, офисные, производственные, уличные), они нашли свое применение в сфере светодизайна, в рекламном освещении, а также в автомобильной индустрии. Конструктивно светодиодные источники имеют возможность объединяться в сложные системы линейного, плоского или пространственного излучения. Для работы светодиодов, как правило, используются специализированные источники питания и контроллеры в блоках питания, служащие для управления световыми параметрами ламп.

К числу весомых преимуществ при использовании светодиодов относят их низкое энергопотребление и длительный срок службы, достигающий 10–20 лет. Помимо этого, некоторые модели лампы (в частности, диммируемые) обладают возможностью регулировки яркости и работы в динамическом режиме. Конструкция светодиодных ламп отличается своей экологичностью и эксплуатационной безопасностью – в том числе устойчивостью к ударам и вибрациям в сравнении с другими ИС.

Однако, несмотря на перечисленные преимущества, диодные лампы отличаются высокой ценой, чувствительны к тепловым нагрузкам, что может сказаться на надежности их работы, вызвать проблемы с падением яркости (в результате деградации излучающего кристалла) и изменением цветовой температуры (из-за эффекта выгорания люминофора). Для большей эффективности своего функционирования им необходимо создавать рабочую среду и предусматривать отведение вырабатываемого тепла. Важно отметить, что надёжность светодиодов также во многом зависит от конструкции и качества кристаллов, поэтому не все производители могут обеспечить необходимое качество продукции.

Стоимость светодиодных приборов значительно превышает стоимость традиционных ламп накаливания, поскольку она отражает уровень современных технологий и сложность производственного процесса. Однако

стоит отметить, что конкуренция на рынке и рост спроса на светодиодные лампы постепенно снижают их стоимость – в среднем на 10% в год. Более того, выполнение деталей корпуса светильника из полимерных материалов позволяет удешевить процесс изготовления. Отсюда следует выделить, что повышение надежности и заявленного срока службы, в свою очередь, приводит зачастую к росту стоимости осветительных систем, а увеличение рабочего тока ламп ускоряет процессы их деградации, приводя также к увеличению затрат на обслуживание систем освещения.

1.4 Методы эффективного использования различных типов источников света в осветительных сетях

Как выяснилось ранее, при использовании световых приборов для создания систем искусственного освещения можно столкнуться с рядом технических сложностей и нюансов, последствия которых необходимо учитывать ещё на этапе проектирования. В действительности надежность работы для большинства световых установок не всегда можно обеспечить за счет применения всех самых передовых компонентов. Стоит помнить, что вероятность появления дефектов и проявление нестабильной работы также может прямо пропорционально расти как с увеличением числа источников света, так и количества элементов управления. В связи с этим обеспечение надёжности в работе системы становится более сложной задачей.

В соответствии с данными исследований [15], основные причины неполадок и дефектов в системах освещения чаще всего кроются в неисправностях самих осветительных приборов и их элементов питания. В световых установках зачастую требуется ручным методом соединять светодиоды и другие компоненты. При этом операция пайки считается сложным типом соединения: если выполнять пайку вручную – соединения могут получиться непрочными и высока вероятность возникновения переходного сопротивления в местах спайки. Также существует ряд причин

повреждения паяных соединений, основными из которых являются наличие пустот из-за нарушения технологических условий в процессе пайки (например, повышенная влажность и тому подобное), механическая нагрузка и воздействие повышенных температур (в том числе ее перепад). Однако даже эти уязвимости можно преодолеть, если обеспечить дополнительную защиту мест паяных соединений в светодиодных системах с помощью термоусадочных трубок.

Еще одним важным звеном в обеспечении качества работы световых установок является надежность источников питания, так как подавляющее число современных ИС работает от специализированных источников. Эти источники, в свою очередь, представляют собой слабое место и требуют устранения уязвимостей, связанных с возможными неисправностями (включая необходимость стабилизации выходного тока и прочее). Поэтому важно определиться с правильным подходом при выборе внешнего блока питания.

Уровень надежной работы электронных источников питания также зависит от выходного напряжения, при этом наименьшая надежность наблюдается у высоковольтных источников, питающих неоновые лампы. Для повышения надежности их работы рекомендуется использовать относительно низковольтные трансформаторы, например системы распределенного питания и система EEFL.

В большинстве случаев оптимальным решением будет выступать блок питания, разработанный специально для конкретной модели светильника, или модель блока от ведущих производителей. И чем проще устройство в конструктивном исполнении, тем оно более надежно себя поведет в эксплуатации. Зачастую электротехнические источники питания (дрессели, трансформаторы и газосветные трансформаторы) оказываются более надежными устройствами, поскольку их работа не требует высокого качества сетевого напряжения и мало зависит от сетевых помех. Однако со светодиодами и галогенными лампами ситуация обстоит сложнее – для их работы еще требуется и стабилизация питания. Данная возможность

реализуется благодаря применению специализированных электронных устройств.

Электронные преобразователи часто используются в работе различных типов газоразрядных ламп, где проблема электромагнитной совместимости имеет большое значение. Это может приводить к неисправностям и ухудшению качества освещения. В цепях осветительных устройств могут возникать реактивные и пусковые колебания, вызванные работой электронных трансформаторов (конверторов). А применение ЭПРА в осветительных системах в свою очередь демонстрирует ряд положительных эффектов: За счёт «мягкого» пуска значение срока службы лампы увеличивается до 25–35 тыс. часов, стабилизируется световой поток на весь срок службы лампы, исключается наличие стробоскопического эффекта в освещении, уменьшается доза фликера, а при своем высоком КПД (0,98) ЭПРА позволяет сократить энергопотребление ламп до 30% [33].

Надежность работы светодиодов также в значительной мере зависит от качества сетевого напряжения, поэтому для эффективности работы ламп рекомендуется использовать источники питания, позволяющие стабилизировать сеть. Выбор источника питания следует осуществлять с учетом эксплуатационных параметров и характеристик сетевого напряжения, а также согласно требованиям российских стандартов [1, 3].

В целях оптимизации работы осветительных установок также часто применяются не только источники питания, но и системы динамического управления светом с применением таких устройств, как контроллеры и диммеры. Контроллеры предназначены для импульсного динамического управления световыми потоками, а диммеры – для регулирования яркости источника света. Существуют контроллеры, совмещающие функции управления световыми потоками и цветом, известные как контроллеры системы цветового смешения (RGB). Для управления светодиодами контроллеры часто совмещаются с источниками питания. Некоторые виды конвертеров для газоразрядных ламп имеют встроенные блоки для управления

световыми потоками во времени и пространстве для индивидуальных световых линий.

Контроллеры для световых линий изготавливаются только в виде отдельных устройств. Для газоразрядных источников света контроллеры имеют свои особенности, связанные с физикой работы ламп. Входное сопротивление источников питания имеет реактивный характер, что ухудшает работу тиристорных каскадов, функционирующих в режиме регулятора мощности – диммера. Управление интенсивностью яркости свечения ламп, имеющих отрицательное динамическое сопротивление (ртутные и неоновые), носит прерывистый характер. В случае управления конвертерами также играет большую роль электромагнитная совместимость. Причина кроется в воздействии электромагнитных полей, создаваемых высоковольтными элементами соседних каналов, и оказывающих воздействие друг на друга. Гарантировать бесперебойную работу неоновых динамических установок сложнее, чем в случае со светодиодными системами.

Опираясь на исследования [15], было установлено, что основные причины неполадок и повреждений в осветительных приборах кроются в самих осветительных элементах и источниках питания. Большинство современных ИС требуют питания от специализированных источников, которые также могут быть подвержены сбоям. Для предотвращения возможных проблем необходимо обеспечивать стабильность выходного тока и другие параметры.

Статические световые установки и системы с традиционной светодинамикой эффективно работают с газоразрядными лампами, особенно с неоновыми. Ограниченный срок службы световых элементов компенсируется простотой обслуживания и высокой сохраняемостью световых характеристик. Также стоит уделять внимание новым разработкам в области традиционных источников света, включая безэлектродные лампы, сочетающие эффективность газоразрядных ламп с повышенным сроком службы, приближающимся к долговечности LED-систем.

Установки со сложными свето- и цветодинамическими программами эффективнее реализовывать на светодиодах. LED-технология является лидером в таких областях, как информационные табло, телевизионные экраны, световые поля и декоративные элементы архитектурного и интерьерного оформления. Светодиодные лампы обрели свою популярность благодаря своей энергоэффективности и длительному сроку службы [31]. Они потребляют меньше электроэнергии, чем традиционные и энергосберегающие лампы, а также обладают широким спектром цветовых температур. А чтобы сделать светодиодные светильники более эффективными, можно применять следующие методы:

- установка блока питания за пределами корпуса (во избежание повышения температур в замкнутом пространстве);
- подбор ламп с эффективными радиаторами охлаждения (для увеличения площади рассеивания выделяемого тепла);
- ограничение мощности осветительной системы (установкой предела мощности при помощи диммеров);
- обеспечение своевременного ухода (проводить регулярную очистку корпуса светильника);
- электротехнические способы защиты (применение предохранителя и варистора в схеме светодиодных блоков питания).

Еще одним направлением из современных методов управления освещения выступает сенсорное освещение. Данный комплекс представляет собой осветительные устройства, которые управляются под контролем сенсорного датчика и используют датчики движения для автоматического включения и выключения света, при этом также позволяя экономить энергию [32].

Динамическое освещение позволяет менять яркость и цвет в зависимости от времени суток или дня недели, что может стать особенно эффективным решением для административных зданий и торговых помещений. Днем можно включать яркое и холодное освещение для

привлечения внимания к акциям, а вечером – теплый и уютный свет, подчеркивающий определенные зоны в магазине. Сенсорное освещение также может использоваться для создания персонализированных сценариев освещения, например, световых эффектов при покупке товара. Системы управления освещением позволяют дистанционно регулировать свет в торговых помещениях методом диммирования светильников для автоматизации расписания работы света, реагирования на изменения внешней освещенности и интеграции с другими инженерными системами. Таким образом применение датчиков для создания систем АСУО становится ключевым шагом в решении задачи автоматизации управления осветительных установок.

1.5 Устройства и оборудование для автоматизации освещения

В сфере коммерческой и жилой недвижимости системы освещения занимают важное место, обеспечивая комфортные и безопасные условия работы для людей. А внедрение автоматики позволяет настроить оптимальный режим для работы данных систем с возможностью сокращения расходов на электроэнергию и оптимизации обслуживания [29].

Система АСУО представляет собой комплекс технологических решений, которые обеспечивают необходимым количеством света в нужное время и место. Данная задача выполнима за счет применения компонентов системы автоматизации, например установки датчиков движения или освещенности. Благодаря этому, каждый осветительный прибор будет включаться только тогда, когда это необходимо, например, когда человек находится рядом с датчиком – внутри его зоны действия, или когда на производственных помещениях начался рабочий день.

АСУО может выполнять ряд основных функций:

- поддержание искусственной освещенности в помещениях на фиксированном уровне за счет установки фотоэлементов;

- учет естественной освещенности благодаря фотоэлементам, отслеживающим полную освещенность (естественную и искусственную);
- учет присутствия людей в помещении за счет отключения и включения светильников по сигналам таймера и датчиков в зависимости от того, есть ли люди в данном помещении;
- учет времени и дня суток посредством оборудования системы с собственными часами реального времени;
- дистанционное беспроводное управление осветительной установкой (функция не является автоматизированной, но применяется в данных системах за счет простоты реализации и значительного удобства в управлении осветительными приборами).

Для решения этих и многих других задач могут применяться модульная релейная автоматика [23] (рисунок 2).



Рисунок 2 – Пример продукции релейной автоматики и устройств модульного типа для систем управления освещением

Рассмотрим основной ряд устройств для управления освещением, представленных в ассортименте продукции релейной автоматики.

Фотореле, или светочувствительные автоматы, предназначены для автоматического включения освещения с наступлением темноты и его

отключения при появлении света. Принцип работы данного устройства основан на контроле уровня освещенности с помощью фотодатчика, интегрированного в корпус или вынесенного за его пределы. Когда уровень освещенности падает ниже заданного на приборе значения, контакты на реле замыкаются за счет подачи электричества на катушку реле, и нагрузка, подключенная на выходе реле включается. При увеличении уровня освещенности контакты размыкаются, и нагрузка отключается. Данный механизм довольно прост и широко используется для управления освещением на улицах, витринах магазинов, рекламных щитах, автостоянках, железнодорожных переездах, остановочных пунктах, строительных объектах, коттеджах и других местах, а также в промышленной автоматике.

Астрономические реле времени: особый тип реле, используемый для автоматического включения и выключения освещения в моменты захода и восхода солнца с ежедневной автономной корректировкой в течение года. Принцип работы реле базируется на алгоритме программы, заложенной в микропроцессор. Этот алгоритм ежедневно рассчитывает время включения и выключения освещения на основе годовой таблицы восходов и заходов солнца. При этом учитываются периоды времени года и сезонные изменения продолжительности светового дня. Они применяются для управления освещением в частных домах и на улицах городов, включая освещение улиц, дорог, площадей, парков, дворов, коттеджных поселков, автостоянок и других мест.

Импульсные реле, также известные как бистабильные, предназначены для управления электрической нагрузкой (в том числе и осветительной) из нескольких мест, используя параллельно соединенные по двухпроводной линии кнопочные выключатели. Для включения или выключения нагрузки необходимо подать электрический импульс на вход управления реле. Реле является замыкающим элементом и параллельно соединено с кнопочными выключателями. Оно позволяет управлять несколькими нагрузками и может работать в различных режимах, которые определяют последовательность

управления нагрузкой. Выбор нужного режима осуществляется с помощью переключателя, расположенного на корпусе реле. Импульсные реле используют для освещения проходных помещений, таких как длинные коридоры, лестничные марши и так далее (включение на входе, выключение на выходе), а также для управления и коммутирования электроустановок.

Автоматы лестничные: применяются для автономного отключения освещения (или другой нагрузки) по истечении заданного временного интервала после активации. После активации пользователем системы освещения нажатием на выключатель задается время ожидания, которое составляет от 30 секунд до 10 минут. После истечения этого времени свет автоматически отключится, а если выключатель будет нажат повторно во время его отсчета, отключение может быть отложено. В автоматах с функцией предупреждения о выключении осуществляется постепенное уменьшение яркости освещения наполовину за 30 секунд до отключения. Данная опция применима к лампам накаливания и галогенным лампам. Лестничный тип автоматов нашел свое применение в управлении освещением на лестничных площадках, коридорах, прихожих, тамбурах, хозяйственных и служебных помещениях, подвалах и других аналогичных помещениях.

Следующий тип устройств предназначен для регулировки уровня освещенности в помещении – это диммеры (то есть регуляторы освещенности). Согласно принципу их работы, интенсивность создаваемого лампами освещения может задаваться с помощью нажатия на кнопку выключателя. Если выключатель удерживается более 1 секунды, то уровень яркости меняется в сторону максимального значения, а при повторном нажатии выключателя с удержанием яркость постепенно снижается до минимума. После установки яркости выбранный уровень сохраняется в памяти регулятора и восстанавливается при каждом включении света, с учетом постоянного подключения к питающей сети. Этот принцип управления применяется на объектах, где есть необходимость постоянного ручного регулирования уровня яркости освещения.

Реле-преобразователи сигналов – это устройства, которые часто используются для преобразования непрерывного сигнала в два отдельных импульса в различных системах. Например, они могут применяться в системах умного дома и системах автоматического ввода резерва (АВР). Реле работает по принципу подачи одиночных импульсов на одном или нескольких выходах в зависимости от подачи управляющего сигнала (напряжение) на входе. К примеру, при получении сигнала на вход реле, оно будет генерировать импульс на выходе одного из своих контактов с установленным временем, а после прекращения подачи данного сигнала генерируется импульс на выходе другого контакта. Данный принцип применяется в алгоритмах логических систем автоматики, АВР, умный дом и тому подобных.

В системах управления освещением, функционирующих на основе импульсных реле, широко применяются устройства разделения цепей. Эти системы могут быть организованы по принципу группового или централизованного управления. Разделители сигналов служат для разделения сигналов управления в системах автоматики с групповым и центральным управлением. Основной принцип функционирования разделителей сигналов заключается в обеспечении односторонней передачи управляющего сигнала. Это означает, что сигнал передается исключительно в одном направлении, тогда как его обратное распространение полностью блокируется. Чаще всего такие устройства используются в системах управления освещением с использованием импульсных реле, имеющих групповое и центральное управление.

1.6 Протоколы управления освещением

Современное управление освещением выходит за рамки стандартного подключения источников света к аппаратам релейной автоматики. Существует ряд связующих интеллектуальных систем, которые позволяют дистанционно управлять группами осветительных приборов, отстраивать их время

включения и выключения, регулировать яркость и выполнять множество других задач. Весь функционал данных систем обеспечивается на языке определенных стандартов управления – протоколов. В контексте общей классификации существует два основных типа протоколов: аналоговые и цифровые.

Первый тип протокола – аналоговый, зародившийся и массово внедренный с середины 70-х годов, получил название 0-10V. Данный вид интерфейса подразумевает одностороннюю связь между диммером и осветительным прибором через управляющий провод. Следуя из названия протокола, принцип диммирования производится посредством регулирования яркости светильника от полного отключения до максимальной яркости пропорционально изменению напряжения на источнике (в диапазоне от нуля до 10 вольт соответственно). Роль регулятора выполнял переключатель автотрансформатора, а позднее стал применяться реостат.

Позже появился протокол 1-10V, реализованный по схожему принципу управления от максимальной до минимальной яркости в диапазоне от 1 до 10 вольт. Это дало возможность реализовать связь с любым типом регуляторов, работающих по системе 1-10V и 0-10V, но при этом данная система требует наличия отдельного выключателя для полного отключения приборов.

Преимущество аналоговых систем заключается в простоте реализации и диагностики неисправностей. Однако основные минусы связаны с большим количеством используемых кабелей при значительном числе управляемых приборов. В силу данной причины повышается вероятность короткого замыкания при совместной прокладке кабелей, а также характерна проблема затухания аналогового сигнала. Чем дальше находится прибор, тем сильнее на нем снижается напряжение, что приводит к уменьшению яркости освещения в отдалённых частях помещения. Кроме того, применение аналоговой системы усложняет процесс внесения изменений в схему. При добавлении новых устройств требуется прокладывать дополнительные кабели, а в некоторых случаях может потребоваться полная реконструкция всей разводки.

Начало развития цифровых протоколов в качестве альтернативы аналоговым системам управления задает появление в 1986 г. систем стандарта DMX 512 (Digital Multiplex). В современных системах архитектурного и сценического освещения часто используется данная технология. В основе главного компонента системы управления используется пульт DMX-контроллера, к которому последовательно через общий сигнальный кабель подключается световое оборудование с помощью диммеров и других вспомогательных устройств. Подключение приборов осуществляется DMX-кабелем с интерфейсным разъемом XLR на 3 или 5 контактов. Для управления светом контроллер отправляет в сеть пакеты данных по заданным адресам (или каналам). Структура принципа адресации в системе освещения DMX предполагает наличие группы из 512 каналов – так называемой «вселенной DMX», каждая из которых принимает значения от 0 до 255. Подключаемые в одну линию приборы определяют диапазон занимаемых каналов в зависимости от набора своих функций и принимают определенную команду, соответствующую своему присвоенному адресу.

Пример типовой схемы, построенной на базе протокола DMX представлен на рисунке 3.

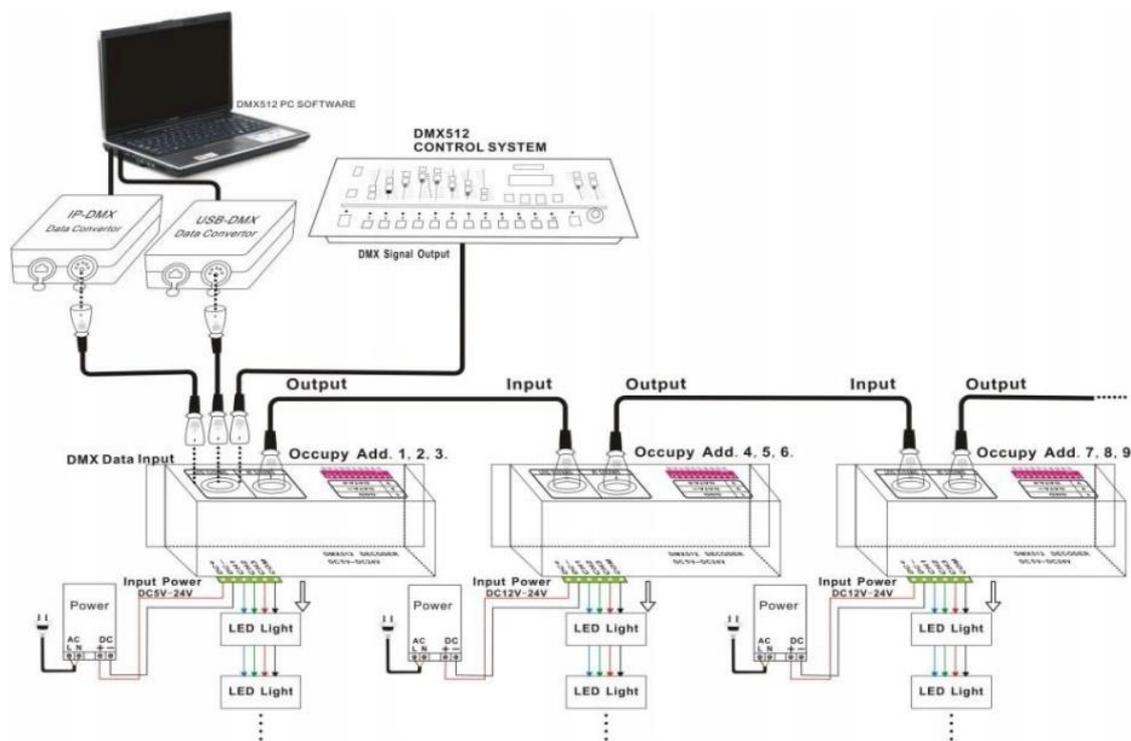


Рисунок 3 – Пример схемы управления освещением на базе протокола DMX

К плюсам системы можно отнести ее универсальность, простоту коммутации, гибкость и демократичную стоимость. Среди недостатков системы следует отметить ограничение в количестве подключаемого оборудования – 32 единицы на одну линию, а также отсутствие обратной связи с подключенным оборудованием: в случае возникновения неполадок отсутствует возможность их удаленного обнаружения и контроля состояния приборов.

В начале нулевых годов протокол DMX был усовершенствован: новая система стала расширением старого стандарта, получила усовершенствованный функционал и лишилась большинства имевшихся недостатков в новом протоколе RDM – Remote Device Management. После реализации двухсторонней связи его функционал расширился в своем спектре возможностей: идентификация, мониторинг статуса, считывание основных показателей и параметров (напряжение и ток, температура, время работы, цветопередача и так далее), автономное распознавание и диагностика светильников, сообщение о сбоях устройства и пр. Недостаток системы связан

с выполнением определённых технических требований: все устройства в сети должны поддерживать RDM. Однако из-за ограниченного числа совместимых драйверов и нехватки контроллеров, способных эффективно использовать дополнительные возможности устройств, использование RDM становится дорогостоящим решением. Полная замена старого оборудования зачастую не является экономически оправданной. Вследствие этих факторов протокол RDM еще не получил широкого распространения, однако обладает значительным потенциалом для дальнейшего развития и перспективной интеграции в современные системы освещения.

С ростом числа приборов в осветительных системах проблема нехватки каналов для передачи данных остаётся актуальной. Для ее решения можно использовать высокоскоростные Ethernet-протоколы, такие как ArtNet, которые позволяют управлять несколькими потоками данных в 512 каналах через один провод. Система строится на использовании конвертеров Ethernet-DMX с присвоением IP-адресов внутри сети и управляется командами от компьютера по Ethernet со скоростью 100 Мб/мин. Среди преимуществ данной системы можно выделить следующие аспекты: высокая скорость работы, реализация функции «Plug-and-Play» (подключи и работай – подключение устройств без необходимости предварительной настройки), разнообразие поддерживаемой техники от различных брендов, а также широкий выбор программного обеспечения, драйверов и библиотек.

Также под конец 90-х годов на рынке появился еще один конкурент – протокол DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Система управления DALI является цифровой версией, альтернативной аналоговым системам 0-10V и 1-10V, обладающей при этом рядом своих преимуществ: качество подаваемого сигнала не зависит от длины линии и колебаний напряжения, а также возможна обратная связь и получение команд от устройств. Применение систем по стандарту протокола DALI подходит как для частных домов, так и коммерческих зданий (офисы, рестораны, гостиницы и так далее) в целях организации централизованного и удаленного управления освещением.

В системе DALI применяется специальная двухпроводная шина с напряжением 16 В постоянного тока, по которой устройствами осуществляется обмен информацией. Система работает с фиксированной скоростью передачи данных, которая составляет 1200 бит в секунду. Это не самый высокий показатель, но он обеспечивает надёжность и устойчивость к помехам. Такой скорости достаточно для обмена стандартными сообщениями длиной в 1, 2 или 3 байта.

Комплекс устройств, интегрированных в систему управления DALI, подразделяется на исполнительные (светильники, балласты, диммеры, драйверы в количестве до 64 шт. в сегменте), управляющие (контроллеры и управляющие устройства с общей суммой потребления не более 250 мА) и системные (блоки питания, шлюзы и усилители). Как правило, для подключения устройств с поддержкой DALI используется 5-жильный кабель, три из которых обеспечивают питание светильников или аппаратов управления, а две остальных выделены на подключение к общей шине.

Команды, подающиеся по шине напрямую от управляющих устройств на исполнительные, подразделяются на широковещательные (исполняются всеми подключенными устройствами как единая группа), групповые (исполняются несколькими устройствами, объединёнными в одну группу) и индивидуальные (исполняются выборочно конкретным устройством). Также система позволяет задавать сценарии освещения с предустановленными настройками для всех светильников и сохранять их состояние при следующем включении. Пример схемы с управлением светильниками по протоколу DALI представлен на рисунке 4.

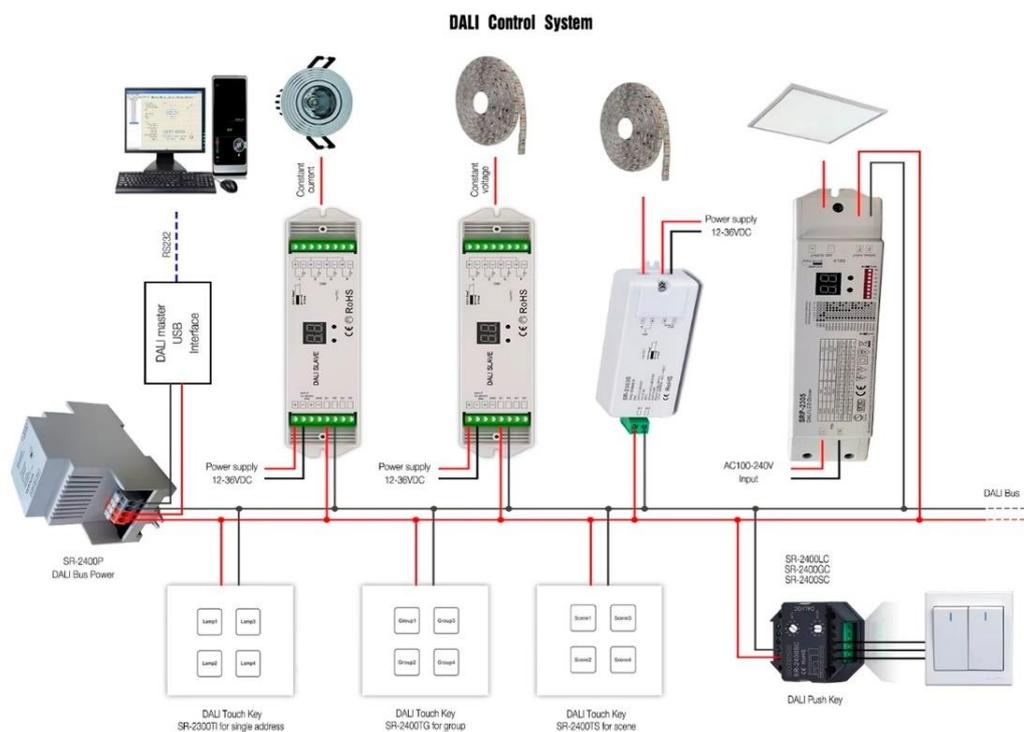


Рисунок 4 – Пример схемы управления освещением на базе протокола DALI

С 2014 года в открытом доступе появилась обновленная версия протокола – DALI-2, которая позволила расширить спектр своих возможностей и теперь поддерживает работу с интерфейсными устройствами (датчики движения, панели управления, выключатели, датчики освещенности и прочие контроллеры). Кроме того, была разработана беспроводная версия протокола DALI+, в которой реализована поддержка радиосистем. Данная модификация находит свое применение в сегменте промышленного освещения. Системы DALI-2 также позволяют управлять оборудованием в системах аварийного освещения [13]: программа сертификации DALI-2 Emergency позволяет расширить функциональность базового протокола за счёт сертификации устройств аварийного освещения по стандарту IEC 62386-202, что позволяет им работать в единой системе.

Стоит учитывать, что при построении системы управления с разными версиями протокола необходимо принимать во внимание определённые ограничения в силу специфики работы приборов: например, датчики,

работающие на устаревшей версии протокола, не смогут в полной мере взаимодействовать с новым интерфейсом, так как форматы обмена данными между ними будут несовместимы. Таким образом, устройства управления DALI и DALI-2 могут взаимодействовать только в той части, где команды управления поддерживаются обоими протоколами.

Рассматривая вопрос о комплексных решениях, стоит упомянуть о существовании открытого стандарта KNX (Connectivity Network Exchange). Разработка данного продукта была инициирована на начало 1990-х годов: в этот период уже активно развивался процесс интеграции инженерных систем управления с применением оборудования релейной модульной автоматики.

Структура в системе автоматизации KNX предусматривает использование различных конфигураций: линейная, древовидная и звездообразная (рисунок 5).

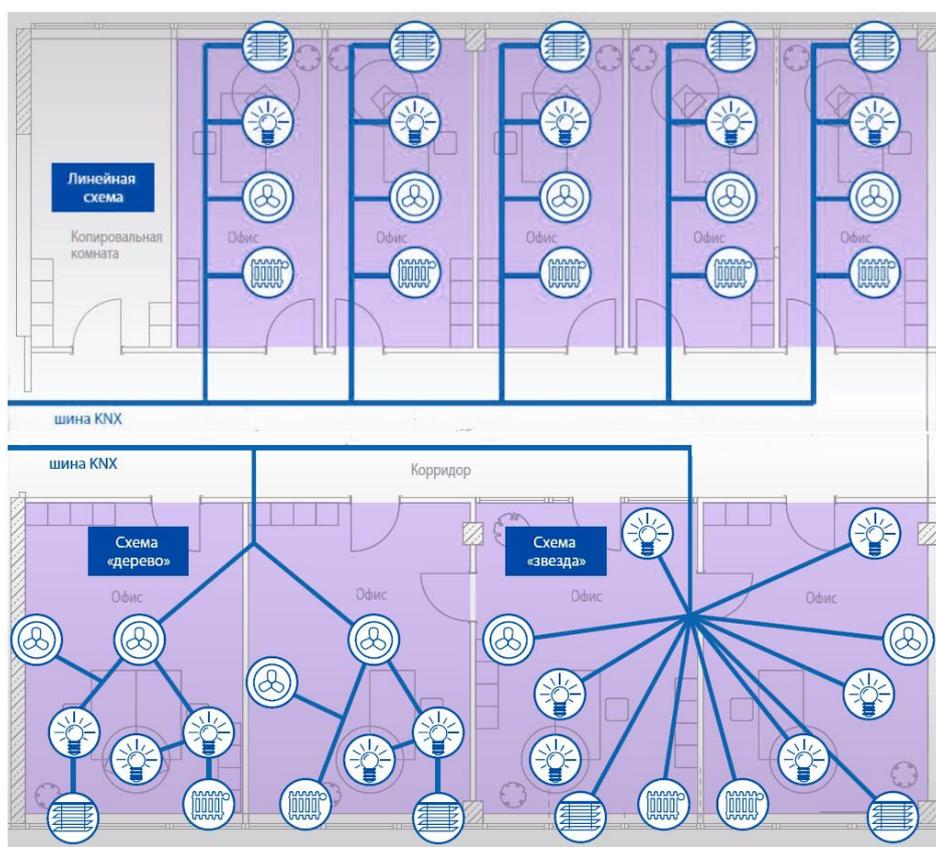


Рисунок 5 – Топология шины KNX (линейная, древовидная и звездообразная)

Каждый сегмент системы представляет собой базовый элемент, состоящий из нескольких узлов (может включать в себя до 64). Четыре таких сегмента могут соединяться в линии, а те, в свою очередь, – в области (содержат до 15 линий в каждой), подключающиеся к общей шине. Передача данных может осуществляться по витой паре (TP), силовой проводке (PL), Ethernet (IP), а также доступна поддержка беспроводного вещания на радиочастоте (RF).

Существует широкий спектр стандартизированного оборудования KNX, предназначенного для создания систем освещения любого размера и уровня сложности. Это оборудование можно разделить на три основные группы: системные компоненты (блоки электропитания, линейные соединители, интерфейсные модули, роутеры и повторители); исполнительные компоненты (релейные блоки, шлюзы для сопряжения с системами DALI и DMX, актуаторы для управления электрическими нагрузками, контроллеры, диммеры, модули ввода-вывода, диммируемые драйверы и блоки питания) и управляющие элементы (датчики движения и освещенности, клавишные выключатели, сенсорные и кнопочные настенные панели, электронные таймеры, дистанционные пульты с инфракрасным или радиоуправлением, смартфоны или планшеты со специализированным ПО) [25].

Система универсальна и поддерживает интеграцию для совместной работы других протоколов освещения – к таким можно отнести ранее упомянутые системы: DALI и DMX (RDM). Все устройства в системе KNX обладают встроенной энергонезависимой памятью, за счет чего обеспечивается возможность однократной настройки системы и исключается необходимость повторной конфигурации при отключении электропитания. Сеть KNX является децентрализованной, так как ее протокол может быть сконфигурирован без необходимости центрального контроллера для обмена данными между устройствами. Данная особенность позволяет надежно работать даже при выходе одного из блоков системы.

В настоящее время этот стандарт может управлять не только освещением, но также помогает автоматизировать системы отопления, кондиционирования и вентиляции, охранно-пожарной сигнализации, видеонаблюдения, а также другие технические подсистемы всего здания в единый комплекс. Протокол применяется в самых разнообразных сферах деятельности, включая домашнюю автоматизацию, коммерческие здания и офисные помещения, а также другие проекты на базе системы «умный дом». Это делает KNX универсальным инструментом для решения задач автоматизации в управлении инженерных систем здания.

Выводы по разделу: по итогам проведенного анализа изучен вопрос комплексной разработки системы освещения и его управления. Анализ характеристик и особенностей световых элементов, источников питания и контроллеров показал, что длительный срок службы одного светового элемента не всегда сможет обеспечить бесперебойную работу всей установки. Исходя из этого, важно учитывать также технические и технологические аспекты на стороне систем управления, а также изучить экономическую составляющую вопроса.

Важно отметить, что продолжительность работы осветительных систем во многом зависит от того, насколько долго служат лампы: например, в этом можно наглядно убедиться, сравнив заявляемый срок службы при эксплуатации люминесцентных и светодиодных (LED) ламп или разрядных ламп (НID) и светодиодных (LED) ламп уличного исполнения (таблица 1).

Таблица 1 – Срок службы эксплуатации ламп

Тип лампы:	Кол-во часов	Кол-во дней	Кол-во лет
Люминесцентные лампы.	10 000	417	1,142466
Светодиодные лампы (LED)	15 000	625	1,712329
Лампы разрядные (HID)	20 000	833	2,282192
Светодиодные лампы (уличные)	40 000	1667	4,567123

В связи с этими причинами в рамках проекта было принято решение использовать световое оборудование на основе светодиодных ламп. Это позволяет снизить расходы на ремонт и обслуживание светильников, а также увеличить срок эксплуатации системы освещения за счет большего срока службы оборудования.

Рассматривается также ряд технических решений, которые следует учесть на этапе разработки проекта АСУО для административных зданий и торговых помещениях при выборе осветительного оборудования. Чтобы обеспечить оптимальную автономность и повысить эффективность функционирования системы освещения, необходимо уделить внимание на применение следующих технологий:

- современная аппаратура осветительных приборов (пускорегулирующие аппараты ЭПРА и источники питания);
- динамическое освещение (контроллеры, диммеры);
- сенсорное освещение и средства автоматизации систем АСУО.

В процессе исследования существующих систем построения АСУО был определен ряд актуальных типов протоколов управления, которые могут послужить фундаментом для разработки автономной системы управления освещением в проектируемых объектах торгово-развлекательного назначения.

Лидерами для систем освещения по сей день остаются стандарты управления на базе протоколов цифрового типа – DMX, KNX и DALI. С точки зрения надежности работы, устойчивости к помехам и стабильности передачи данных, в случае применения аналоговых методов управления существует

риск возникновения сбоев в работе системы за счет уязвимости к помехам в сети. В то же время, как цифровой сигнал DMX защищён от помех благодаря использованию витой пары проводов, которые образуют сбалансированную пару из зеркальных импульсов. Это позволяет снизить влияние помех от высоковольтных сетевых кабелей. Структура сети в KNX также обладает высоким уровнем надёжности и стабильности в работе, поскольку ее система является децентрализованной. А для цифрового сигнала DALI аналоговые помехи также не представляют серьезной угрозы, поскольку его амплитуда значительно выше, а за счет невысокого, но фиксированного показателя скорости передачи данных делает систему устойчивой к электромагнитным помехам, что даёт возможность реализовать параллельную прокладку шины DALI вместе с силовыми линиями без экранирования.

На основании проведённого исследования, более оптимальным решением для создания системы автономного освещения на строящемся торгово-развлекательном комплексе принято разработать систему АСУО для осветительных установок внутри торгового комплекса и по наружной территории здания, включая фасады и парковку. В качестве основы для разработки систем управления осветительными приборами выбран протокол DALI.

2 Разработка системы освещения на объекте проектируемого здания ТРК

В настоящее время на крупных промышленных и административных объектах, а также в большинстве городских зданий, помимо разработки проектов инженерных сетей, активно внедряются системы автоматизации различного функционала. Это объясняется тем, что автоматизированные системы управления (АСУ) не только обеспечивают удобство в использовании внутренних пространств объекта, но и значительно повышают надежность и безопасность работы. Кроме того, они существенно расширяют возможности управления инженерными системами.

«Благоустройство территории торгового центра превращает объект в дополнительное общественное пространство, где можно посмотреть на дизайн, интерьер или сделать оригинальные фотографии. Чем комфортнее себя чувствуют люди, тем дольше они остаются на территории. В среднем посетители проводят в торговых центрах 2–3 часа, а в крупных комплексах – 4 и более» [16]. При этом не меньший вклад в эстетику благоустройства приносит организация уличного и фасадного освещения. Грамотно организованное освещение на территории, прилегающей к офисным и торговым центрам, а также другим общественным зданиям, способствует созданию безопасной, привлекательной и функциональной среды.

Мониторинг уровня освещённости и светового потока в круглосуточном режиме с применением беспроводных панелей, датчиков движения и приборов релейной автоматики позволяют окупиться всего за несколько лет, а порой и месяцев [12]. Интеллектуальные системы управления освещением также помогают оптимизировать расходы, поскольку в крупных торговых сетях для контроля уровня освещённости нашли применение цифровые системы управления освещением [22].

Таким образом для разработки АСУО необходимо выполнить подготовку проекта системы освещения для помещений внутри здания ТРК, фасадов здания и прилегающей уличной территории (парковки).

2.1 Описание объекта проектирования

В соответствии с исходными данными проекта и планировкой территории, разработанной в рамках раздела ПЗУ, для строительства торгово-развлекательного комплекса выделяется участок земли с зелёными насаждениями, общая площадь которого составляет 25,63 гектар (256 295 кв. м). Участок будет включать в себя благоустроенную территорию, оснащенную системами искусственного освещения, а также парковочными зонами на 2659 машино-мест, обеспечивающими комфортное размещение транспортных средств. Более подробная информация по размерам основных зон на территории объекта содержится в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры основных зон на участке проектируемого объекта

Территория зон благоустройства участка на объекте	Объем занимаемой площади, м ²
Территория здания ТРК	34 158
Территория застройки	63 156
Территория покрытий	134 559
Территория озеленения	58 580
Вся территория (включая территорию застройки, покрытия и озеленения):	256 295

На начальной стадии строительных работ в качестве объекта проектирования рассматривается здание торгово-развлекательного комплекса (ТРК). Данный комплекс состоит из двух этажей. Его общая высота составляет 11 метров, а занимаемая площадь – 34 158 квадратных метров. Также в составе здания имеется несколько тамбуров – 3 входные группы, а внешняя облицовка

выполнена сэндвич-панелями с фасадным остеклением на входе. Схема планировки первого этажа здания представлена ниже (рисунок 6).

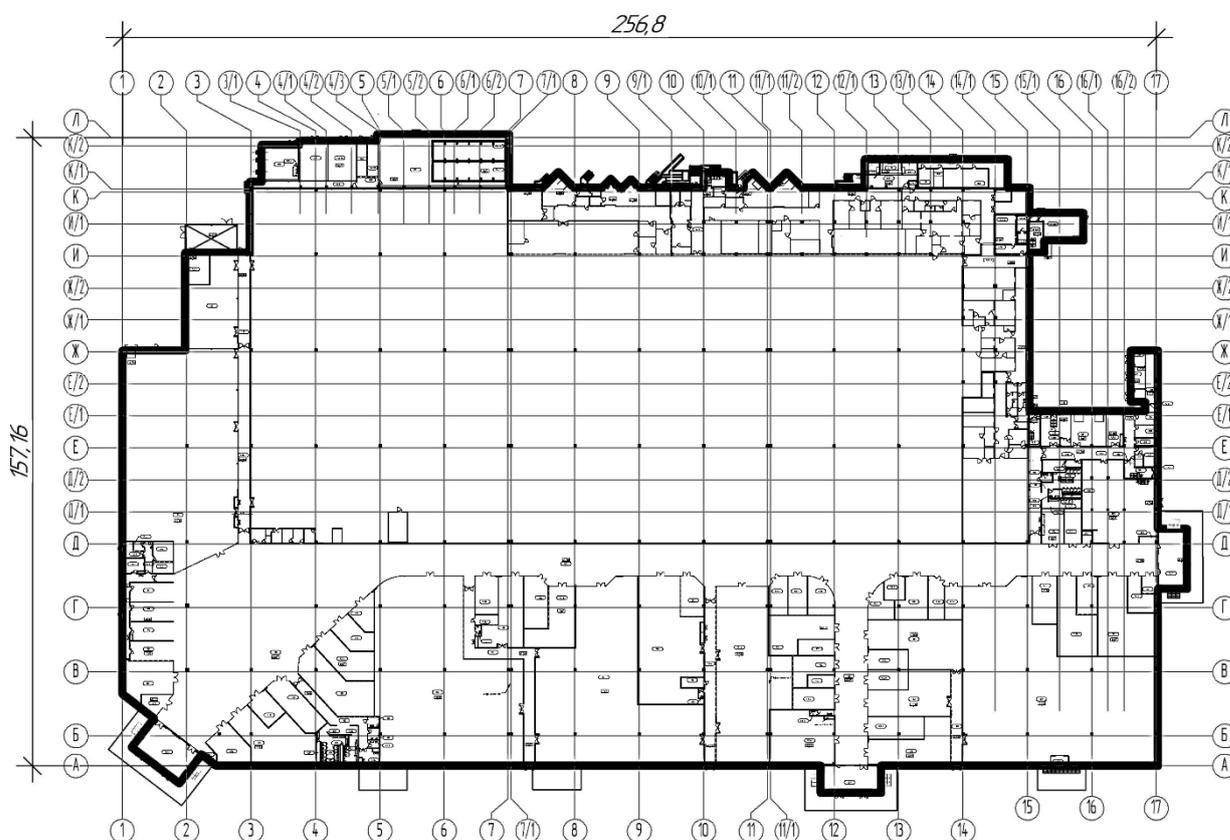


Рисунок 6 – План расположения помещений в здании ТРК на уровне первого этажа

На первом этаже здания находится торговая площадь, занимающая 18 024 квадратных метра. В этой зоне оборудовано 144 помещения, в числе которых имеется торговая галерея с павильонами и магазинами, предусматриваемые под аренду для нужд различных компаний ритейла, а также просторная площадь торгового зала, выделенная под гипермаркет, и отдельное место для фуд-корта. Второй этаж здания расположен на высоте отметки +5,100 в области между строительными осями, промаркированные снизу вверх буквами Д и Е/1 и слева направо цифрами 15 и 17 (рисунок 7).

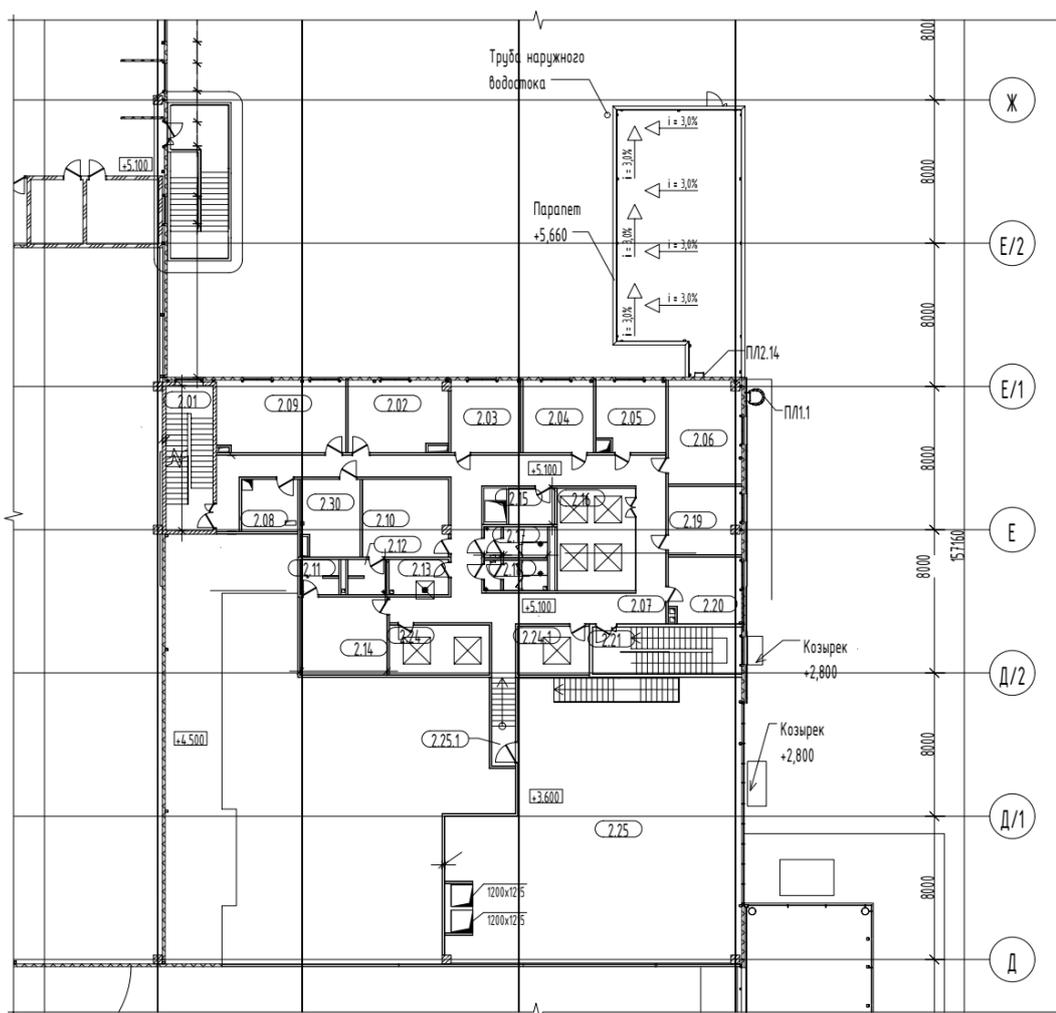


Рисунок 7 – Фрагмент плана второго этажа на уровне +5,100 с расположением помещений в здании торгово-развлекательного комплекса

Второй этаж здания включает в себя 28 административных помещений, совокупная площадь которых составляет 651 кв. м. Данный комплекс классифицирует в своем числе подсобные, офисные и административно-бытовые помещения, среди которых имеется диспетчерская, кабинет директора, комната отдыха и другие помещения, предназначенные для обеспечения эффективной деятельности и комфортного пребывания персонала торгового предприятия.

«В здании ТРК можно выделить два основных типа потребителей электроэнергии согласно I и II категориям надежности электроснабжения [4]:

- потребители I категории: аварийное и эвакуационное освещение, противопожарное оборудование и автоматика;

- потребители II категории: розеточные сети, рабочее освещение (в том числе внутреннее и внешнее – для уличной территории и фасадов здания), а также технологическое и вентиляционное оборудование» [2].

В торговом комплексе предусматриваются следующие виды внутреннего освещения: «рабочее, аварийное (эвакуационное и резервное), ремонтное и дежурное» [6].

2.2 Выбор осветительного оборудования и расчет системы освещения

На начальной стадии разработки любого проекта системы освещения следует определиться с выбором составляющих компонентов и осветительного оборудования, а выбор производителя данной техники является не менее важным шагом. Вследствие того, что внутренний рынок России со стороны государства за последние годы стремительно движется в сторону политики импортозамещения и с учетом усложнения ситуации в связи с затруднением поставок импортных товаров, есть смысл обратить внимание на светотехническую продукцию от отечественного производителя.

В результате сложившихся событий закономерно повысился спрос на световую технику от российских производителей, который мотивирует активно развивать производство как светильников, так и источников питания. Более того, разработка и производство драйверов, соответствующих европейским аналогам, для последующей сборки светильников в России способствуют не только развитию технологий в области модернизации осветительной продукции, но и позволяют снизить стоимость светильника без потери качества. Кроме того, несомненным преимуществом использования отечественных светильников перед зарубежными является их более удобные условия гарантийного обслуживания за счет территориально близкого расположения, поскольку производитель находится в пределах страны. Это

становится особенно важным критерием, если на объекте установлено более сотни различных светильников, требующих своевременного обслуживания или замены.

Следуя особенностям исполнения, с учетом технических характеристик и световых параметров, необходимо определиться с выбором осветительных приборов по типу назначения.

В качестве примера рассматривается торговая площадь гипермаркета в ТРК. Торговые залы зачастую занимают до 70–80% от общей площади магазинов в зданиях торгово-развлекательного назначения [28], исходя из этого организация освещения в области данных территорий требует особого внимания.

При выборе осветительных приборов в продуктовых магазинах важно учитывать характеристику цветовой температуры. Чтобы обеспечить привлекательный внешний вид продаваемых продуктов и правильно подобрать температурный оттенок, рациональней будет использовать акцентное освещение, что позволит достичь наилучшего эффекта [8]. Для освещения прилавков свежей продукции рекомендуется использовать источники света определённой цветовой температуры: в зоне морепродуктов и свежей рыбы следует выбирать светильники с холодным спектром света (от 5000К и выше), в отделе продажи свежих овощей, зелени и фруктов следует выбирать светильники с высокой цветопередачей и температурой света в диапазоне дневного света (3500–5000К), а для создания освещения над витринами со свежей выпечкой больше подходят источники, создающие свет с теплыми оттенками ближе к жёлтому цвету – от 2700 до 3500К.

После анализа широкого спектра товаров, предлагаемых российскими производителями, для организации освещения в торговом зале гипермаркета был рассмотрен модельный ряд осветительных приборов от компании «Световые Технологии». В целях создания акцентного света над продуктовыми прилавками гипермаркета предлагается организовать систему

освещения из трековых светильников типа GLOW/T 20W D30 9730 BK DIM (3000 лм, 30 Вт) с разными оттенками цветовой температуры (рисунок 8).



Рисунок 8 – Светильник трекового типа (GLOW/T 20W D30 9730 BK DIM)

Чтобы осветить всю территорию торговой площади, оптимальным выбором будет установка линейных светильников, например: LED MALL ECO 35 IP54 4000K HFD 4100 лм 40 Вт с высотой подвеса 3 метра от пола (рисунок 9).

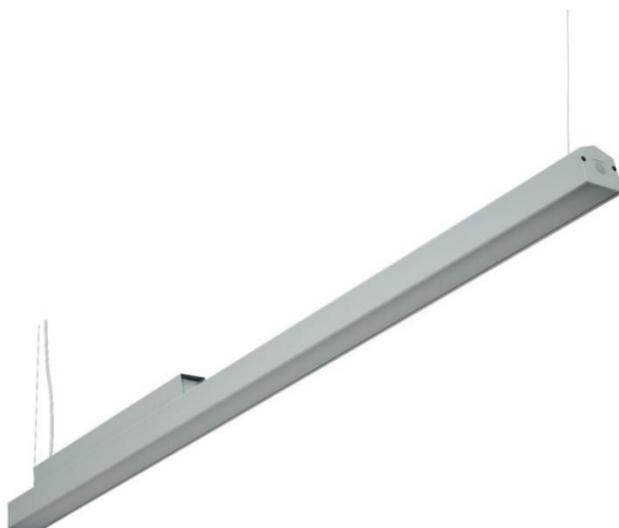


Рисунок 9 – Светильник линейного типа (LED MALL ECO 35 IP54 4000K HFD)

Для освещения рабочих мест в прикассовой зоне и в отделе кулинарии осуществляется монтаж точечных светильников типа «хайбей» модели НВА AL 250 IP65 SET, 20000 лм, 250 Вт (рисунок 10).



Рисунок 10 – Светильник типа «хайбей» (HBA AL 250 IP65 SET 4000K)

Далее следует светотехнический расчет в программном комплексе «Dialux» на примере территории гипермаркета для торгового зала. На рисунке 11 представлена схема размещения осветительных приборов, принятая согласно плану торгового зала гипермаркета в здании ТРК.

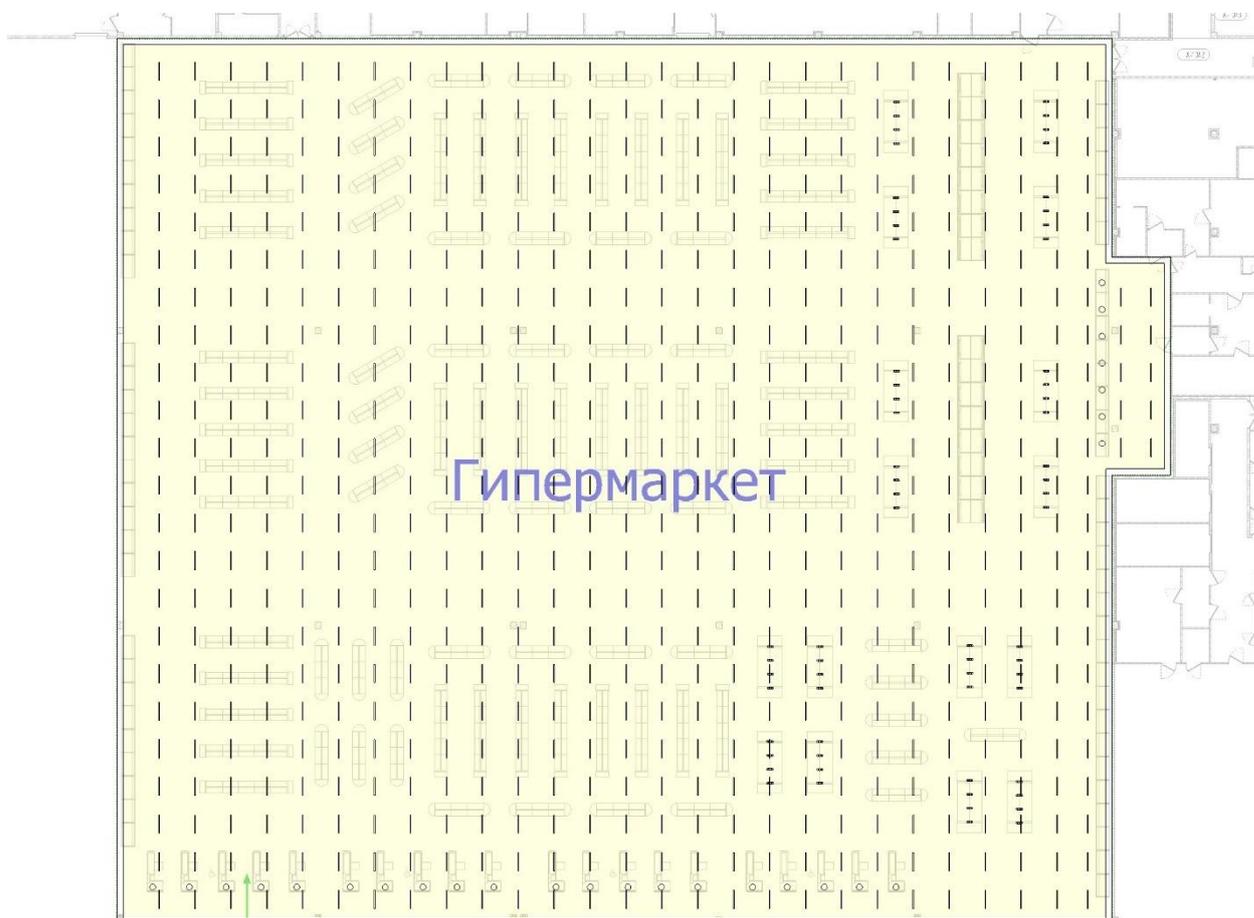
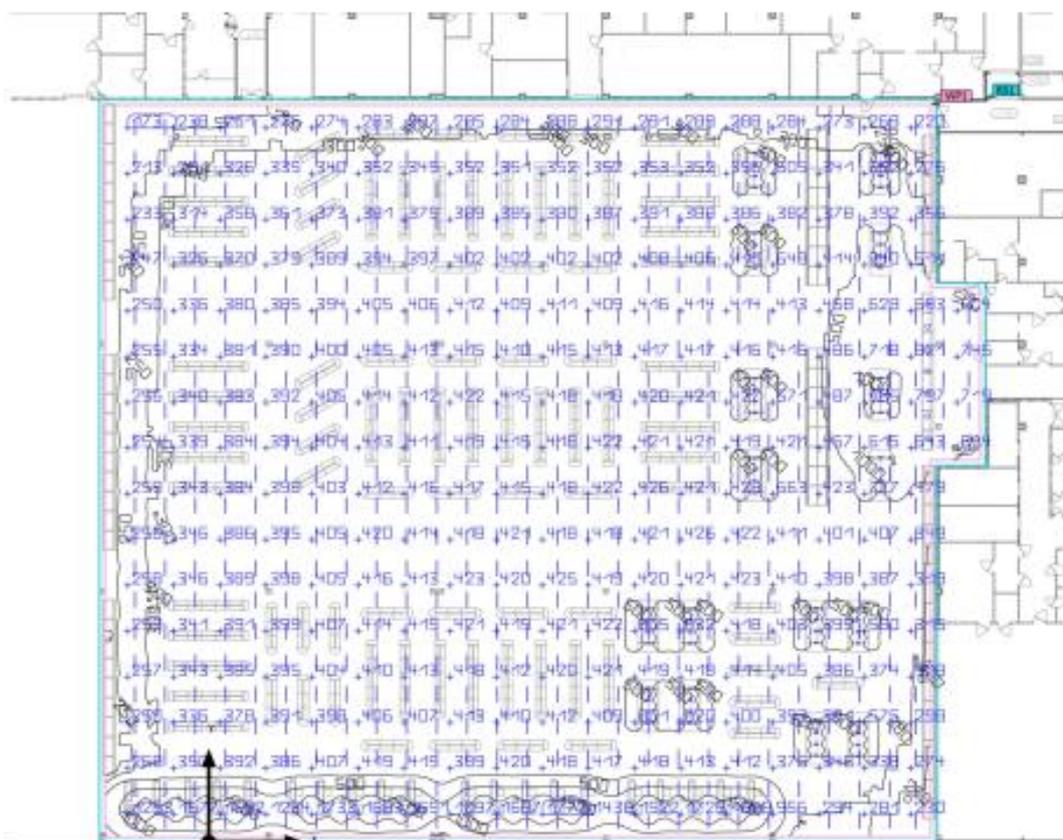


Рисунок 11 – Схема расстановки светильников на плане торгового зала гипермаркета в здании ТРК

Согласно приведенному плану расстановки осветительного оборудования, выполнен светотехнический расчет световых показателей освещения торгового зала. Рисунок 12 визуально демонстрирует характер распределения освещенности, сформированных по результатам расчетов в отчетном резюме.

Строение 1 · Этаж 1 · Гипермаркет (Сцена освещения 1)

Резюме



Поверхность основания	5884.77 m ²		
Коэффициенты отражения	Потолок: 70.0 %	Монтажная высота	3.000 m = 10.000 m
	Стены: 50.0 %	Высота рабочая плоскость	0.800 m
	Полы: 20.0 %	Крайняя зона рабочая плоскость	0.500 m
Коэффициент эксплуатации	0.80 (в целом)		

Рисунок 12 – Результаты расчета освещенности торгового зала для гипермаркета в здании ТРК

Таким образом, для освещения в торговом зале гипермаркета при нормируемом диапазоне значений освещенности 400–700 лк [6] потребовалось

631 линейных светильников, 128 трековых прожекторов и 27 ламповых светильников «хайбей».

«Для расчета уровня освещённости в помещениях торгового здания приняты ряд основных значений освещенности с учетом нормативных минимальных требований к освещению:

- от 200 лк (для магазинов мебели, стройматериалов, спортивных товаров);
- 300–500 лк (для помещений и территорий кассовой зоны);
- от 300 лк (в магазинах без самообслуживания; для магазинов, торгующих игрушками, посудой, канцелярскими товарами. Норма применима также для примерочных кабин, залов демонстрации новых товаров);
- от 400 лк (для продовольственных магазинов с самообслуживанием);
- 400–700 лк (для торговых залов супермаркетов)» [6].

В остальных помещениях здания был выполнен расчёт уровня освещённости и определено необходимое количество осветительных приборов по аналогичной методике. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Ведомость светотехнического расчета для помещений в ТРК

№ помещ.	Тип помещения	S, м ²	Е _{ср} , Лк		Е _{мин} /Е _{ср}		№ помещ.	Тип помещения	S, м ²	Е _{ср} , Лк		Е _{мин} /Е _{ср}	
			Расч.	Норм.	Расч.	Норм.				Расч.	Норм.	Расч.	Норм.
1 этаж													
1	Коридор	1818,8	443	400	0,47	0,4	18	Мужская умывальная	15,39	228	200	0,52	0,4
2	Фудкорт	1532,7	457	400	0,46	0,4	19	Мужской санузел	19,65	224	200	0,42	0,4
3	Входной вестибюль	142,3	160	150	0,59	0,4	20	ПУИ	4,23	267	200	0,43	0,4
4	Коридор	59,6	137	100	0,47	0,4	21	Туалет для инвалидов	7,03	256	200	0,57	0,4
5	Электрощитовая	26,42	271	200	0,51	0,4	22	Комната матери и ребенка	7,52	227	200	0,41	0,4
6	Тех. помещение	12,37	237	200	0,42	0,4	23	Техническое помещение	17,64	273	200	0,71	0,4
7	Доставка	19,53	222	200	0,44	0,4	24	Коридор	162,9	234	150	0,60	0,4
8	Комната для выгрузки отходов	16,07	212	200	0,54	0,4	25	Коридор	118,5	196	150	0,57	0,4
9	Комната хранения праздничных декораций	264,7	176	150	0,59	0,4	26	Входной вестибюль	115,3	201	150	0,47	0,4
10	Технический коридор	75,33	178	150	0,40	0,4	27	Коридор	304,5	421	400	0,43	0,4
11	Технический коридор	142,6	170	150	0,41	0,4	28	Коридор	68,3	167	150	0,68	0,4
12	Коридор	59,53	207	150	0,42	0,4	29	Входной вестибюль	103,5	188	150	0,46	0,4
13	Женская умывальная	24,52	231	200	0,61	0,4	30	Коридор	67,9	161	150	0,43	0,4
14	Тамбур	7,64	254	200	0,71	0,4	31	Лестничная клетка	18,3	111	100	0,61	0,4
15	Тех. помещение	4,66	227	200	0,56	0,4	32	Тамбур	4,68	149	100	0,43	0,4
16	Женский санузел	22,37	264	200	0,4	0,4	33	Компакторная	53,6	240	200	0,40	0,4
17	Тех. помещение	3,6	255	200	0,5	0,4	34	Тех. помещение	5,35	198	150	0,42	0,4

Продолжение таблицы 3

№ помещ.	Тип помещения	S, м ²	Е _{ср} , Лк		Е _{мин} /Е _{ср}		№ помещ.	Тип помещения	S, м ²	Е _{ср} , Лк		Е _{мин} /Е _{ср}	
			Расч.	Норм.	Расч.	Норм.				Расч.	Норм.	Расч.	Норм.
1 этаж													
35	Коридор	91,3	119	100	0,51	0,4	53	Мужская умывальная	8,04	217	200	0,63	0,4
36	Доставка галереи	77,9	328	200	0,57	0,4	54	Помещение хранения моющих средств	5,85	194	150	0,44	0,4
37	Доставка ресторана	32,7	237	200	0,49	0,4	55	Тамбур	4,62	159	100	0,43	0,4
38	Помещение моечных машин	19,2	219	200	0,40	0,4	56	ИТП гипермаркета	69,5	246	200	0,71	0,4
39	Коридор	45,9	189	150	0,42	0,4	57	Водомерный узел гипермаркета	23,8	261	200	0,52	0,4
40	Сейфовая комната	10,3	234	200	0,43	0,4	58	Насосная	248,2	261	200	0,46	0,4
41	Помещение ИБП	15,8	239	200	0,70	0,4	59	Тех. помещение	12,9	167	150	0,47	0,4
42	Мониторная. Пожарный пост	23,6	541	500	0,57	0,4	60	Санузел персонала	4,05	251	200	0,45	0,4
43	Помещение охраны	6,07	525	500	0,40	0,4	61	Санузел персонала	4,15	233	200	0,66	0,4
44	Пропускной пункт	5,38	131	100	0,44	0,4	62	Моечная подносов	14,3	239	200	0,44	0,4
45	Лестничная клетка	16,5	110	100	0,46	0,4	63	Коридор	15,4	164	100	0,70	0,4
46	Женская умывальная	17,2	228	200	0,71	0,4	64	Электрощитовая	16,3	150	100	0,61	0,4
47	Женский санузел	24,5	232	200	0,44	0,4	65	Электрощитовая	14,8	239	200	0,42	0,4
48	Тамбур	12,4	189	150	0,46	0,4	66	Электрощитовая	12,4	240	200	0,63	0,4
49	Туалет для инвалидов	6,82	251	200	0,54	0,4	67	Кладовая хоз. инвентаря	43,5	161	150	0,47	0,4
50	Тех. помещение	4,19	229	200	0,52	0,4	68	ИТП гипермаркета	56,3	236	200	0,41	0,4
51	ПУИ	5,01	213	200	0,51	0,4	69	Тех. помещение гипермаркета	25,8	217	200	0,70	0,4
52	Мужской санузел	13,4	234	200	0,43	0,4	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 3

№ помещ.	Тип помещения	S, м ²	Е _{ср} , Лк		Е _{мин} /Е _{ср}		№ помещ.	Тип помещения	S, м ²	Е _{ср} , Лк		Е _{мин} /Е _{ср}	
			Расч.	Норм.	Расч.	Норм.				Расч.	Норм.	Расч.	Норм.
2 этаж													
1	Лестничная клетка	20,6	142	100	0,59	0,4	14	Гардеробная	22,5	340	300	0,66	0,4
2	Диспетчерская	22,3	539	500	0,40	0,4	15	Кладовая	4,94	109	100	0,66	0,4
3	Офисное помещение	14,5	562	500	0,58	0,4	16	Переговорная	25,6	539	500	0,49	0,4
4	Офисное помещение	13,8	557	500	0,68	0,4	17	Санузел для персонала	4,84	233	200	0,66	0,4
5	Офисное помещение	16,4	536	500	0,66	0,4	18	Санузел для персонала	5,16	246	200	0,47	0,4
6	Комната отдыха	22,4	308	300	0,48	0,4	19	Кабинет директора	14,5	553	500	0,45	0,4
7	Коридор	89,3	106	100	0,43	0,4	20	Кабинет директора	16,8	537	500	0,50	0,4
8	Серверная	10,4	236	200	0,44	0,4	21	Лестничная клетка	22,7	112	100	0,42	0,4
9	Комната для приема пищи	27,2	318	300	0,46	0,4	22	Офисное помещение	14,3	549	500	0,65	0,4
10	Гардеробная	21,3	367	300	0,67	0,4	23	Офисное помещение	11,4	524	500	0,72	0,4
11	Душевая	3,76	121	100	0,44	0,4	24	Ресторан. В153	215,2	248	200	0,50	0,4
12	Душевая	3,85	119	100	0,54	0,4	25	Лестничная клетка	5,8	129	100	0,51	0,4
13	ПУИ	5,93	118	100	0,50	0,4	26	Электрощитовая	15,2	214	200	0,69	0,4

Для аварийного освещения используются часть светильников от общего количества, которые входят в состав основного освещения. С учетом требований, предъявляемых для коридорных помещений, имеющих площадь более 60 м², согласно СП 439.1325800.2018 «Здания и сооружения. Правила проектирования аварийного освещения», в здании ТРК будет организована система антипанического освещения с освещенностью «от 0,5 лк по всей площади внутри помещений и от 1,0 лк на эвакуационных маршрутах» [5]. Над дверными выходами устанавливаются антивандальные светильники DAMIN LED 30W 840 SL DALI и оповещатели-табло «Выход» LYRA 4221-4 LED, а на путях эвакуации – указатели выхода I-BRILL 4023-6 LED BL.

В таблице 4 представлены технические характеристики и параметры выбранных осветительных приборов.

Таблица 4 – Сводная ведомость светильников внутреннего освещения ТРК

Наименование светильника	Кол-во (шт.)	Номинальная мощность Рном. (Вт)	Цветовая температура (К)	Световой поток (Лм)	Угол рассеивания (град.)	Функциональное предназначение:
DAMIN LED 30W 840 SL DALI	23	30	4000	1900	110	Проходы, дверные проёмы
DL POWER LED 60 D80 HFD 4000K	16	54	4000	6700	80	Входные вестибюли
I-BRILL 4023-6 LED BL	33	4	–	75	–	Пути эвакуации (указ. выхода)
GLOW/T 20W D30 9730 BK DIM	128	22	3000	900	30	Территория торговой площади
HBA AL 250 IP65 SET	20	250	4000	20000	140	Территория торговой площади
LED MALL ECO 35 IP54 4000K HFD	631	40	4000	4100	100	Территория торговой площади
LYRA 4221-4 LED	120	4	–	200	–	Проходы, дверные проёмы (указ. выхода)
ОККО 26 WH 4000K DALI	54	30	4000	3200	70	Комнаты персонала, технические помещения

Продолжение таблицы 4

Наименование светильника	Кол-во, шт.	Номинальная мощность Рном., Вт	Цветовая температура, К	Световой поток, Лм	Угол рассеивания, град.	Функциональное предназначение:
OPL/R ECO LED 595 4000K DALI EMT	33	32	4000	3600	120	Кабинеты и офисы (2-й этаж)
PRS/R ECO LED 595 4000K DALI	5	18	4000	2000	110	Пропускные пункты, пожарный и охранный пост
SAFARI DL LED 20 4000K DALI	40	30	4000	2800	120	Комнаты персонала, санузлы для инвалидов
SAFARI DL LED G2 10W 940 WH DALI	26	14	4000	1050	120	Коридоры (2-й этаж)
SLICK ECO LED 30W OPL 750 HG DALI	103	30	5000	4000	120	Лестничные марши
SOL P LED 900 WH 4000K	44	110	4000	13600	120	Периметр торговой галереи
T120 LED 2250 3000K DALI IP20 (38W)	45	40	4000	4600	120	Санузлы
UGR DL PREMIUM 30W OPL 940 WH EM	140	28	4000	3000	70	Периметр холла (1-й этаж)

Для архитектурного оформления фасадов торгово-развлекательного комплекса был проведен анализ коммерческих предложений в области технологий осветительных систем и технических решений, представленных компанией INTILED. Сведения о технических характеристиках и параметрах выбираемых осветительных приборов для фасадного освещения содержатся ниже в сводной ведомости, соответствующей таблице 5.

Таблица 5 – Сводная ведомость светильников фасадного освещения ТРК

Наименование модели светильника	Кол-во, шт.	Номинальная мощность Рном, Вт	Цветовая температура, К	Световой поток, Лм	Угол рассеивания, град.	Функциональное предназначение:
BOX IMF24-2 W40-65H 54W	88	54	4000	4700	65	Заливающее и акцентирующее освещение (подсветка сэндвич-панелей)
IntiGROUND IGR24-1 W40-60H 31W	6	31	4000	2450	60	Заливающее освещение фасадов с грунта (декоративная подсветка перед входами в вестибюль)
IntiSPOT IRB7-1 W40-34DL48 7W	27	7	4000	710	34	Декоративная подсветка архитектурных конструкций (медиафасады и подсветка портала)
IntiSTARK IMF36-2 W40-80H 79W	15	79	6800	15150	80	Заливающее архитектурное освещение (подсветка баннеров)
IntiTOP IRF12-1 W40-16DL24 14W	72	14	4000	1200	16	Акцентное освещение (подсветка декоративных конструкций)
LV-BOLLARD x4 H800 HE 7W	52	7	4000	830	140	Локальная уличная подсветка (освещение ландшафта по периметру здания)

С целью организации освещения наружных территорий принято решение использовать светодиодные прожекторы от отечественного производителя VARTON.

Периметр территории здания освещается светильниками серии FL-01 с мощностью 100 Вт (19 шт), 150 Вт (48 шт) и 200 Вт (2 шт). Для территории парковочных площадок применяются прожекторы AIRQUB под управлением DALI, имеющие номинальную мощность 210 Вт, с углом кривой силы света на 30°, цветовую температуру 4000 К и световым потоком в 32250 Лм с установкой на 16-метровых мачтовых опорах в трех модификациях: с размещением трех, пяти и шести светильников на каждой опоре. В

припарковочной зоне для освещения пешеходных дорожек выбраны к установке торшерные светильники VARTON OMNI-T на 40 Вт и 4800 Лм с установкой на стальных трубчатых опорах высотой 4 метра. Над дорогами проезжей части также устанавливаются консольные светильники серии URAN 2.0 ROAD 5000 К 120 Вт и 150 Вт на складывающихся опорах, высота которых составляет четыре и восемь метров соответственно в зависимости от модификации мощности светильников.

Выводы по разделу: подводя итоги, можно отметить, что в ходе разработки системы освещения были успешно решены несколько ключевых задач.

Проведен тщательный анализ рынка осветительных приборов с учетом их характеристик и возможностей. Особое внимание уделено энергоэффективности, надежности и соответствию современным стандартам безопасности. В ходе работы был подобран оптимальный набор светильников, включая светодиодные лампы, прожекторы и встраиваемые осветительные приборы. В результате для проекта здания был выполнен светотехнический анализ, который включал в себя определение необходимого уровня освещения, подбор подходящих осветительных устройств и их установку.

Заключительным этапом разработки системы освещения осуществлен выбор осветительного оборудования, а также выполнен светотехнический расчет параметров освещения на примере торговой площади гипермаркета и сведены результаты светотехнического расчета остальных помещений здания.

3 Разработка АСУО на объекте ТРК и проверка эффективности работы системы

Задача интеграции АСУО в системах освещения сопряжена с рядом проблем, характерных для любой подобной системы, и в особенности затрагиваются финансовые затраты на ее внедрение и обслуживание. На рынке систем управления для освещения в торговых центрах наиболее популярными, как выяснилось ранее, являются светодиодные системы с автономным управлением по стандарту DALI.

Далее следует сформировать комплекс необходимого оборудования и аппаратов системы автоматики для создания структурной схемы управления внутренним освещением двух этажей и фасадов здания, а также в сети внешнего освещения на территории парковки. В числе возможных вариантов продукции, подходящей для организации АСУО, рассматриваются системы автоматики от известных производителей: «AWADA» [20] и «Arlight» [22].

Продукция системы «AWADA» выделяется среди своих аналогов благодаря ряду важных преимуществ:

- стоимость установки оборудования системы AWADA выходит, как правило, на 25–45% дороже, чем установка самих светильников;
- установка и подключение приборов осуществляется по принципу «plug and play», что предполагает наличие базовых навыков в области электромонтажа без необходимости привлечения дополнительных узкоспециализированных знаний;
- за счет интуитивно понятного интерфейса управления настройка оборудования не потребует от пользователя помощи специалистов.

Важным плюсом системы AWADA является аппаратная поддержка для работы с цифровыми протоколами DALI и DALI 2. Данное решение наилучшим образом применимо для коммерческих проектов, где требуется организация автономности в работе осветительных систем для различных типов помещений с учетом часов работы каждого офиса в частности или

целиком всего здания и прилегающей территории (например, парковки). В системах уличного освещения (АСУНО) также выделяются несколько функциональных преимуществ, которые положительно влияют на эффективность работы осветительных систем, позволяя обеспечить возможность:

- уменьшения времени обнаружения и устранения аварий на осветительной линии (диспетчеризация);
- снижения человеческого фактора для повышения надёжности системы (автоматизация);
- прогнозирования ресурса светильников и планирования ремонта (мониторинг).

Данный раздел рассматривает методологию разработки АСУО на объекте ТРК с последующей проверкой эффективности системы.

3.1 Подбор оборудования для управления системой освещения

Система управления AWADA относится к системам промышленных интернет вещей – IoT (Internet of Things). В основе продуктов компании лежит IoT-платформа, созданная для интеграции в работу различных инженерных систем, таких как освещение, жалюзи, климатика, охранно-пожарная сигнализация, видеонаблюдение и др., в интегрированную, единую и интуитивно-понятную среду управления (рисунок 13).

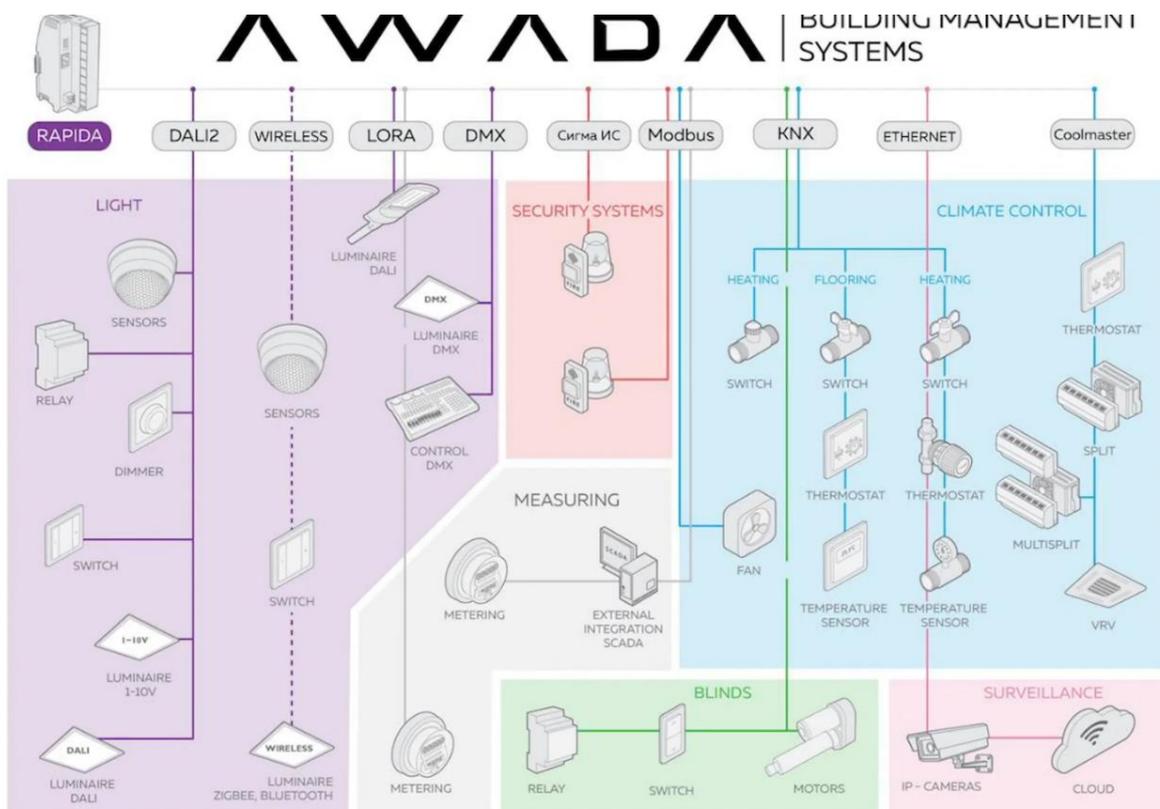


Рисунок 13 – Комплексная система управления AWADA

Система AWADA составляет четыре основные категории компонентов:

- светильники с поддержкой протоколов семейства DALI;
- датчики присутствия (освещенности) и интеллектуальные выключатели;
- шкаф управления;
- софт (мультиплатформенное приложение) для управления и мониторинга системы (помимо функций управления светильниками, основная его задача – настройка поведения всей системы для ее последующей работы в автоматическом режиме).

Типовая структура для системы управления AWADA приведена на рисунке 14.

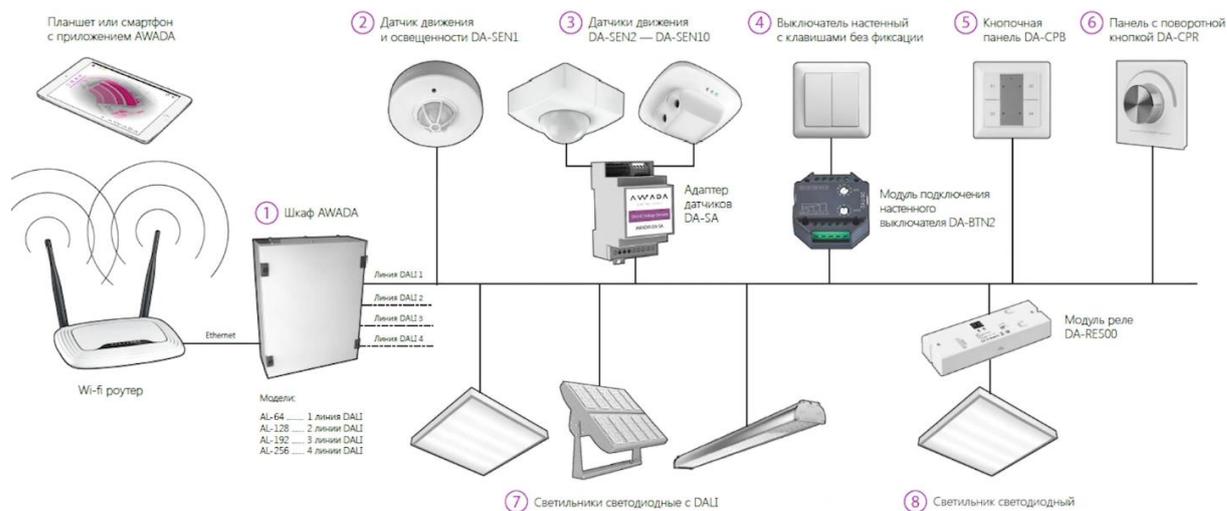


Рисунок 14 – Структурная схема системы управления AWADA

Аппаратная связь всех устройств обеспечивается посредством присоединения дополнительным двухжильным силовым кабелем к общей линии передачи – управляющей шине DALI. Из совокупности подключенных устройств формируется единая сетевая архитектура (рисунок 15), которая также может быть организована по принципу звезды или иметь другую конфигурацию произвольного типа, за исключением кольцевой.

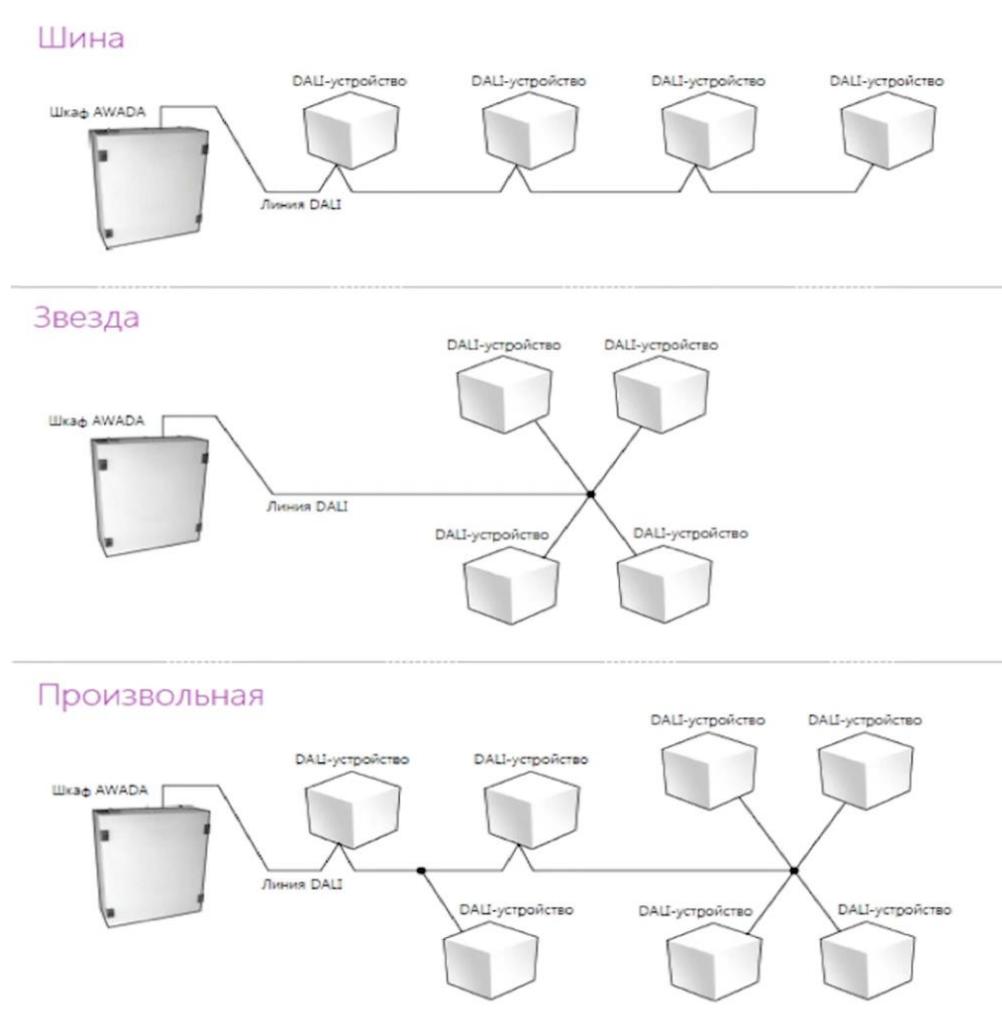


Рисунок 15 – Принцип построения конфигурации структурной схемы управления AWADA

Система AWADA построена на концепции так называемой «цифровой тени», представляющей собой 3D-модель схемы планировки объекта, и позволяет управлять освещением с возможностью как ручной настройки яркости для каждого отдельного светильника, а также создания световых сцен (сценариев) с выставлением сохраненных параметров света в любой локации здания. На трёхмерной модели плана можно увидеть каждый осветительный прибор или их группу, каждая из которых представляет собой «области» освещаемой поверхности на полу освещаемой локации. Совокупность таких областей, находящихся под контролем от заранее определенных устройств управления (датчиков), образует «световую зону». При этом возможность

управления в данных зонах имеется как для отдельного светильника, входящего в ее состав, так и для всей ее группы.

Сценарии, реализуемые системой AWADA:

- контроль присутствия: настройка плавного и последовательного включения/отключения светильников, исходя из активности в определенной зоне или помещении, фиксируемой датчиками присутствия;
- контроль естественной освещенности: система, ориентируясь на показания датчиков, поддерживает нужный уровень освещенности в помещениях с прямым доступом к естественному источнику света;
- освещение по запросу: привязка алгоритмов работы светильников и датчиков движения к системам охранной сигнализации;
- индивидуальная настройка: для индивидуальных рабочих мест возможна персональная настройка освещения;
- настройка световых сцен: создание и сохранение определенного сценария (режим презентации, совещания и тому подобные) с его последующим выводом через сенсорную панель, расположенную в помещении и заменяющую роль отдельных выключателей света;
- освещение по алгоритму: реализация биодинамического освещения, подстраивающего уровень освещенности и цветовую температуру под текущее время суток;
- базовая настройка: позволяет компенсировать переизбыток освещенности в отдельных зонах, если при проектировании освещения или аппаратной настройке был заложен избыточный коэффициент запаса света.

Функционал системы позволяет организовать управление наружным освещением в масштабах технологий умного города благодаря применению базовых станций, каждая из которых способна обслуживать до 500 светильников в радиусе до 2 км. От сценария «закат-восход» до получения отчетов по расходу электроэнергии и неисправностях оборудования.

В числе современных технологий автоматизации по управлению уличным освещением особое место занимает система дистанционного управления через радиосеть LoRaWAN. Одним из ярких представителей подобной системы является AWADA-LoRa. Внедрение специализированного контроллера LoRa AWADA LO-M (рисунок 16) дает возможность создать систему удаленного контроля за уличными фонарями с помощью радиосвязи по стандарту LoRaWAN.



Рисунок 16 – Контроллер LoRa AWADA LO-M для управления уличными осветительными приборами

Радиомодуль LO-M совместим с различными типами осветительных приборов, включая светодиодные, люминесцентные и газоразрядные лампы. Подключение модуля осуществляется к драйверу светильника, поддерживающему протокол D4i (расширенная версия DALI 2.0), через разъем интерфейса стандарта ZHAGA (b18). Управление уличными осветительными установками осуществляется посредством базовой станции, функционирующей на основе технологий передачи беспроводного протокола

LoRaWAN. Данная станция обеспечивает связь с центральной станцией оператора сотовой связи посредством встроенного 3G-модема. В случае потери соединения с базовой станцией контроллер может функционировать независимо, проводя сбор статистических данных и самодиагностику.

Интеграция данных модулей также позволяет осуществлять управление светильниками с использованием встроенного астрономического календаря или датчика освещённости, обеспечивая интеллектуальное управление освещением в зависимости от времени суток. Система поддерживает двустороннюю связь и сбор данных о различных параметрах светильника, что дает возможность автономного сбора статистики в случае потери связи с базовой станцией. Рабочая зона действия базовой станции охватывает площадь до 12 кв. км и обеспечивает связь со светильниками на расстоянии до 2 км, что особенно важно в условиях плотной городской застройки.

Для автоматизации управления светом внутри помещений выбирается оборудование от производителя релейной автоматики Arlight [19] следующего типа:

- релейные модули DALI-701-SW-DIN, необходимые для коммутации питания светильников;
- логические контроллеры DALI-LOGIC (Ethernet) – для адресного управления группами светильников (поддерживает по 64 адреса на каждую линию DALI).

Сигналы управления поступают на светильники автономно непосредственно от сенсорных датчиков линейки INTELLIGENT ARLIGHT:

- датчики присутствия DALI-MS-LS-8M-IN IP20;
- датчики движения SMART-ZB-1002-11-52-IN IP20.

Подключение датчиков осуществляется через адаптер AWADA DA-SA (до 32 устройств на линию DALI).

В случае необходимости внутри помещений можно также управлять освещением вручную. Для этого предусмотрена установка кнопочных панелей DALI-133-BR-DIM-IN и роторных панелей DALI-223-2K-D2-IN для

локального регулирования уровня яркости в помещениях с диммируемым освещением). Диммеры, в свою очередь, предусмотрены в комплекте со светильниками, устанавливаемыми в технические помещения, комнаты персонала, помещения уборочного инвентаря (ПУИ), санузлы, коридоры второго этажа и лестничные марши, и периметр торговой галереи.

В комплект щитового оборудования входят шкафы управления от производителя VARTON: AL-384 (6 шт.) для освещения здания ТРК и AL-448 (1 шт.) для освещения парковки. Они представляют собой щиты с глухой дверцей, включая контроллер RAPIDA, 1 модуль RAPIDA DALI-2, 1 источник питания шины DALI, блок питания 24В, 2.5А, 60Вт, скобы для навешивания на стену, клеммы N и PE, автоматические выключатели и пружинные клеммные колодки.

3.2 Расчет стоимости внедрения АСУО для сетей освещения в ТРК

В соответствии с рядом технических решений, принятых в отношении выбранного оборудования, требуется определить размер финансовых расходов.

На основе текущих цен была сформирована сметная стоимость приборов системы АСУО и представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Сметная стоимость оборудования автоматики для АСУО

Наименование устройства	Кол-во, шт	Стоимость за единицу, руб	Суммарная стоимость, руб
Оборудование для внутреннего освещения:			
Шкаф управления AWADA в сборе VARTON AL-384	6	657 140	3 942 840
Панель управления системой освещения AWADA SP-01	1	164 171	164 171

Продолжение таблицы 6

Наименование устройства	Кол-во, шт	Стоимость за единицу, руб	Суммарная стоимость, руб
Релейные модули DALI-701-SW-DIN	84	9 568	803 712
Контроллер DALI-LOGIC-LITE-PS-x1 (230В, Ethernet)	30	99 284	2 978 520
Датчики присутствия DALI-MS-LS-8M-IN IP20	80	18 736	1 498 880
Датчики движения SMART-ZB-1002-11-52-IN IP20	77	6 112	470 624
Адаптер подключения датчиков AWADA DA-SA	80	8 965	717 200
Роторные панели DALI-133-BR-DIM-IN (BUS, 230V)	30	11 172	335 160
Кнопочные панели DALI-223-2K-D2-IN (BUS, Free purpose)	71	4 300	305 300
Оборудование для уличного освещения:			
Шкаф управления АСУНО VARTON AWADA AL-448	1	546 979	546 979
Базовая станция LoRaWAN, 2.2, LTE	1	64 800	64 800
Контроллер управления светильником LoRa AWADA LO-M	398	20 654	8 220 292

Согласно формуле 1, зная стоимость оборудования системы АСУО, с учетом добавочных затрат стоимость проекта составит:

$$\begin{aligned} \sum C_{\text{АСУО}} = & 3\,942\,840 + 164\,171 + 803\,712 + \\ & + 2\,978\,520 + 1\,498\,880 + 470\,624 + 717\,200 + 335\,160 + \\ & + 305\,300 + 546\,979 + 64\,800 + 8\,220\,292 = 20\,048\,478 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (1)$$

Из результатов расчета следует, что суммарная стоимость затрат на внедрение системы автоматизации для сетей освещения ТРК составляет 20 048,478 тыс. рублей.

3.3 Оценка экономической эффективности применения АСУО

Экономическая составляющая проекта занимает, как правило, ключевую позицию при оценке критериев эффективности для реализуемых технических решений. Поскольку внедрение системы автоматизации в сетях освещения позволяет не только расширить функционал и увеличить оперативность управления, но также и сэкономить на расходах: снизить затраты потребляемой энергии и избежать ненужных трат. Данный эффект достигается за счёт установки и настройки оптимальных режимов для работы осветительных приборов, что также позволяет продлить срок эксплуатации оборудования, установленный производителем, и сократить расходы на электроэнергию.

Для определения эффективности интеграции системы следует провести анализ технико-экономических показателей: в частности, необходимо сопоставить ресурсы финансовых затрат, вкладываемых на реализацию проекта, определить годовой доход из объема сэкономленных ресурсов и рассчитать период возврата инвестиций для оценки планируемого срока окупаемости АСУО на протяжении всей ее эксплуатации [21]. Чтобы результаты анализа были более информативными, все расчеты будут производиться на основе данных в рамках одного календарного года.

При использовании традиционного метода управления осветительными системами коммутация светильников осуществляется вручную, из-за чего режим их работы может приравниваться к круглосуточному (24 часа). Чтобы повысить энергоэффективность системы, освещение на втором этаже будет регулироваться датчиками в заданном временном интервале: для всех светильников будет установлен 12-часовой график работы, из которых на протяжении 6 часов в дневное время суток уровень освещения регулируется встроенными диммерами понижением яркости с глубиной диммирования на 30% от общей мощности. Для светильников торгового зала с круглосуточным графиком работы определен следующий режим: 100% светильников

функционирует в первой половине дня (12 часов), во второй половине дня работает 70% всего освещения.

Таким образом, для расчета годового энергопотребления необходимо провести соответствующие расчеты согласно формуле 2:

$$W_{\text{осв.}} = T_{\text{сут.}} \cdot N_{\text{сут.}} \cdot P_{\text{осв.}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{сут.}}$ – продолжительность работы осветительного прибора в течение рабочего дня, ч;

$N_{\text{сут.}}$ – количество рабочих суток в год, сут.;

$P_{\text{осв.}}$ – суммарная мощность, потребляемая осветительными приборами, кВт.

Величина общей мощности, потребляемой осветительными приборами, определяется согласно формуле 3:

$$P_{\text{осв.}} = K_{\text{пра.}} \cdot N_{\text{л.}} \cdot P_{\text{л.}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{пра.}}$ – коэффициент потери мощности 10% на светодиодных драйверах ($K_{\text{пра.}} = 1,1$);

$N_{\text{л.}}$ – количество рабочих суток в год, сут.;

$P_{\text{л.}}$ – суммарная потребляемая мощность для помещения, кВт.

Применяя формулы 2 и 3, расчет суммарного потребления электроэнергии на примере торгового зала будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} W_{\text{осв. (ТОРГ.ЗАЛ)}}^{\text{ДО АСУО}} &= 24 \cdot 365 \cdot (631 \cdot 0,04 + 128 \cdot 0,22 + 27 \cdot 0,25) = \\ &= 8760 \cdot 38,2866 = 335390,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{осв. (ТОРГ.ЗАЛ)}}^{\text{ПОСЛЕ АСУО}} &= 12 \cdot 365 \cdot (631 \cdot 0,04 + 128 \cdot 0,22 + 27 \cdot 0,25) + \\ &12 \cdot 365 \cdot (631 \cdot 0,04 + 128 \cdot 0,22 + 27 \cdot 0,25) \cdot 0,7 = \\ &= 23064,73 + 55286,55 + 206730,74 = 285082,02 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned}$$

Таким образом, годовое потребление электроэнергии на освещение торгового зала составило 335 390,6 кВт·ч без оптимизации и 285 082,02 кВт·ч после, тем самым величина энергозатрат снижена на 15% с учетом круглосуточной работы. Аналогично выполняется расчет потребления для остальных светильников.

Для учета количества электроэнергии, которое было сэкономлено благодаря использованию диммеров в светильниках, необходимо определить данную величину, чтобы вычесть ее из общего объема потребленной энергии. Расчет производится аналогично по формуле 2 ниже с учетом коэффициента глубины диммирования, равного 0,3 (интенсивность свечения снижается на 30%):

$$\Delta W_{\text{осв.}} = 6 \cdot 365 \cdot 1,1 \cdot (54 \cdot 0,03 + 33 \cdot 0,032 + 40 \cdot 0,03 + 26 \cdot 0,014 + 103 \cdot 0,03 + 44 \cdot 0,11 + 45 \cdot 0,04) \cdot 0,3 = 10096,12 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Получив расчетные данные о потреблении, следует произвести финансовый расчет по годовым затратам на осветительную нагрузку в ТРК. Стоимость тарифа за 1 киловатт-час принимается равной 6,91 рублям с учетом НДС [24]. Согласно формуле 4 определяется стоимость годовых затрат на оплату электропотребления осветительной нагрузки:

$$C_{\text{осв.}} = W_{\text{осв.сумм.}} \cdot C_{\text{уд.}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{уд.}}$ – тарифная ставка электроэнергии за потребленный киловатт-час, руб./кВт·ч;

$W_{\text{осв.сумм.}}$ – суммарное годовое потребление всей осветительной нагрузки, кВт·ч.

Результаты полученных экономических расчетов как для внутреннего освещения (помещения ТРК), так и для наружного (фасад и парковка) приведены ниже в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет финансовых затрат и годового потребления электроэнергии на освещение ТРК до и после автоматизации.

Наименование светильника	п, шт.	Рном, Вт	Росв, кВт	Wосв., кВт·ч		С(осв.), руб./год	С(ламп), руб.	
				до АСУО	после АСУО			
Затраты для внутреннего освещения:								
DAMIN LED 30W 840 SL DALI	23	30	0,759	6 648,84	6 648,84	45 943,48	359 168	
DL POWER LED 60 D80 HFD 4000K	16	54	0,9504	8 325,50	3 538,34	57 529,23	516 400	
I-BRILL 4023-6 LED BL	33	4	0,1452	1 271,95	1 271,95	8 789,19	695 079	
GLOW/T 20W D30 9730 BK DIM	128	22	3,0976	27 134,98	23 064,73	187 502,68	7 520 512	
HBA AL 250 IP65 SET	27	250	7,425	65 043	55 286,55	449 447,13	893 052	
LED MALL ECO 35 IP54 4000K HFD	631	40	27,764	243 212,64	206 730,74	1 680 599,34	11 673 500	
LYRA 4221-4 LED	120	4	0,528	4 625,28	4 625,28	31 960,68	1 048 800	
ОККО 26 WH 4000K DALI (димм.)	54	30	1,782	13 659,03	6 634,39	94 383,90	1 278 072	
OPL/R ECO LED 595 4000K DALI EMT (димм.)	33	32	1,1616	8 903,66	4 324,64	61 524,32	1 038 279	
PRS/R ECO LED 595 4000K DALI	5	18	0,099	867,24	867,24	5 992,63	93 110	
SAFARI DL LED 20 4000K DALI (димм.)	40	30	1,32	11 563,20	4 914,36	79 901,71	658 080	
SAFARI DL LED G2 10W 940 WH DALI (димм.)	26	14	0,4004	3 069,07	1 490,69	21 207,25	297 830	
SLICK ECO LED 30W OPL 750 HG DALI (димм.)	103	30	3,399	26 053,34	12 654,48	180 028,54	1 987 488	
SOL P LED 900 WH 4000K (димм.)	44	110	5,324	40 808,46	19 821,25	281 986,46	5 276 876	
T120 LED 2250 3000K DALI IP20 38W (димм.)	45	40	1,98	17 344,80	7 371,54	119 852,57	1 729 620	
UGR DL PREMIUM 30W OPL 940 WH EM	140	28	4,312	37 773,12	16 053,58	261 012,26	4 078 620	
Итого:	(без автоматизации)	1468	–	60,4472	529 517,47	–	3 658 965,73	39 144 486
	(с автоматизацией)				–	260 935,65	1 803 065,36	

Продолжение таблицы 7

Наименование светильника	п, шт.	Рном, Вт	Росв, кВт	Wосв., кВт·ч		С(осв.), руб./год	С(ламп), руб.	
				до АСУО	после АСУО			
Затраты для фасадного освещения:								
BOX IMF24-2 W40-65H 54W	88	54	5,2272	45 790,27	22 895,14	316 410,78	413 600	
IntiGROUND IGR24-1 W40-60H 31W	6	31	0,2046	1 792,30	896,15	12 384,77	35 934	
IntiSPOT IRB7-1 W40-34DL48 7W	27	7	0,2079	1 821,20	910,60	12 584,52	99 360	
IntiSTARK IMF36-2 W40-80H 79W	15	79	1,3035	11 418,66	5 709,33	78 902,94	243 015	
IntiTOP IRF12-1 W40-16DL24 14W	72	14	1,1088	9 713,09	4 856,54	67 117,44	282 960	
LV-BOLLARD x4 H800 HE 7W	52	7	0,4004	3 507,50	1 753,75	24 236,85	423 644	
Итого:	(без автоматизации)	260	-	8,4524	74 043,02	-	511 637,30	1 498 513
	(с автоматизацией)				-	37 021,51	255 818,65	
Затраты для наружного освещения:								
FL-01 100 Вт	19	100	2,09	18 308,4	9 154,20	126 511,04	174 382	
FL-01 150 Вт	48	150	7,92	69 379,2	34 689,60	479 410,27	497 328	
FL-01 200 Вт	2	200	0,44	3 854,4	1 927,20	26 633,90	19 600	
AIRQUB 210 Вт	136	210	31,416	275 204,16	137 602,08	1 901 660,75	7 667 816	
OMNI-T 40 Вт	76	40	3,344	29 293,44	14 646,72	202 417,67	1 436 932	
URAN 2.0 ROAD 5000 К 120 Вт	105	120	13,86	121 413,6	60 706,80	838 967,98	3 469 305	
URAN 2.0 ROAD 5000 К 150 Вт	12	150	1,98	17 344,8	8672,40	119 852,57	472 740	
Итого:	(без автоматизации)	398	-	61,05	534 798	-	3 695 454,18	13 738 103
	(с автоматизацией)				-	267 399	1 847 727,09	
Суммарные расходы на сети освещения для ТРК:								
Итого (без автоматизации):	2126	-	129,9496	1 138 358,5	-	7 866 057,21	54 381 102	
Итого (с автоматизацией):				-	565 356,17	3 906 611,10		

На основании проведенных расчетов установлено, что суммарное годовое потребление электроэнергии для всей осветительной нагрузки торгово-развлекательного комплекса составляет 1 138 358,5 кВт·ч или

1 138,358 МВт·ч за 1 расчетный год, а после внедрения АСУО потребление сократится до 565 356,17 кВт·ч и таким образом составит 565,356 МВт·ч в год.

По итогам за полный год работы освещения при стандартном режиме использования осветительных приборов (без внедрения системы АСУО) уровень финансовых расходов на электроэнергию составит 7 866,06 тыс. рублей, а после непосредственной модернизации системы освещения данным комплексом технических средств расход уменьшится до 3 906,61 тыс. руб.

На основе полученных расчетных данных годовую экономическую выгоду можно определить формулой 4:

$$C_{\text{ЭКОН.}} = C_{\text{ОСВ.СУММ.(ДО)}} - C_{\text{ОСВ.СУММ.(ПОСЛЕ)}} = 7\,866,06 - 3\,906,61 = 3\,959,45 \text{ тыс.руб.}, \quad (4)$$

где $C_{\text{ОСВ.СУММ.(ДО)}}$ – экономические расходы на электроэнергию, потребляемую освещением в течение года до внедрения АСУО, тыс. руб.;

$C_{\text{ОСВ.СУММ.(ПОСЛЕ)}}$ – экономические расходы на электроэнергию, потребляемую освещением в течение года после внедрения АСУО, тыс. руб.

В результате годовая выгода составила почти 4 млн рублей. Теперь необходимо определить временной период окупаемости, по истечении которого инвестиционные вложения в проект начнут приносить прибыль. Для этого применяются соответствующие формулы: формула 5 учитывает срок окупаемости проекта с учетом стоимости системы АСУО, а с учетом стоимости АСУО и осветительного оборудования в целом – формула 6.

$$T_{(\text{АСУО})} = \frac{\sum C_{\text{АСУО}}}{C_{\text{ЭКОН.}}} = \frac{20048,478}{3959,45} \approx 5 \text{ лет}, \quad (5)$$

$$T_{(\text{АСУО+ЛАМПЫ})} = \frac{\sum C_{\text{АСУО}} + \sum C_{(\text{ЛАМПЫ})}}{C_{\text{ЭКОН.}}} = \frac{20048,478 + 54381,102}{3959,45} \approx 19 \text{ лет}; \quad (6)$$

где $C_{(АСУО)}$ – стоимость реализации проекта АСУО, тыс. руб.;

$C_{(ЛАМП)}$ – стоимость осветительного оборудования (принимается равной суммарной стоимости всех ламп, согласно данным из таблицы 7), тыс. руб.

Согласно подсчетам, срок окупаемости проекта АСУО составит около 5 лет, а спустя 19 лет эксплуатации данной системы экономия ресурсов достигнет уровня, который позволит полностью компенсировать первоначальные инвестиции в оборудование, включая стоимость осветительных устройств. Данная закономерность также подтверждается графиком (рисунок 17).

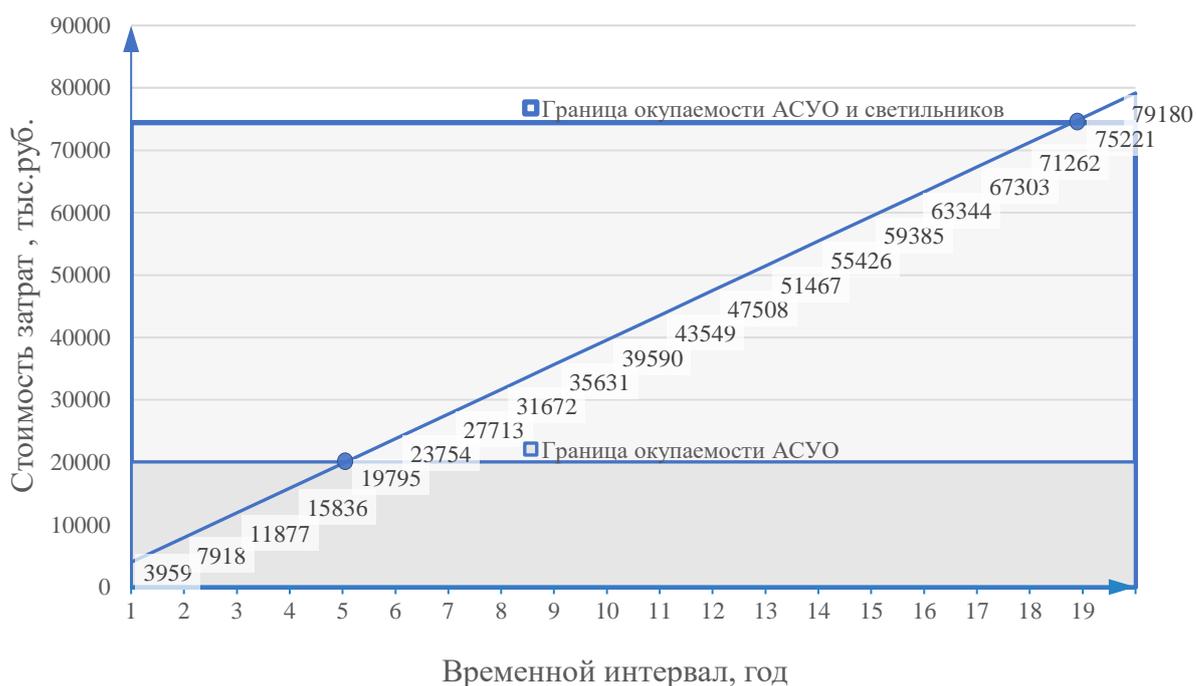


Рисунок 17 – График окупаемости проекта АСУО в разрезе по годам

Выводы по разделу: по итогам данного раздела разработан проект АСУО с учетом особенностей планировки здания парковки и фасадов здания и требований к освещению, включающий в себя учет различных сценариев освещения для двух этажей здания и позволяющий адаптировать систему под разные задачи и условия работы. Также была учтена необходимость автоматизации освещения, что требует интеграции дополнительных элементов системы управления.

В рамках изучения финансовой стороны проекта проведен анализ экономической целесообразности внедрения данной системы. Определена стоимость осветительных приборов, составляющая 54 381,102 тыс. руб., а величина вложений в оборудование АСУО составила 20 048,478 тыс. руб. – 36,9% от стоимости всех светильников. Полученный результат соответствует рамкам прогнозируемого диапазона стоимости (25–45%), заявляемый производителем оборудования систем автоматики AWADA [20].

С учетом суммарных расходов на энергопотребление было выявлено, что при использовании традиционных систем управления (с клавишными выключателями) годовой расход электроэнергии составляет 1 138,358 МВт·ч, или 7 866 060 рублей в год. Однако применение сенсорных датчиков, протокола управления DALI и системы AWADA позволяет снизить годовой расход до 562,239 МВт·ч, что эквивалентно 3 885 070 рублям в год.

Результаты прогноза показали, что ожидаемая экономическая выгода за год составит 3 959 446 рублей – это соответствует 50,34% от общей расчётной суммы затрат без внедрения АСУО. Также был определён период окупаемости проекта, который оценивается сроком в 5 лет, чтобы окупить стоимость всей системы автоматики АСУО, а за 19 лет полученная выгода также окупит стоимость всех светильников, используемых в проекте освещения. Следует отметить, что в расчёт не были включены расходы на обслуживание ламп (включая ремонт или замену) в течение всего периода окупаемости проекта.

Заключение

Эффективность использования сетей освещения остаётся важной и востребованной задачей при формировании проектных решений и для организации инженерных систем любого здания. Грамотный выбор осветительных систем и оптимизация способов их управления приносят положительные результаты, и достигается это, как правило, в большей степени благодаря применению средств автоматики. Внедрение АСУО позволяет значительно повысить эффективность функционирования осветительных систем, сократить расходы на электроэнергию и обслуживание, а также обеспечить более комфортное и безопасное освещение для его пользователей.

В рамках подготовки выпускной квалификационной работы для выполнения проводимого исследования был детально изучен принцип проектирования систем освещения и комплексная разработка автоматизированной системы для управления осветительных установок, применяемых на объекте проектируемого здания торгово-развлекательного комплекса.

Техническая составляющая показала, что для обеспечения бесперебойной работы системы освещения необходимо учитывать не только срок службы отдельных световых элементов, но и технические и технологические аспекты систем управления. Анализ характеристик световых элементов, источников питания и контроллеров позволил сделать вывод о преимуществах использования светодиодных ламп, которые обеспечивают более длительный срок службы и эффективность по сравнению с другими типами ламп.

Особое внимание было уделено выбору оптимальных технологий для системы освещения, включая современную аппаратуру осветительных приборов, динамическое и сенсорное освещение. В качестве основы для разработки системы управления был выбран протокол DALI, который обеспечивает надёжность и стабильность работы системы.

Разработка системы освещения включала в себя анализ рынка осветительных приборов и подбор оптимального набора светильников для проекта здания. Была реализована схема управления освещением в ТРК, включая парковку и фасады, с учетом особенностей планировки здания и предъявляемых требований к освещению. Это позволило создать гибкую и адаптивную систему, способную соответствовать различным задачам и условиям, а также обеспечить надёжность работы освещения за счёт автоматизации процессов управления и контроля за состоянием осветительных приборов.

Экономическая целесообразность внедрения системы была подтверждена детальным анализом. Было выявлено, что первоначальные вложения в систему освещения и АСУО окупаются за счёт снижения годового потребления электроэнергии и связанных с ним расходов. Ожидаемая экономическая выгода составляет около 50,34% (3 959 446 руб.) от общей расчётной суммы годовых затрат на освещение без внедрения АСУО (7 866 060 руб.), а период окупаемости проекта оценивается в 5 лет для системы АСУО и 19 лет для всей системы освещения. Это делает проект не только технически обоснованным, но и экономически выгодным в долгосрочной перспективе.

В результате внедрения интеллектуальной системы управления AWADA и продукции модульной релейной автоматики Arlight система освещения получает широкий функционал, позволяет в реальном времени отслеживать потребление электроэнергии, проверять статус работы и состояние каждого светильника, а при необходимости и управлять светильниками удаленно, настраивать определенные сценарии работы, отключать нужную группу, если требуется провести замену, очистку, ремонт светильника или датчика движения.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 59294–2021. Источники света, осветительные приборы и системы искусственного освещения. Показатели энергоэффективности и требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 января 2021 г. N 8-ст : введен впервые : дата введения 2021-04-01 / разработан Ассоциацией производителей светодиодов и систем на их основе. — Москва : Стандартинформ, 2021.
2. ГОСТ Р ЕН 12464-1:2011 «Свет и освещение. Освещение рабочих мест. Часть 1. Рабочие места в помещениях». : Москва, Стандартинформ, 2011. 66 с.
3. Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения : постановление Правительства РФ от 24 декабря 2020 г. N 2255.
4. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. (с Изменениями N 1-8) : утв. Приказом Минстроя России от 29.08.2016 N 602-пр : ред. от 25.12.2024 // Техэксперт : сайт. — URL: <https://standart.kodeks.ru/docs03/d?nd=1200139957> (дата обращения: 12.01.2025). — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
5. СП 439.1325800.2018 Здания и сооружения. Правила проектирования аварийного освещения : утв. Приказом Минстроя России от 26.11.2018 N 747/пр : Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год // Техэксперт : сайт. — URL: <https://standart.kodeks.ru/docs03/d?nd=554818839> (дата обращения: 23.03.2024). — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
6. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменениями N 1, 2) : утв.

Приказом Минстроя России от 07.11.2016 г. №777/пр : ред. от 28.12.2021 // Техэксперт : сайт. — URL: <https://standart.kodeks.ru/docs03/d?nd=456054197> (дата обращения: 25.05.2024). — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

7. Абдылдаев, Р. Н. Пути снижения электропотребления в системах освещения / Р. Н. Абдылдаев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 22 (208). — С. 103-105. — URL: <https://moluch.ru/archive/208/51040/> (дата обращения: 19.12.2023).

8. Бахтина В.А. Нейромаркетинг в торговле одеждой: Влияние цвета, освещения и музыки на покупательские решения // Современные научные исследования и инновации. 2025. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2025/01/102868> (дата обращения: 24.05.2024).

9. Виды ламп освещения: маркировка, краткий обзор, плюсы и минусы различных типов [Электронный ресурс]. URL: <https://u-keramika.ru/vidy-lamp-osvesenia-markirovka-kratkij-obzor-plusy-i-minusy-razlicnyh-tipov/> (дата обращения: 16.05.2024).

10. Источник света: виды, типы и модели источников света, их примеры и характеристики [Электронный ресурс]. URL: <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/8/osnovnye-svedeniya-ob-istochnikah-sveta--ehto-nuzhno-znat> (дата обращения: 16.05.2024).

11. Итоги регионального строительства в первом квартале 2025 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.1pnr.ru/news/2025/itogi-1-kvartala-2025/> (дата обращения: 15.12.2023).

12. Пауков М.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ: ПРЕОДОЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ. // Студенческий: электрон. научн. журн. 2025. № 1(297). URL: <https://sibac.info/journal/student/297/356591> (дата обращения: 07.02.2025).

13. Пауков М.А. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВАРИЙНОГО

ОСВЕЩЕНИЯ В ТОРГОВЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ. // Студенческий: электрон. научн. журн. 2025. № 3(299). URL: <https://sibac.info/journal/student/299/358734> (дата обращения: 07.02.2025).

14. Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения [Электронный ресурс]. URL: www.undp-light.ru/upload/BR-4.pdf (дата обращения: 17.12.2023).

15. Проблемы качества световых установок: анализ эффективности различных источников света [Электронный ресурс]. URL: <https://www.signbusiness.ru/publications/theory/323-problemy-kachestva-svetovyh-ustanovok-analiz-effektivnosti-razlichnyh-istochnikov.php> (дата обращения: 15.05.2024).

16. Проектирование и благоустройство территории торгового центра от компании Mirror Group [Электронный ресурс]. URL: <https://mirrorgroup.ru/blagoustrojstvo-territorii-torgovogo-centra/> (дата обращения: 29.12.2024).

17. Пути экономии электроэнергии и затрат в осветительных и облучательных установках [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/3694964/page:3/> (дата обращения: 20.05.2024).

18. Рекомендации потребителю по энергосбережению ресурсов в сфере ЖКХ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.admuvelka.ru/city/rospotrebнадзор/novosti/31103/> (дата обращения: 18.12.2023).

19. Решения Arlight DALI управление освещением в интерьере торгового центра [Электронный ресурс]. URL: <https://cdn.elec.ru/smartlight/files/solutions/map/DALI-arlight.pdf> (дата обращения: 23.05.2024).

20. Супермаркет — AWADA SYSTEMS [Электронный ресурс]. URL: <https://awada.ru/supermarket/> (дата обращения: 15.01.2025).

21. Тульчинская Яна Ильинична Инновационный подход к оценке эффективности применения средств автоматики в осветительных системах //

Энергобезопасность и энергосбережение. 2013. №2. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnyy-podhod-k-otsenke-effektivnosti-primeneniya-sredstv-avtomatiki-v-osvetitelnyh-sistemah> (дата обращения: 04.03.2025).

22. Умный дом. DALI управление освещением в интерьере торгового центра - Умный свет [Электронный ресурс]. URL: <https://smartlight.elec.ru/solutions/map/dali.html> (дата обращения: 15.01.2025).

23. Управление внутренним и наружным освещением | Евроавтоматика ФиФ [Электронный ресурс]. URL: <https://fif.by/catalog/upravlenie-osvesheniem> (дата обращения: 22.05.2024).

24. Цена на электроэнергию для предприятий в 2025 году — актуальные тарифы и прогнозы [Электронный ресурс]. URL: <https://enerone.ru/articles/cena-na-elektroenergiyu-dlya-predpriyatij-na-2025-/> (дата обращения: 20.05.2024).

25. Что такое KNX и его роль в освещении | блог компании LedRus [Электронный ресурс]. URL: <https://ledrus.org/blog/upravlenie/chto-takoe-knx-i-ego-rol-v-osveshchenii/#3> (дата обращения: 23.05.2024).

26. Шичавин Е С., Ащрятов А А. Особенности и проблематика проектирования уличного освещения на основе систем автоматизированного управления освещением // ИВД. 2024. №6 (114). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-problematika-proektirovaniya-ulichnogo-osvescheniya-na-osnove-sistem-avtomatizirovannogo-upravleniya-osvesheniem> (дата обращения: 27.12.2024).

27. Электропотребление в РФ выросло в основном за счет зауральских регионов [Электронный ресурс]. URL: <https://corpmsp.ru/about/press/news/novosti-ekonomiki/fedor-opadchiy-energopotreblenie-v-rossii-v-2024-godu-uvelichilos-na-3-1/> (дата обращения: 18.12.2023).

28. Эффективное освещение для торговых помещений – Ардатовский светотехнический завод - светотехника, светодиодные промышленные,

офисные и уличные светильники, УФ-облучатели [Электронный ресурс]. URL: https://astz.ru/upload/files/fotoinfo/trk2_140817_225x167.pdf?ysclid=m6h0vgfw96918381569 (дата обращения: 15.01.2025).

29. Kaya, Fikret & Akar, Onur & Ekren, Nazmi. Investigation of Building Automation Systems in Terms of Lighting Efficiency. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*. 2024. Vol. 14. PP. 1571-1585.

30. Light bulb ban: DOE's ban on incandescent lightbulbs goes into effect. Available at: <https://thehill.com/business/4124731-incandescent-light-bulb-ban-goes-into-effect-next-week/> (дата обращения: 18.12.2023).

31. Murdiyansyah, Novan & Yandri, Erkata & Putriani, Dewi & Lodewijk, Dewi Putriani Yogosara & Ariati, Ratna. Leading Light: The Impact of Advanced Lighting Technologies on Indonesia's Office Industry. // *Leuser Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 2. PP. 1-11.

32. Tullio de Rubeis, Mattia Ragnoli, Alfiero Leoni, Dario Ambrosini, Vincenzo Stornelli. A Proposal for A Human-in-the-Loop Daylight Control System — Preliminary Experimental Results // Department of Civil, Construction-Architectural and Environmental Engineering (DICEAA), 2024 URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/3/544/htm> (дата обращения: 27.03.2024).

33. What is Electronic Ballast? – Utmel. Available at: <https://www.utmel.com/blog/categories/ballasts/what-is-electronic-ballast> (дата обращения: 19.01.2025).