

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем  
электроснабжения  
(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка системы автоматизированного управления  
осветительными нагрузками логистического центра»

Студент

А.Р. Нагиев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Д.А. Кретов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ Г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ Г.

Тольятти 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. Анализ существующих систем автоматизированного управления осветительными нагрузками .....	7
1.1 Общие положения проектирования системы освещения складского помещения .....	7
1.2 Виды систем автоматизации освещения.....	9
1.3 Автоматизация освещения аналоговым интерфейсом 1-10 V.....	11
1.4 Управление по электросети.....	13
1.5 Управление освещением по протоколу DMX-512A.....	16
1.6 Протокол RDM .....	20
1.7 Протокол DALI.....	22
1.8 Протокол KNX.....	25
1.9 Выбор технического решения и его обоснование .....	32
1.10 Выводы по разделу I .....	36
2. Разработка системы автоматизированного управления осветительными нагрузками логистического центра .....	38
2.1 Описание объекта проектирования .....	38
2.2 Проектирование светодиодного освещения логистического центр .....	39
2.3 Проектирование светодиодного освещения логистического центра с автоматизацией по протоколу DALI.....	49
2.4 Выводы по разделу II.....	61
3. Техничко-экономический расчет автоматизации осветительной нагрузки логистического центра.....	63
3.1 Техничко – экономический расчет расходов на электроэнергию до внедрения автоматизации.....	63
3.2 Стоимость внедрения автоматизированной системы управления освещением на протоколе DALI.....	66

3.3 Технико-экономический расчет расходов на электроэнергию после внедрения автоматизации.....	67
3.4 Расчет срока окупаемости проекта.....	71
3.5 Выводы по разделу III.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	75
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	78

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время энергоэффективности и энергосбережению уделяется достаточно большое внимание. Объяснить это можно тем, что традиционная генерация электроэнергии напрямую связана с потреблением невозобновляемых природных ресурсов, потребление которых рано или поздно приведет к полному их истощению, а также влиянием на экологическое состояние окружающей среды. Гидроэлектростанции создают препятствия для миграции рыбы, замедляется проточность воды в водохранилищах, что приводит к изменению состава флоры и фауны рек. Тепловые электростанции работают на угле, мазуте, газе и потребление природных ресурсов спустя определенное время приведет к их дефициту и истощению. Атомная энергетика также не лишена своих проблем в области экологии: существуют трудности в утилизации отходов, кроме того не следует забывать о крайне тяжелых последствиях аварий.

Несмотря на то, что на сегодняшний день РФ богата природными ископаемыми и дефицита не наблюдается, стоит понимать, что такое положение вещей не может сохраняться на протяжении всего времени. В связи с этим существует необходимость развивать интеллектуальные системы управления потребления энергии, способствующие повышению уровня энергоэффективности и культуры потребления энергии в стране в целом.

Как правило, в большинстве случаев оптимизация затрат на осветительные нужды заключается в замене старых осветительных приборов на более современные источники света с большей энергоэффективностью (на данный момент наиболее перспективными считаются LED-технологии). В зависимости от ситуации эти мероприятия помогают сократить затраты на освещение до 40%, высвободить потенциальные мощности, повысить уровень надежности и качество освещения.

Но классическая концепция коммутации и управления осветительной нагрузкой не претерпела каких-либо принципиальных изменений в большей части промышленных предприятий и муниципальных учреждений России. Однако еще больший эффект в оптимизации энергопотребления может обеспечить внедрение систем интеллектуального управления освещением.

Существующее положение дел является несколько своеобразным, поскольку другие объекты электротехники и энергетики прошли путь серьезного развития и становления на рельсы автоматизации благодаря информатике и промышленной электронике.

Под интеллектуальным управлением освещения понимается сеть, связывающая осветительные устройства и контролирующие органы, которая обеспечивает заданный уровень освещения в определенном месте в определенное время. Как правило, в качестве контролирующих элементов в такой системе выступают датчики движения, освещенности, таймеры, контроллеры и прочие устройства, соединенных в единую сеть, которая может работать в автономном либо в режиме ручного управления.

Одним из направлений повышения энергоэффективности является разработка и внедрение систем автоматизированного управления освещением.

Данные системы позволяют более рационально использовать электроэнергию за счет своевременного включения/отключения осветительной нагрузки, регулирования светового потока источников света, задания исполнения определенных сценариев для группы светильников или поадресно для одиночного светильника путем заблаговременного программирования.

Особенно актуальна эта проблема в предприятиях и учреждениях, имеющих офисы, складские помещения, а также территории с большой площадью, нуждающиеся в освещении. В таких предприятиях расходы электроэнергии на освещение могут составлять довольно значительную часть от общих расходов на электроэнергию.

Данная отрасль не нашла широкого применения на территории РФ, поскольку до недавнего времени «интеллектуализация» освещения требовала достаточно высоких капиталовложений и срок окупаемости от нововведений был слишком велик. На высокую стоимость влиял ряд факторов: дороговизна и сложность микросхем контроллеров, разунификация протоколов управления, сложность в создании ПО и программировании.

Но с развитием таких отраслей, как промышленная электроника, информатика, IT-телекоммуникации, вопрос дороговизны и сложности стал постепенно разрешаться. Повлияло на это упрощение архитектуры сетей, производство и применение контроллеров стало более доступным, появилось больше российских производителей, готовых автоматизировать систему освещения «под ключ».

Объектом исследования является логистический центр, обладающий большими освещаемыми площадями, оборудованными под склады и зоны отгрузки.

Цель работы: повышение энергоэффективности логистического центра за счет внедрения системы автоматизированного управления осветительными нагрузками.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать существующие системы и протоколы управления освещением;
2. Разработать проекта автоматизации управления освещением для объекта исследования;
3. Определить технико-экономические показатели предлагаемого проекта интеллектуальной системы управления освещением логистического центра;
4. Определить срок окупаемости проекта интеллектуальной системы управления освещением логистического центра и оценить его эффективность для предприятия в целом.

# **1 Анализ существующих систем автоматизированного управления осветительными нагрузками**

## **1.1 Общие положения проектирования системы освещения складского помещения**

Усложнение технологических процессов на складских помещениях и логистических комплексах, а также постоянный рост тарифов на электроэнергию привели к пересмотру некоторых вопросов, касающихся потребления электроэнергии, в частности, электроэнергии, затрачиваемой на осветительные нужды. Переход на более современные светодиодные источники света в совокупности с автоматизированным управлением позволяет максимально оптимизировать расходы на электроэнергию и высвободить значительную часть мощностей.

Складские помещения характеризуются большой площадью и в большинстве случаев длительным (круглосуточным) режимом работы осветительных устройств. Таким образом, длительная работа большого количества осветительных устройств неминуемо ведет к избыточному потреблению электроэнергии и, как следствие, к чрезмерным финансовым издержкам. По этой причине складские помещения более всего нуждаются в автоматизации освещения. От организации качественного, современного освещения зависит не только безопасность и производительность труда, но и сумма расходов на производственную деятельность.

Как правило, при проектировании складского освещения обращаются к СНиП23.05-95 и СП52.13330.2011. В данных нормативных документах предъявляются минимальные требования к освещенности складских территорий:

- Склад закрытого типа с напольным хранением товаров – 75 Лк;
- Закрытое пространство с хранением товаров на стеллажах - 200 Лк;
- Освещение проходов между стеллажами – 150 Лк;
- Освещение разгрузочных площадок – 200 Лк;

- Зоны работы с клиентами, выполнения расчетов и комплектации грузов – 300 Лк.

Помимо этого, на складах должно быть оборудовано рабочим, аварийным и охранным освещением (в соответствии с СНиП 23.05-95).

Задача рабочего освещения – обеспечение нормируемого показателя освещенности на всех участках помещений, где это требуется. Если рассматривать складские помещения, то рабочее освещение, как правило, организуется для открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. В случаях, если в рассматриваемом помещении имеется источник естественного освещения, должно предусматриваться раздельное управление освещением таких зон. Также при проектировании рабочего освещения необходимо учитывать и режим работы предприятия.

Аварийное освещение необходимо в случаях отключения питания рабочего освещения. Аварийное освещение делится на несколько типов:

- резервное освещение – применяется в случаях, когда невозможна резкая остановка технологического (или иного) процесса и необходимо продолжать работу;

- освещение спасательных путей. Цель данного вида освещения – обеспечение возможности безопасно покинуть помещение. Нормируемая минимальная величина освещенности - 1 лк на каждые 0,2 м высоты, при равномерности 1:40;

- антипаническое освещение, основной целью которого является предотвращение паники и обеспечение безопасного подхода к эвакуационным выходам;

- освещение для особо опасных рабочих мест (возле агрегатов с движущимися частями), где при сбое в освещении возникает непосредственная опасность аварии и опасность для жизни работников.

## 1.2 Виды систем автоматизации освещения

Так или иначе, наиболее важной целью автоматизации освещения является оптимизация работы осветительных устройств в каждый момент времени.

Достигнуть этой цели позволяет внедрение систем автоматизированного управления освещением, в основной функционал которых входит:

- поддержание заданного уровня освещенности на территории. Данная функция позволяет контролировать уровень общей освещенности (естественной и искусственной) в помещении и производить диммирование светильника в соответствии с требуемым значением. Таким образом, понижается потребление мощности светильником, исключаются излишки освещенности. Реализуется эта функция с помощью введения в сеть датчика освещенности;

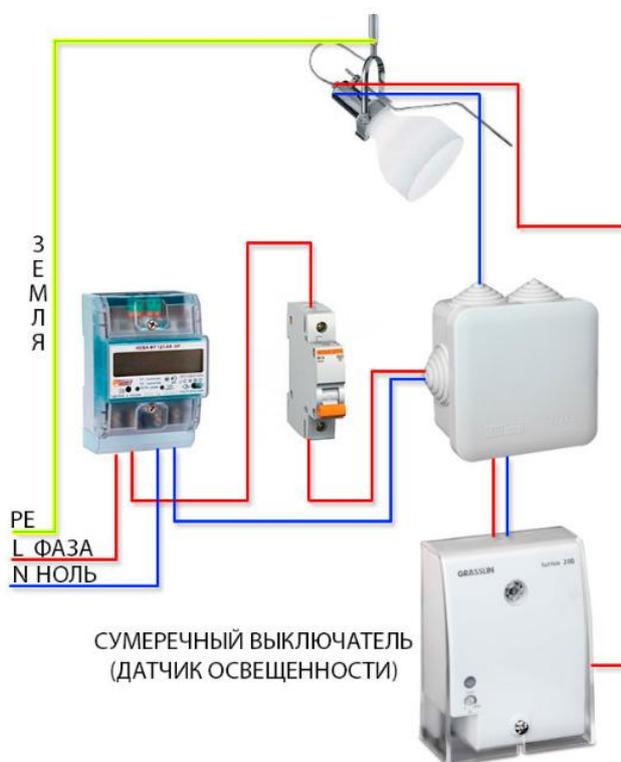


Рисунок 1 – Управление освещением с датчиком освещенности

- учет времени суток и дня недели позволяет снизить потребление электроэнергии путем отключения/приглушения осветительного устройства в определенные часы, в выходные и праздничные дни. Реализуется эта система с помощью внедрения в сеть собственных часов реального времени;

- учет присутствия людей, дискретное включение/отключение одного или группы осветительных устройств позволяет отключать/приглушать светильник или группу светильников с задержкой по времени в зависимости от присутствия людей в помещении. Реализуется данная функция с помощью внедрения датчиков движения или датчиков присутствия. Датчики движения обладают невысокой чувствительностью и применяются в местах с активным движением (вестибюли, коридоры, лестницы). Датчики освещенности обладают более сильной чувствительностью и улавливают мелкие движения, поэтому они при меняются в помещениях на рабочих местах или в жилых помещениях;

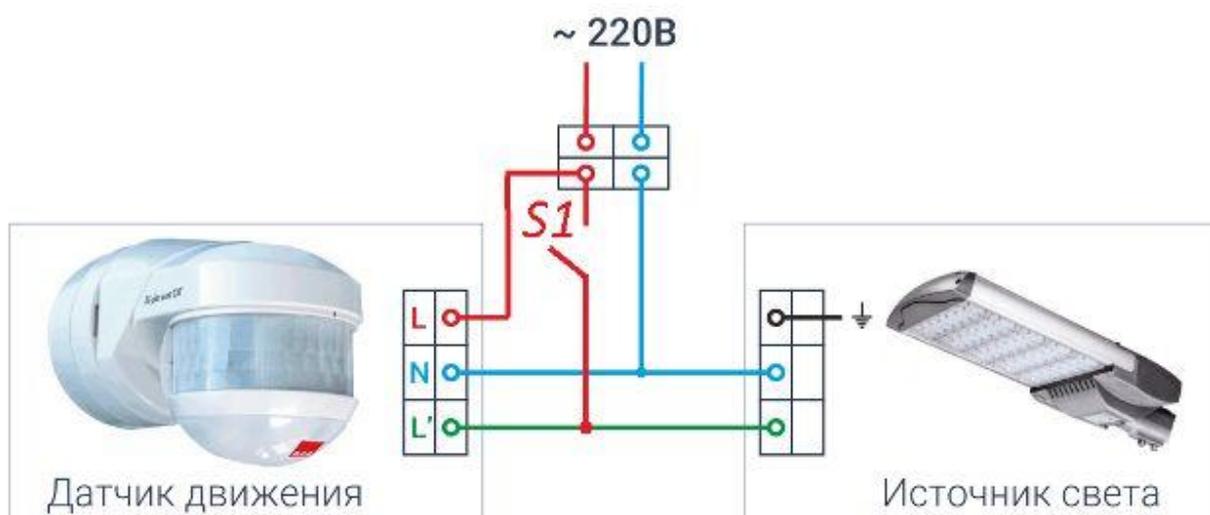


Рисунок 2 - Управление освещением с датчиком движения

- самодиагностика сети и информирование о неисправностях значительно упрощает диагностические и ремонтные работы в случае возникновения неисправностей, поскольку пользователь уже имеет информацию о вышедшем из строя светильнике или участке сети;

- беспроводное управление сетью и хранение информации на сервере. Данная функция не является автоматизированной, но она позволяет пользователю делать настройку и управление осветительной сетью.

На данный момент существует довольно широкий выбор вариантов исполнения автоматизации освещения, различные протоколы управления и аппаратная часть.

### **1.3 Автоматизация освещения аналоговым интерфейсом 1-10 V**

Управление осветительной нагрузкой с помощью регулировки питающего напряжения – один из первых и наиболее простых методов управления световым потоком осветительного прибора. Данный метод утвержден международным стандартом ANSI E1.3 — 2001. Диапазон и шаг изменяемого напряжения может быть любым, но наибольшее применение нашел протокол 1-10 В.

В самых первых системах регулировка напряжения осуществлялась с помощью автотрансформаторов. Во второй половине 20-го века стали применяться тиристорные устройства аналоговой регулировки напряжения. С помощью тиристорных устройств стала возможной регулировка напряжения на светильнике удаленно с помощью относительно небольшой консоли.

Также во второй половине XX века был определен и стандартизирован единый диапазон регулирующего напряжения от 0 до 10 В. Как правило, ток управляющего воздействия находится в диапазоне от 1 до 4 мА. Помимо этого, существует и другой вариант аналогового управления, который основан на получении управляющего сигнала через внутренний светодиодный драйвер и внешний потенциометр. На специальные входы светодиодного драйвера подается постоянное напряжение, величина которого и определяет уровень светового потока светильника от 0 до 100% со ступенью в 10%.

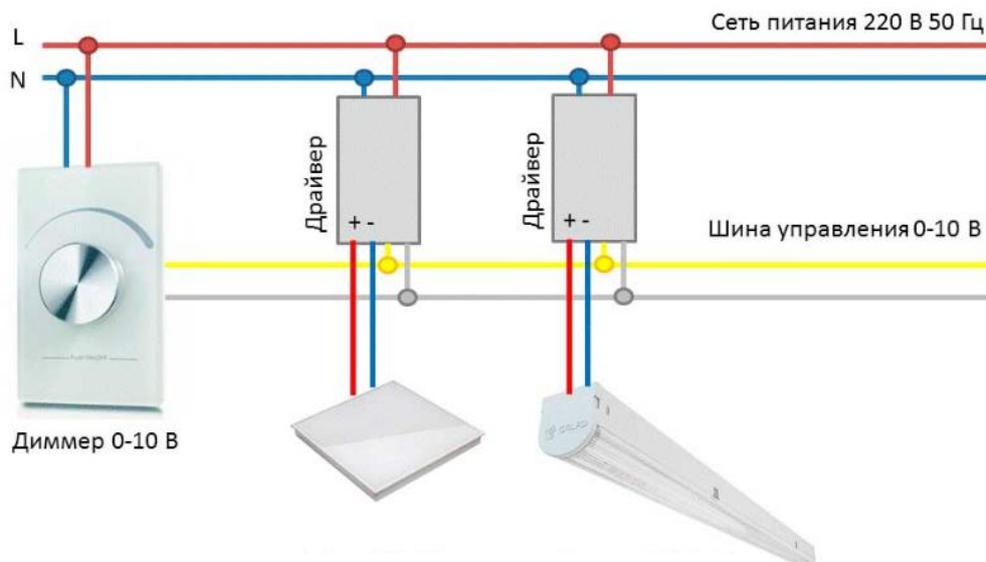


Рисунок 3 – Управление освещением по протоколу 1-10 V

Основным минусом аналогового управления является то, что при данном способе управления крайне затруднительно управлять большим количеством светильников. Преимуществом этого же метода является простота реализации. Для организации управления освещением по протоколу 1-10 В необходимы линия внешнего управляющего сигнала и общий обратный провод.

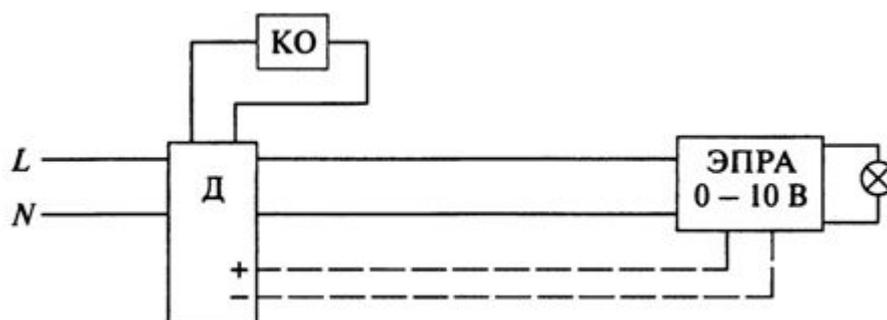


Рисунок 4 - Принципиальная схема аналогового способа управления освещением

Применение данного способа ограничивается слишком большим количеством линий управления для десятков, тем более сотен светильников. Система управления становится дорогой, громоздкой и неудобной в

эксплуатации, поскольку в ней затруднена диагностика и устранение неисправностей. В связи с этим применение данной системы подходит только для небольших групп светильников.

Помимо этого, существует проблема, связанная с затуханием сигнала в протяженных линиях. Если осветительный прибор будет принимать более слабый сигнал по отношению к исходному, то светильник будет излучать более слабый световой поток. Также аналоговый сигнал чувствителен к внешним помехам, причем уровень помехозащищенности снижается по мере увеличения расстояния, на которое передается сигнал.

Но несмотря на все недостатки, светодиодные драйверы с аналоговым способом управления световым потоком достаточно распространены.

#### **1.4 Управление по электросети**

Данный способ управления освещением применяется в основном в коммерческих и жилых помещениях. Питающее напряжение из сети ограничивается по амплитуде в соответствии с заданным значением, соответствующим необходимой величине светового потока. Как правило, такой метод применим для регулирования светового потока ламп накаливания. Регулирующие устройства делятся на два основных типа: регулировка сетевого напряжения по переднему фронту и по заднему фронту. Устройства регулировки напряжения по переднему фронту выполняются на базе симисторов и применимы для галогенных ламп и ламп накаливания. Как показано на рисунке 1, ограничивается передний фронт напряжения питания, вследствие чего и происходит изменение светового потока. Минимальная мощность осветительного устройства при данном способе регулирования напряжения составляет 10-60 Вт, поэтому при использовании многих более энергоэффективных источников света это требование может не выполняться. В случае, если нагрузка окажется меньше минимального значения, будет невозможно добиться малой величины светового потока, а также возможно появление фликера.

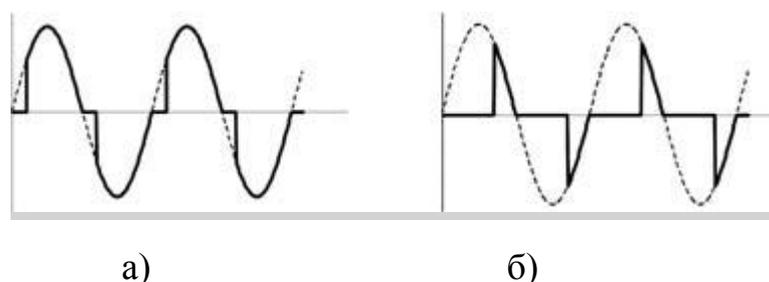


Рисунок 5 - Ограничение напряжения электросети по переднему фронту

Устройства регулирования напряжения с ограничением напряжения по заднему фронту находят широкое применение совместно с трансформаторами для управления световым потоком галогенных ламп. Особенностью этого типа управления освещением является то, что источник освещения быстро погасает и более плавно включается, за счет чего значительно увеличивается срок его эксплуатации (плавное включение исключает высокие пусковые токи). На рисунке 2 изображены синусоиды напряжения питания с ограничением по заднему фронту. Переключатель, как правило, изготавливается на базе полевых транзисторов.

Данный способ управления световым потоком не применяется со светодиодным освещением по следующим причинам:

- 1) Зачастую светодиодные источники света не обладают достаточной минимальной мощностью для регулировки по сетевому напряжению;
- 2) Драйвер светодиодного светильника может иметь высокий пусковой ток. В связи с этим на управляющем контроллере могут протекать слишком высокие пусковые токи, особенно если с помощью него происходит управление несколькими светильниками (пусковые токи каждого светильника будут складываться);
- 3) Когда светодиод работает в режиме излучения слабого светового потока (по отношению к номинальному значению), его полезная выходная мощность уменьшается. Это может стать причиной некорректной работы регулятора напряжения и появления эффекта мерцания;

4) Большая часть светодиодных драйверов обрезает только задний фронт синусоиды сетевого напряжения, поэтому если в уже существующей системе применяются регуляторы напряжения по переднему фронту и необходимо интегрировать в нее светодиодные источники света, то регуляторы напряжения по переднему фронту необходимо будет заменить на регуляторы, аналогичные светодиодным источникам освещения;

5) Драйверы светодиодных источников света с управлением по электросети выполняются с одноступенчатой топологией. Зачастую в таких драйверах появляются пульсации тока второй гармоники, это приводит к значительному сокращению срока службы драйвера;

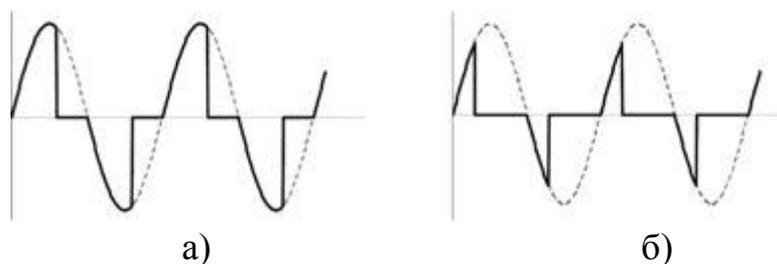


Рисунок 6 - Ограничение напряжения электросети по заднему фронту

В 80-х гг. стали производиться мультиплексированные схемы управления на основе микропроцессоров AMX192, K96. Стандарт AMX192 был внедрен на территории США и Канады, в остальных странах применялся стандарт D56. Несмотря на различные стандарты, зачастую коммуникация устройств не обеспечивалась даже среди продуктов одной компании из-за использования различных номиналов напряжений, стартовых последовательностей, а также из-за различий в назначении выводов, скорости обмена и количестве линий передачи. Помимо этого, было разработано множество альтернативных протоколов, некоторые из них предполагали наличие в контроллере модуля памяти для хранения данных.

Достоинства мультиплексированных протоколов заключается в меньшем количестве проводных соединений и возможности управления большим количеством осветительных устройств. Появившийся позже стандарт USITT DMX512 помог упорядочить ситуацию и добиться коммуникации устройств между собой. Появились интерфейсные схемы, обеспечивающие обратную совместимость стандартов.

### **1.5 Управление освещением по протоколу DMX-512A**

Данный протокол был разработан для цифровых сетей передачи данных, используемых для управления преимущественно светодиодными источниками света, также иными устройствами. В стандарте DMX-512A используются дифференциальные сигналы EIA-485 и пакетная передача. Обмен информацией возможен только в одном направлении, функция самодиагностики и исправления ошибок в данном протоколе не предусмотрена.

Контроллер DMX512 производит последовательную асинхронную передачу данных со скоростью 250 кБод. Передача данных по 512 каналам занимает около 23 мс, что соответствует скорости обновления 44 Гц. Такая частота подходит для большинства применений и не воспринимается глазом. Для более частого обновления передача данных производится по меньшему количеству каналов.

Стандарт DMX-512A достаточно распространен и находит широкое применение. Объясняется это тем, что:

- в основе данного протокола лежит интерфейс EIA485;
- данный стандарт обладает относительно простой реализацией и не высокой стоимостью компонентов;
- высокий уровень надежности;
- возможность управления несколькими сетями светильников по трем проводам;
- интерфейс управления изолирован от светильника;

– максимальное количество подключенных устройств — 512.

Дальнейшая топология возможна только при использовании дополнительных портов DMX.

Классическая структура сети DMX изображена на рисунке 3. Контроллер подключается к линии соединенных последовательно светильников (стандарт EIA485 применим только для систем с последовательно соединенными устройствами освещения). В каждой группе может быть до 32 устройств, общая длина соединительного провода — 1 км.

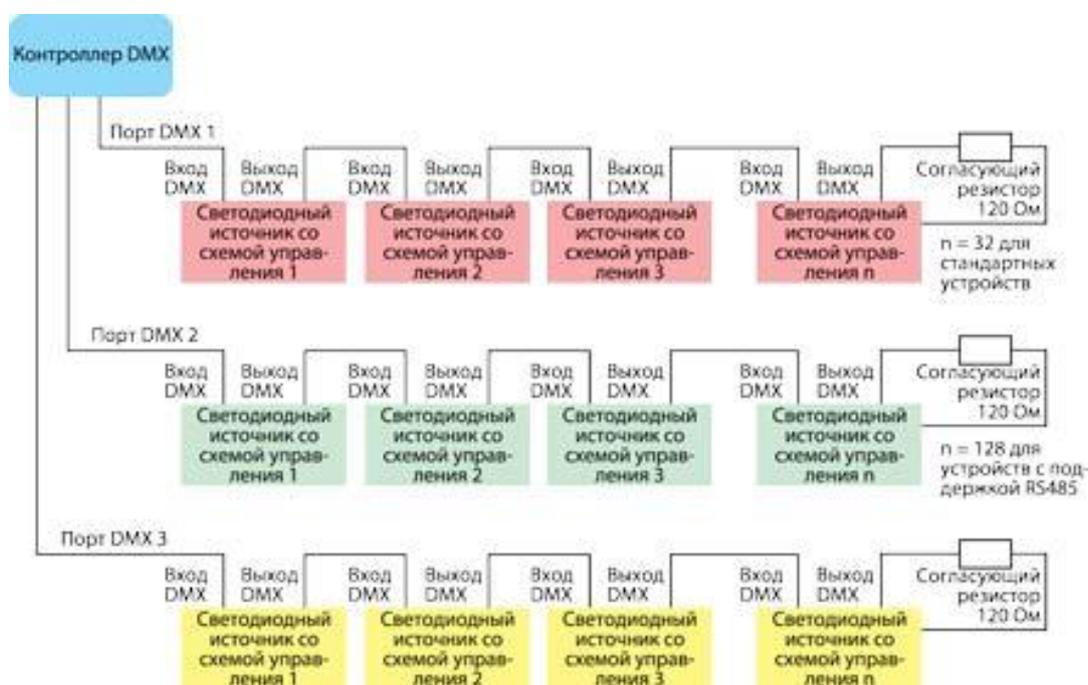


Рисунок 7 – Классическая структура системы освещения с интерфейсом DMX

В случаях, когда к одной линии предполагается подключение более 32 устройств, или когда линии передачи имеют слишком большую протяженность, применяются репитеры-усилители, также называемые буферными усилителями. Буферный усилитель имеет такой же вход и выход, как и любое другое принимающее и передающее сигналы протокола DMX512 устройство. Линия, идущая от консоли, оснащается стандартным терминатором. Последующая линия, подключенная к буферному усилителю,

на своем конце также оснащается терминатором. Благодаря этому появляется возможность усиливать сигнал подобным способом, до тех пор, пока не произойдет ошибка при очередной генерации сигнала.

В действительности же, при применении данного способа, необходимо также учитывать быстродействие буферного усилителя (в особенности с опто-изолированной схемой). Если применяемая схема не обладает достаточным уровнем обеспечения фронтов и срезов сигнала, а также достаточным уровнем задержек и искажений сигнала, то при последовательном соединении линий неизбежно возникнет ошибка сигнала. Буферные усилители обладают свойством восстановления уровня сигнала до номинального уровня, но корректировка интервалов по времени между передачей сигналов не производится. Корректировка по временным интервалам может производиться при внедрении в сеть декодеров – устройств, которые декодируют сигнал, а затем генерируют его снова с помощью собственного UART. Также декодеры имеют свою собственную схемотехнику.

Декодеры также могут применяться для корректировки интервалов по времени при использовании устаревших медленных приборов в сети с современными консолями.

Многие устройства имеют встроенные репитеры для генерации входного сигнала, а также встроенные реле, переключающие сигнал со входного разъема на выходной в случаях отключения питания или иных нарушений в функционировании устройства. Этот способ позволяет приборам, подключенным после репитера, получать сигналы при сбое этого репитера, тем самым повышая надежность сети.

Тем не менее, это не исключает появление ошибок, поскольку переключение происходит без синхронизации с сетью. В связи с этим происходит кратковременная потеря сигнала и последующие устройства могут получить некорректный сигнал.

Терминаторы рекомендуется применять во всех случаях, даже если линия достаточно короткая, поскольку при выходе устройства из строя сигнал передается со входа этого прибора на его выход без задействования терминатора этого устройства. В этом случае задействуется терминатор следующего подключенного устройства. Последний модуль в сети должен подключаться в выходной разъем, поскольку в случае выхода из строя всех устройств, будет задействоваться терминатор с выходным разъемом, благодаря чему для остальных приборов, подключенных к этой линии, всегда будет терминатор.

В сеть DMX512 могут применяться разветвители – устройства с одним входом и несколькими выходными разъемами. На выходные разъемы поступают одинаковые сигналы, но к каждому выходному разъему подключается своя линия. Это позволяет разделить линию и управлять одновременно несколькими линиями, расположенными, например, по всему зданию.

Плюсами управления освещением по протоколу DMX является возможность свободного назначения каналов управления для каждого светильника. Для каждого отдельно взятого осветительного устройства можно подключить свое количество каналов управления, в зависимости от необходимости. Например, для RGB-светодиодов может понадобиться 3 канала для управления сигналами красного, голубого и зеленого цветами. В иных случаях может понадобиться всего один канал для затемнения белого светодиода.

В протоколе DMX используется пакетная передача данных. В первом байте содержится «стартовый код», который используется как флаг для индикации типа передаваемых данных. Интенсивность светового потока содержится в значении 0, остальные 255 кодов не идентифицированы и используются в протоколе RDM.

В протоколе DMX каждый порт передает до 512 8-разрядных значений.

Недостатком данного способа управления является односторонняя передача данных от контроллера к источнику света. Таким образом, в протоколе DMX отсутствует функция самодиагностики и отслеживания сбоев.

Система управления по протоколу DMX нашла широкое применение в освещении архитектуры, где соединительные линии могут быть достаточно протяженными.

На данный момент существует большое количество двунаправленных протоколов управления освещением с возможностью двухстороннего обмена, но наибольшее применение нашли протоколы ACN (Architecture for Control Networks), RDM (Remote Device Management), DALI (Digital Addressable Lighting Interface), и KNX.

## **1.6 Протокол RDM**

Данный протокол является модернизированной версией протокола DMX512, позволяющей получать данные от источника света по стандартным линиям DMX. В протоколе RDM возможно конфигурирование, мониторинг сети, управление подключенными устройствами, считывание основных показателей сети, таких, как потребляемый ток, рабочая температура, время работы, напряжение в сети, индекс цветопередачи и др.

Большим достоинством RDM-протокола в том, что он совместим с DMX, что позволяет интегрировать RDM-протокол в уже существующей инфраструктуре.

Передача данных в сети производится в промежутках между пакетами. Устройства, подключенные к RDM-сети, имеют свой уникальный идентификационный номер, по которому его может распознать контроллер.

Протокол управления освещением RDM обладает следующими преимуществами:

- возможность устанавливать базовый адрес светильника. Эта функция ускоряет установку осветительных приборов и избавляет от необходимости присваивать DMX-адреса вручную;

- возможность обновления ПО через интерфейс RS485;
- возможность создания DMX-систем с поддержкой Ethernet (протокола ACN и т.д.);

- возможность управления отдельными устройствами или группой устройств;

- отсутствие интерференции за счет простой структуры данных;

- передача статусных сообщений (например, о сбое) от одного, нескольких или всех устройств в сети;

- идентификация подключенных к сети светильников в автоматическом режиме;

- возможность автоматического изменения параметров осветительного прибора в соответствии с заранее выбранной сценой;

- возможность установки скорости угасания осветительного прибора;

- Относительно низкая стоимость системы для своего функционала.

Например, стоимость системы управления освещением по протоколу RDM ниже, чем стоимость системы на базе протокола 1-10 В, причем RDM-протокол обладает более широким набором функций.

Несмотря на свои преимущества, RDM-протокол не получил широкого применения из-за ряда недостатков, приведенных ниже:

- высокая стоимость электронных схем;

- малое количество контроллеров с возможностью использования дополнительную мощность RDM-устройств, как следствие — их высокая цена;

- малое количество светодиодных драйверов, поддерживающих RDM-протокол.

Ведущие компании проводят работы по устранению вышеперечисленных недостатков, поэтому RDM-протокол все еще остается перспективным направлением в управлении освещением.

## 1.7 Протокол DALI

Стандарт DALI был разработан на смену аналоговым интерфейсам AVC 1-10 В. Это открытый протокол, который изначально применялся для люминесцентных ламп с балластом, а затем, в конце 2009 года, был расширен до светодиодных источников света. Передача данных по протоколу DALI происходит по двум линиям, как изображено на рисунке 8.

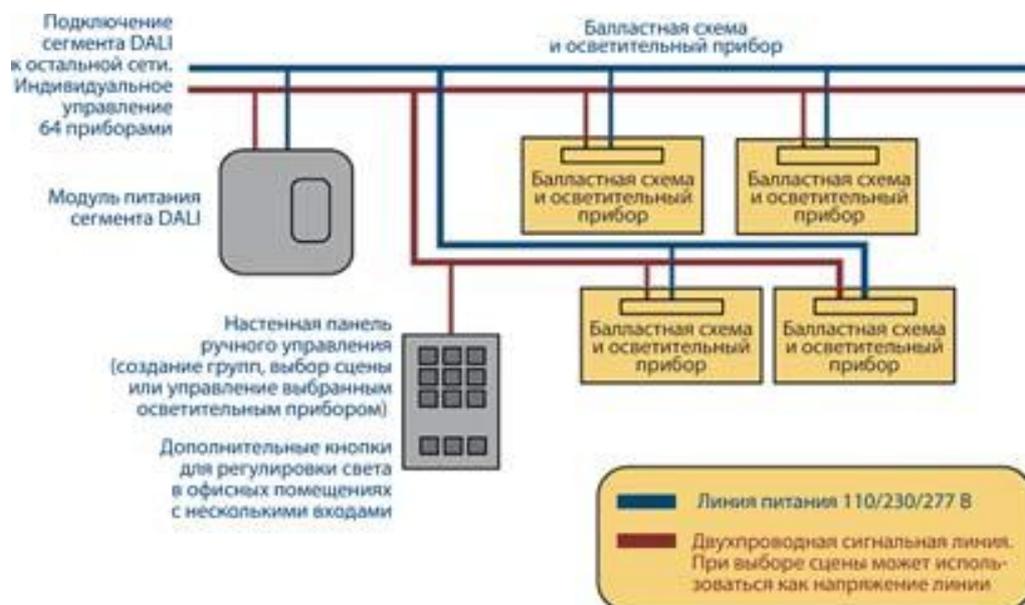


Рисунок 8 – Структурная схема протокола DALI

К одной линии может быть подключено максимум 64 устройства, которые принимают сигналы и меняют свой режим работы в соответствии с полученной командой. К таким устройствам, как правило, относят диммеры, осветительные устройства и т.д. У всех исполнительных устройств есть индивидуальный адрес, который может задаваться как вручную, так и автоматически.

Топология сети DALI может расширяться до 200 линий с общим количеством индивидуальных адресов в количестве 12800 адресов.

При этом к одной шине DALI можно подключить любое количество управляющих устройств, таких, как выключатели, консоли, панели управления, датчики, контроллеры и т.д. Стоит учитывать, что управляющие устройства могут потреблять ток напрямую от шины DALI, как правило, 2-4 мА при максимально возможном токе в линии 250 мА.

Отличительной чертой сети DALI является то, что сеть может функционировать без центрального контроллера.

Сеть DALI питается постоянным напряжением 16-18 В от блока питания, причем некоторые контроллеры способны самостоятельно обеспечивать линию DALI необходимым напряжением.

Расстояние, на которое может передаваться сигнал в линии DALI, зависит от ряда факторов, таких, как сечение кабеля, уровень помех и т.д. Максимальная протяженность одной линии – 300 м, при этом максимально допустимое падение напряжения – 2В.

Сигнал, генерируемый контроллером, состоит из 16 бит и одного стартового бита. Сообщения могут быть направлены как одному, так и группе устройств. Также имеется возможность передачи обратного сигнала от осветительного устройства к контроллеру.

Если в сети DALI присутствует большое количество управляемых устройств, то в сеть внедряются DALI-роутеры (маршрутизаторы), благодаря чему открывается возможность подключения к линии DALI до 200 светильников. Если планируется подключение большего количества светильников, то маршрутизаторы могут связываться DALI-шлюзами и образовывать топологию до 12800 устройств.

Управление освещением по протоколу DALI обладает следующими достоинствами:

- по одной шине может обеспечиваться управление 64 устройствами;
- возможность программирования до 16 вариантов сценариев;

– каналы связи подключаются к балласту или драйверу напрямую, что упрощает подключение при большом количестве светильников;

– широкий диапазон диммирования (нелинейное затемнение до 0,1%).

Кривая затемнения изображена на рисунке 5. Большинство драйверов не имеют возможности затемнять светодиод до такого уровня, так как минимальный ток составляет 5–6 мА, т.е. 1,5% для драйвера, рассчитанного на 350 мА. Возможно использование ШИМ, однако это нежелательно в системах общего освещения, так как из-за малого рабочего цикла при слабом освещении может возникнуть мерцание, заметное глазу. На данный момент ведутся работы по созданию драйверов с минимальным прямым током менее 1 мА (0,3%). Такие драйвера будут обеспечивать затемнение светодиода с идеальными визуальными характеристиками.

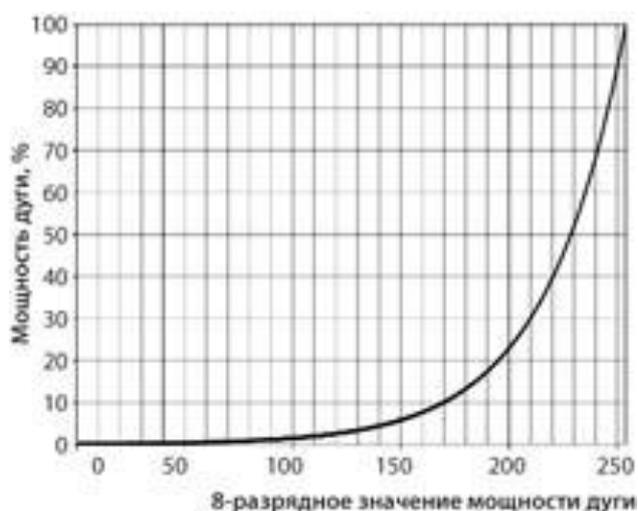


Рисунок 9 - Кривая затемнения

В протоколе DALI применяется шифрование данных с применением кода Манчестер для коррекции ошибок. Максимальная скорость передачи данных составляет 1200 бод. Максимальная длина линии составляет 300 м для кабеля сечением 1,5 мм<sup>2</sup>, и 150 м для кабеля сечением 0,75 мм<sup>2</sup> и 100 м для кабеля сечением 0,5 мм<sup>2</sup>.

Как и в случае с RDM, системы управления освещением на протоколе DALI не нашли широкого применения из-за высокой стоимости

управляющих контроллеров. Данная проблема находится в проработке, поэтому данный протокол является также перспективным и будет использоваться в новых проектах.

### **1.8 Протокол KNX**

KNX — более является более глобальным протоколом OSI для управления системами здания в целом. Протокол основан на трех стандартах: EHS — European home systems, VatiBUS и EIB (Instabus) — European installation bus. Управление освещением по протоколу KNX является лишь частью автоматизированного управления инженерными системами здания в целом.

Специфика протокола KNX заключается в его совместимости с продуктами различных производителей и наличие единой программной среды ETS (engineering tool software). Функционал данного протокола не ограничен только управлением осветительной нагрузкой, в его возможности также входит управление климатом и безопасностью в помещении.

Большая часть протоколов KNX построена на проводной передаче данных по витой паре, к которой подключаются все управляющие и исполнительные элементы сети. Помимо витой пары протокол KNX может строиться и на других способах передачи данных (сеть электропитания или радиосвязь), но на практике данные способы встречаются достаточно редко. Дополнительная контрольная шина может не прокладываться в случае, когда применяется схема с выводом всех индивидуальных потребителей на общий щиток. Данный способ также находит свое применение на практике, имеет свои достоинства и недостатки.

Топология шины может иметь разные конфигурации, такие, как линейная, древовидная и конфигурация «звездой» (рисунок 10)

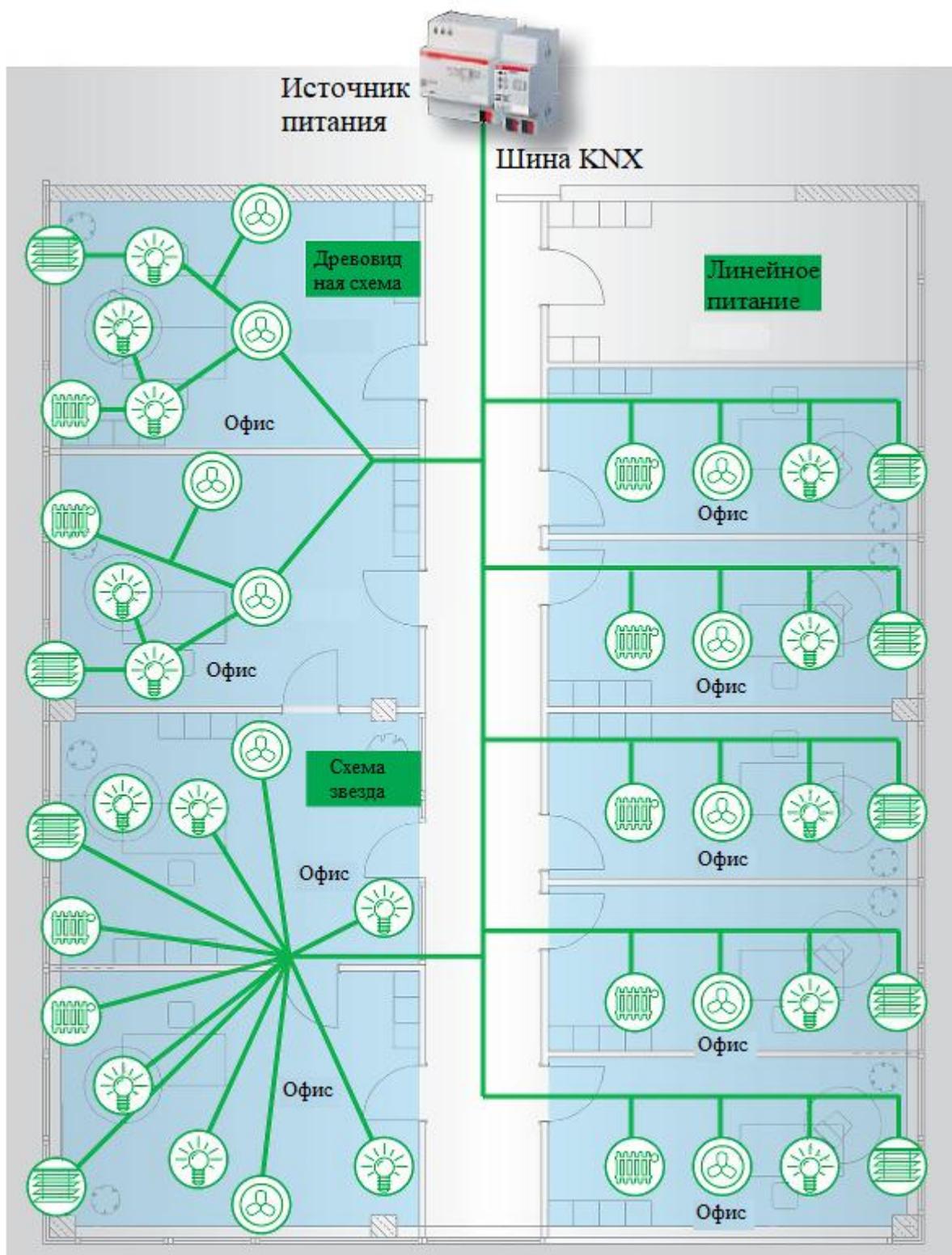


Рисунок 10 - Виды топологий сети KNX

Терминация в этих случаях не требуется, но необходимо принимать меры от перенапряжений в сети. Один сегмент может содержать до 64 узлов, он является базовым элементом логической структуры. Сегменты

объединяются линиями, одной линией могут быть объединены до 4 сегментов. Линии же, в свою очередь, объединяются в область, которая может вмещать до 15 линий. Самый высокий уровень топологии объединяет до 15 областей, при этом максимальное число подключенных устройств может достигать 58 000 шт.

В качестве шины рекомендуется прокладывать кабель 2x2x0,8, несмотря на то, что для полноценной работы KNX достаточно и одной пары проводов. Вторая пара может применяться для дополнительного питания в качестве резерва.

В целом шина имеет следующие характеристики:

- максимальная протяженность линии в сегменте — 1 км;
- максимальная удаленность устройства от блока питания — 350 м;
- максимальная дистанция между двумя устройствами — 700 м;
- минимальное рабочее напряжение на устройстве — 21 В.

Сегменты и линии обычно соединяются с помощью оборудования, совмещающего в себе функции роутеров, фильтров пакетов и репитеров. Весь этот функционал, как правило, уже заложен в оборудовании, но алгоритм работы устанавливается с помощью программирования. Более высокие ступени масштабирования выполняются путем внедрения мостов в IP-сети.

Протокол KNX обеспечивает пакетную передачу данных со скоростью 9600 бит/сек, коллизии устраняются по технологии CSMA/CA. Эта технология учитывает приоритетность передаваемого сигнала, что исключает конфликты при обмене данными без потери скорости передачи сигнала. Объем одного пакета данных, как правило, не превышает 23 байт и он включает в себя адреса устройств, передающих и принимающих сигнал, сами данные и контрольную сумму. Время передачи пакета данных может составлять 20-40 мс в зависимости от загруженности шины и общего количества устройств, подключенных к ней.

Доставка сигнала подтверждается специально предусмотренной схемой подтверждения, и, в случае неудачи, производится повторная отправка сигнала.

Все оборудование системы KNX имеют внутреннюю память, не зависящую от наличия питания. Благодаря этому система программируется один раз и при потере питания ее не нужно настраивать заново.

На сегодняшний день мировые производители предлагают большое количество устройств для работы с протоколом KNX. Группы товаров достаточно разнообразны и могут включать в себя различные реле (управление приводами жалюзи, ворот), диммеры, кнопки и выключатели, бинарные и аналоговые входы и выходы, различные датчики, сенсорные панели управления, мосты в другие системы (IP, DALI, охранные системы и т.д.), системные компоненты (блоки питания, мосты, интерфейсы программирования, контроллеры).

Монтироваться устройства могут в классических распределительных коробках и на DIN-рейку. При монтаже на DIN-рейку зачастую используются реле и диммеры с большим количеством каналов управления.

Устройства протокола KNX сертифицированы и для их программирования необходим файл конфигурации, который предоставляет производитель оборудования. Одно и то же устройство можно запрограммировать под выполнение определенных задач.

KNX-протокол может быть сконфигурирован без какого-либо центрального контроллера, обеспечивающего обмен данными между устройствами, поэтому сеть является децентрализованной. Децентрализованная сеть имеет свои преимущества и недостатки. С помощью децентрализованной системы можно построить автономные сети, обладающие большей надежностью, поскольку выход из строя какого-либо блока управления не приведет к остановке работы системы освещения. Недостатком такой системы является то, что при необходимости создания

более сложных алгоритмов взаимодействия между устройствами может понадобиться установка дополнительного блока управления.

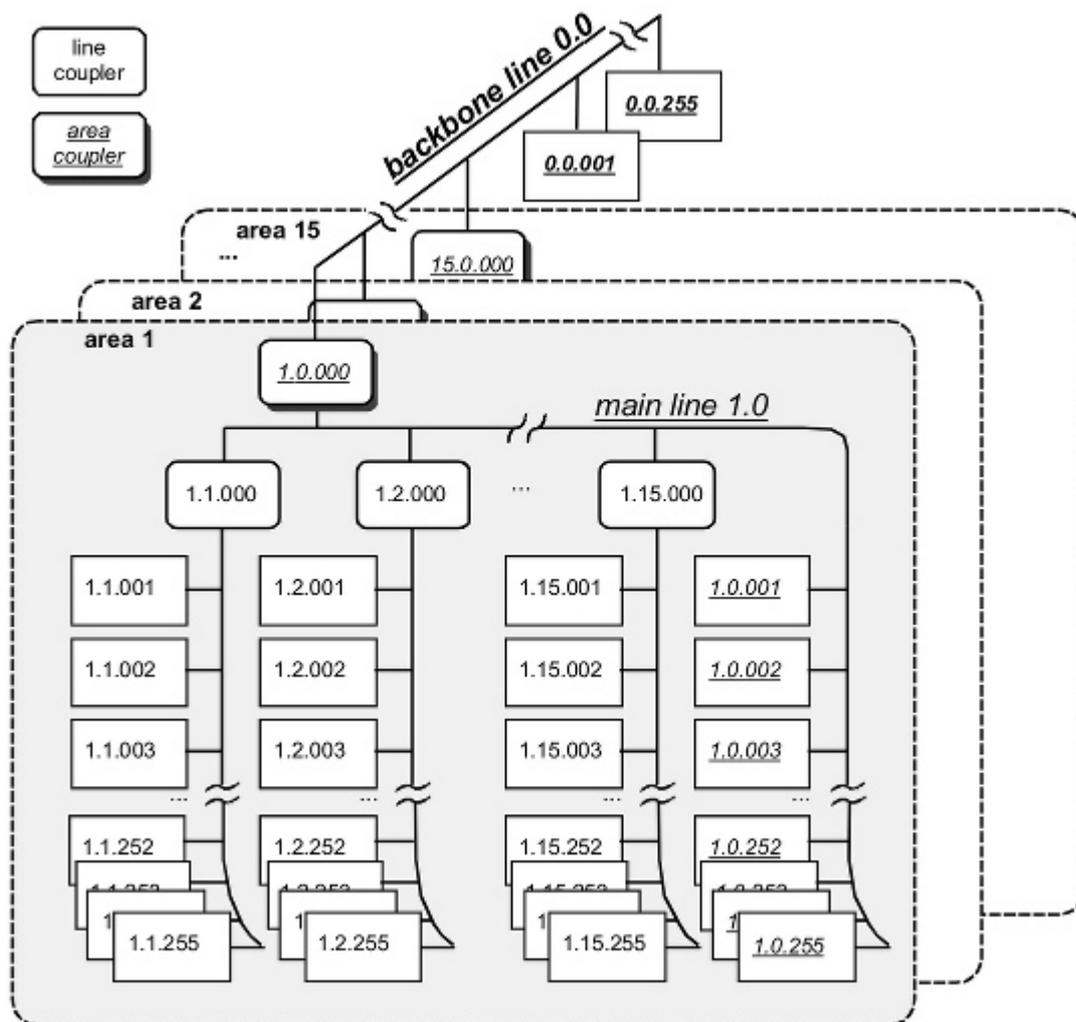


Рисунок 11 – Логическая топология адресов в сети KNX

Адреса устройств в системе присваиваются по логике «область-линия-устройство», размер адреса содержит 16 бит информации. Адрес присваивается каждому устройству путем программирования системы через программу ETS и при последующей эксплуатации адрес устройства можно поменять.

Помимо индивидуальных адресов в зависимости от конфигурации системы могут присваиваться групповые адреса. При этом все устройства в группе должны иметь одинаковые типы данных. Объединение устройств в

группы позволяет упростить управление несколькими приборами, поскольку вместо индивидуальной передачи сигналов на каждое устройство достаточно отправки одного сообщения на групповой адрес. Максимальное число групповых адресов зависит непосредственно от применяемого оборудования.

Контроллеры в протоколе KNX представляют собой отдельный класс устройств, имеющих собственный процессор, адаптер KNX, а также адаптеры других интерфейсов. Контроллеры способны работать с таймерами и временем, заданием сценариев, проверкой логических условий и т.д.

Для программирования в системе KNX используется программа ETS. Благодаря этому обеспечивается унификация и совместимость устройств от разных производителей.

Программирование KNX-системы можно разделить на несколько этапов:

- Создание проекта;
- Импортирование данных о подключаемых к системе устройствах в каталог программы в специальном формате;
- Создание структуры объекта автоматизации;
- Добавление устройств из каталога в проект;
- Настройка адресов, параметров для устройств;
- Настройка и конфигурация адресов и параметров для групп устройств;
- Загрузка проекта в систему автоматизации;
- Проверка работоспособности, диагностика.

Этапы программирования могут меняться в зависимости от типа шины и схемы организации адресов.

ETS имеет собственный каталог данных об устройствах, но, как правило, файлы для конфигурации предоставляет сам производитель устройства. В случаях, когда речь идет о применении более сложных устройств в системе, логика работы которых не поддерживается программным обеспечением ETS, производитель предоставляет утилиты, интегрирующие устройство в ETS.

Создание структуры здания в программной среде ETS подразумевает собой задание таких элементов, как этажность здания, лестничные пролеты, коридоры, комнатные пространства, монтажные шкафы. Далее в созданной структуре здания выбираются устройства из каталога и размещаются в здании. Благодаря такому подходу имеется возможность создавать практически любую конфигурацию здания и сети KNX с физической привязкой устройств к их местоположению.

Стандарт EIB находит широкое применение прежде всего за счет своей простоты и надежности. В традиционных системах управления оборудованием в здании каждое подключенное к сети устройство имеет свою отдельную линию управления, а каждая группа оборудования имеет свою собственную сеть. Стандарт EIB позволяет прокладывать силовые линии только между исполнительными устройствами (реле, регуляторами и т.д.) и потребителями, а все системные элементы (датчики, контроллеры) подключаются только сигнальным кабелем (шиной управления). Такой подход значительно уменьшает расход силовых кабелей, количество соединений, значительно упрощает монтаж системы и, как следствие, повышает надежность силовой цепи. В дальнейшем уже интегрированная система управления может быть легко расширена и модифицирована. Сеть, построенная на протоколе EIB, является децентрализованной, для ее организации не требуется централизованного управляющего органа в виде персонального или специализированного компьютера. В случае перепланировки помещения и изменения функционального назначения оборудования, система управления, построенная на протоколе EIB способна обеспечить быструю перенастройку сети путем перепрограммирования без прокладки новых линий. Дополнительные элементы системы могут быть установлены в любом месте, главное условие - наличие возможности подключения к управляющему кабелю. Благодаря децентрализованному принципу управления нарушение работы одного или нескольких устройств не приведет к сбою всей системы. Этим обеспечивается высокая надежность

и удобство эксплуатации, поскольку замену приборов можно производить без отключения питания.

В функционал систем на протоколе управления EIB также входят функции охраны объекта и активный режим экономии электрической и тепловой энергии. Данный набор функций делает систему экономически целесообразной для применения во многих секторах производства.

Системы управления зданием на протоколе KNX не привязаны к какой-либо аппаратной платформе и являются универсальными.

По степени настраиваемости различают три категории устройств:

– тип А — с автоматической предустановленной настройкой. Это оборудование конечного пользователя;

– тип Е — с легкой настройкой. Эти устройства имеют ряд параметров, которые можно задавать и регулировать вручную в соответствии с требованиями пользователя;

– тип S — системные устройства. Используются при создании сложных заказных систем управления зданием. В них нет предустановленных линий поведения.

В целом можно выделить несколько основных преимуществ протокола KNX:

- 1) Широкий функционал и удобство в эксплуатации;
- 2) Простота в программировании и модернизации сети под нужды пользователя;
- 3) Функция самодиагностики;
- 4) Универсальность системы под широкую линейку продуктов и производителей.

### **1.9 Выбор технического решения и его обоснование**

Для проектирования системы управления освещением логистического центра оптимальнее всего будет внедрение системы, основанной на интерфейсе DALI (Digitally Addressable Lighting Interface), пришедшей на

смену аналоговым устройствам. Сама система представляет собой две шины, соединяющие между собой управляющие элементы (Master) и управляемые элементы (Slave). По этим шинам осуществляется передача информации в двухстороннем порядке: от контроллера к периферии и обратно. Как правило, контроллер выступает в качестве источника питания шины DALI. В качестве управляющего элемента может выступать кнопочный модуль (с 2,4,8 кнопками), сенсорная панель, диммер, датчик, ПК или смартфон. В качестве управляемого элемента, выступает светильник, а если быть точнее, то специальная пускорегулирующая аппаратура, адаптированная под управление по протоколу DALI. Для светодиодных светильников пускорегулирующая аппаратура называется драйвером.

В случаях, если требуется задание определенного алгоритма действий, таких, как изменение светового потока, цвета излучения (для RGB-светодиодов), включения/выключения одного светильника или группы светильников, применяются программируемые контроллеры. С помощью специализированного ПО задаются уставки (сценарии) на совершение определенных действий в определенное время, после чего эта информация сохраняется на контроллере.

Несмотря на то, что система управления освещением по протоколу DALI стандартизована, решения, предлагаемые производителями, иной раз сильно отличаются друг от друга. Анализируя существующий рынок, было принято решение рассмотреть наиболее крупных и известных поставщиков оборудования по управлению освещением для дальнейшего внедрения в проект выбранной системы.

Далее представлен краткий результат анализа предлагаемых систем от различных поставщиков и их сравнение:

- 1) Управление освещением от компании Helvar. Более 90 лет компания Helvar, основанная в Финляндии, разрабатывает новые технологии и решения в области управления освещением, специализируется на интеллектуальных и энергоэффективных осветительных системах. Базовым протоколом системы

управления Helvar является протокол DALI. Компанией разработаны несколько систем управления освещением, позволяющие решать различные задачи:

- простейшая система easySwitch состоит из PIR-датчиков и настенных панелей управления с различными модификациями. Такая система позволяет осуществлять включение/отключение светильника, а также диммирование в ручном режиме. Такая система является идеальным решением для одной комнаты, офиса, коридора и других небольших помещений.

- Система iDim подразделяется на несколько подсистем, предназначенных для решения специализированных задач в небольших помещениях (например, изменение цветовой температуры светильника, цвета освещения и т.д.)

- Система DIGIDIM предназначена для комнат и больших помещений, есть возможность программирования и задания определенных сценариев. В состав этой системы могут входить настенные панели управления с различными конфигурациями, датчики, входные модули (для присоединения к системе Helvar стороннего оборудования), диммеры, релейные модули, контроллеры балластов.

- Система Imagine может применяться как в отдельных помещениях, так и в целых зданиях. Данная система является программируемой, может управляться по заданным сценариям, датчиками, или вручную. Включает в себя датчики, панели управления, контроллеры DALI (роутеры, которые синхронизируют работу драйверов светильников и управляющих элементов), релейные модули и ПО.

2) Австрийская компания TRIDONIC также является одним из крупнейших поставщиков оборудования по автоматизации освещения. Разработанная ими система connectDIM позволяет решать задачи по автоматизации и программированию контроллеров без применения серверов для хранения заданных сценариев. Заданные настройки хранятся в облаке, доступ к которому обеспечен 24 часа в сутки, контроль уставок может

осуществляться с помощью ПК или смартфона (структура взаимодействия показана на рисунке 12).

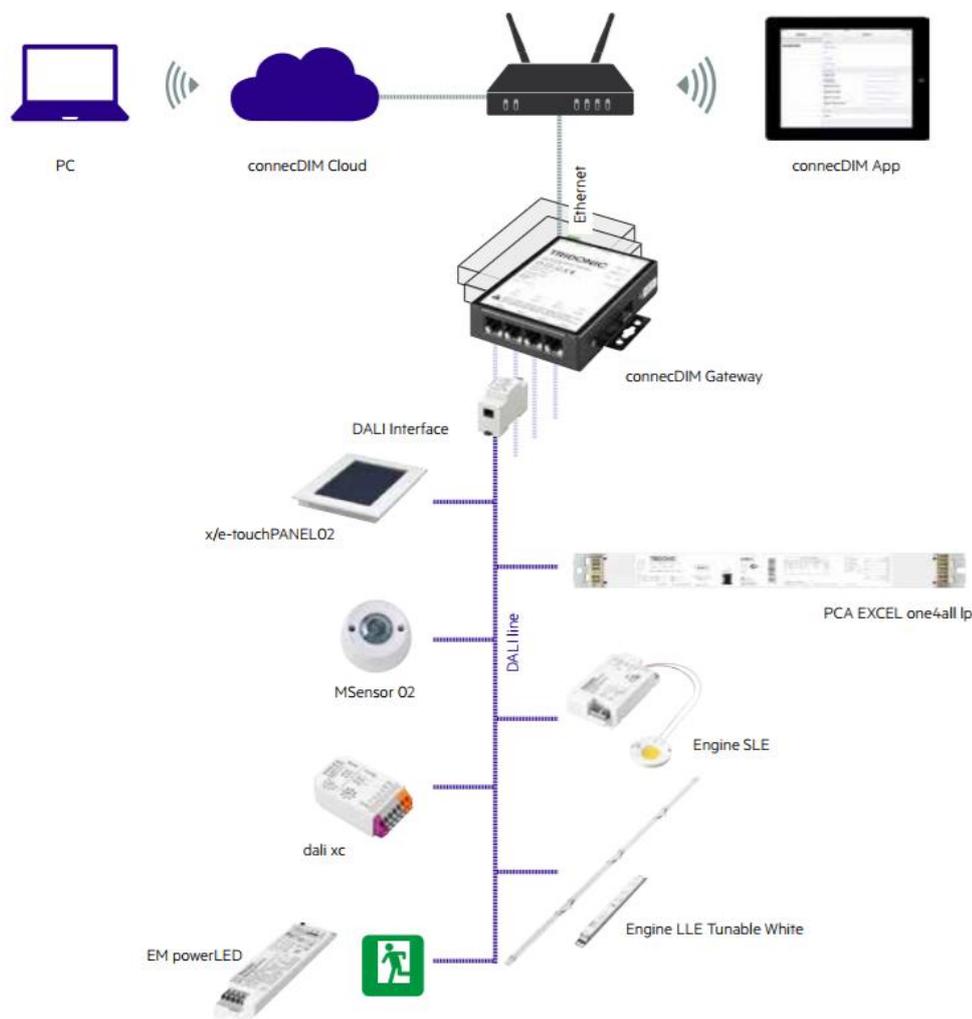


Рисунок 12 – Структурная схема взаимодействия элементов системы connectDIM

3) Германская компания по производству устройств для управления освещением V.E.G. также предлагает несколько решений, объединенных в общую систему под названием DALISYS. В зависимости от решаемых задач эта система делится на несколько подсистем, внедряемых в одно помещение, несколько помещений или для здания в целом. Компоновка данной системы также зависит от конкретных задач и может включать в себя датчики, DALI-роутеры, контроллеры (выступающие также в роли блоков питания), реле и панели управления.

4) Особое внимание стоит уделить российскому производителю DEUS ME6, который специализируется на производстве систем автоматизированного управления освещением. Отличительной чертой является то, что на выбор предоставляется два варианта хранения сценариев и уставок работы осветительных приборов: на сервере или на облаке, доступном 24 часа в сутки. Это позволяет удешевить систему. В функционал системы входит диммирование, включение/отключение осветительных приборов поадресно или же группой. Помимо этого, данная система позволяет мониторить состояние системы на данный момент времени, а также создавать отчеты по энергопотреблению как в облаке, так и в форматах pdf. и excel. Таким образом, управление системой освещения на объекте может происходить из любой точки мира, при условии, что там подключен интернет.

### **1.10 Выводы по разделу I**

В I разделе был произведен анализ существующих концепций проектирования осветительной нагрузки, были рассмотрены нормативно-технические документы (СНиП 23.05-95, СП52.13330.2011.), а также общие положения и рекомендации по проектированию складского освещения. На данный момент существует большое количество протоколов управления освещением, а также производителей, позволяющих решить описанную выше проблему энергопотребления.

Также был произведен анализ устройства, принципа работы, преимуществ и недостатков наиболее распространенных систем управления освещением, а именно: протокол 1-10 В, управление освещением по электросети, управление освещением по протоколу DMX-512A, управление освещением по протоколу RDM, управление освещением по протоколу DALI, управление освещением по протоколу KNX.

Как правило, в большинстве случаев, в функционал автоматизированной системы управления освещением входит

включение/отключение одного или группы светильников, регулирование светового потока, регулирование и контроль функционирования оборудования, функция самодиагностики, задание сценариев работы осветительной нагрузки в соответствии с нуждами потребителя.

Проанализировав существующие системы управления освещением, было принято решение построить систему управления освещением на протоколе DALI, поскольку он наиболее всего подходит для объекта проектирования.

Применение интеллектуальной системы управления освещением на протоколе DALI обеспечит более комфортные и безопасные условия труда и значительно оптимизирует затраты предприятия на электроэнергию.

В связи с этим, целью работы является повышение энергоэффективности логистического центра за счет внедрения системы автоматизированного управления осветительными нагрузками.

## 2. Разработка системы автоматизированного управления осветительными нагрузками логистического центра

### 2.1 Описание объекта проектирования

Объект проектирования представляет собой логистический центр крупного машиностроительного предприятия общей площадью около 50 тысяч квадратных метров, находящийся в Московской области. Основной целью логистического центра является хранение запчастей и аксессуаров автопроизводителя, что позволяет повысить эффективность доставки товара потребителю и сократить время ожидания.

Основную часть территорий составляют складские помещения, разгрузочно-погрузочные территории, но также есть офисные и иные бытовые помещения.

В рамках ВКР в качестве объекта проектирования будет выступать здание логистического комплекса в состав которого входят помещения, указанные в таблице 1:

Таблица 1 – Помещения логистического центра

№ п/п	Наименование помещения	Площадь, м.кв.	Категория и класс по взрывопожарной и пожарной безопасности	
			По СП 12.13130.2009	По ПУЭ
1	Склад №1	18012	В2	П-II а
2	Помещение зарядки аккумуляторов №1	366,9	В3	П-II а*
3	Помещение ремонта	366,8	-	-
4	Склад №2	12334,48	В2	П-II а
5	Помещение зарядки аккумуляторов №2	337,9	В3	П-II а*
6	Узел управления пожаротушением	19,09	Д	Влажн.
7	Санитарный узел	10,47	Д	Влажн.
8	Зона погрузки/отгрузки 1	11055,05	-	-

Продолжение таблицы 1

9	Зона погрузки/отгрузки 2	1060,25	В3	П-П а*
10	Вводно-распределительное устройство	18,18	-	-
11	Узел управления пожаротушением	15,83	Д	Влажн.
12	Склад опасных грузов 1	1154,36	В2	-
13	Склад опасных грузов 2	1128,85	В2	-
14	Склад опасных грузов 3	555,65	В2	-
15	Склад опасных грузов 4	542,97	В2	-
16	Тамбур 1	37,47	-	-
17	Тамбур 2	37,47	-	-
18	Помещение мастеров	24,25	-	-

Концепция ВКР будет построена на сравнении современной светодиодной системы освещения со светодиодной системой освещения, автоматизированной на протоколе DALI. В результате технико-экономического анализа данного решения будет рассчитан эффект от внедрения автоматизации, срок окупаемости и рентабельность данного решения в целом.

## 2.2 Проектирование светодиодного освещения логистического центра

В качестве осветительных приборов к установке принимаются светодиодные светильники, так как на данный момент они обладают наилучшими светотехническими характеристиками по сравнению с люминесцентными и иными газоразрядными источниками света.

Светодиодные источники света обладают следующими преимуществами:

- высокий уровень энергоэффективности в плане соотношения светового потока светильника и потребляемой мощности;
- большие возможности в подборе нужных кривых сил света (КСС) под конкретные нужды потребителя;

- Повышенный срок службы (около 70 000 часов работы);
- Возможность применения при высокой и низкой температуре окружающей среды (от -40°C до +60°C);
- Экологичность по сравнению с газоразрядными источниками света (светодиодные светильники не нуждаются в особых условиях утилизации и не содержат токсичных веществ);
- Широкие возможности в автоматизированном управлении и диммировании;
- Простота в организации аварийного освещения благодаря возможности установки блока аварийного освещения (БАП) внутрь светильника, от которого он может работать в аварийном режиме заданное количество времени.

Светотехнические расчеты количества светильников, их типа и мощности будут производиться методом коэффициентов использования для каждого помещения.

Произведем светотехнический расчет для склада №1, общая площадь которого составляет 18012 м<sup>2</sup> при высоте потолка 8м.

Необходимое количество светильников определяется по формуле:

$$N = \frac{E \times S \times K_3}{\eta \times n \times \Phi_l}, \quad (1);$$

где E – необходимая горизонтальная освещенность (в данном случае принимается равной 200лк);

S – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

K<sub>3</sub> – коэффициент запаса, зависящий от степени загрязненности помещения, в данном случае принимается равным 1,5;

Φ – световой поток светильника;

n – количество ламп;

η – коэффициент использования светового потока, зависящий от индекса помещения i и степени светоотражения поверхности потолка, стен и пола.

Рассчитать индекс помещения можно по следующей формуле:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2)(A + B)}, \quad (2);$$

где  $h_1$ - высота рабочей поверхности от пола (в данном случае принимается равной 0м, поскольку работникам склада необходимо работать с нижними ярусами стеллажей);

$h_2$  – высота подвеса светильника от потолка (принимается равной 1 м);

A, B, H – длина, ширина и высота помещения.

Таким образом, индекс помещения:

$$i = \frac{18012}{(8 - 0 - 1)(268)} = 9,6 \quad (3);$$

Далее следует определение коэффициента отражения пола, стен и потолка, в данном случае принимается равным 30%, 50% и 70% соответственно.

Таким образом по таблице из справочных данных коэффициент использования светового потока принимается равным 1,11.

Так как склад №1 имеет высоту потолка 8 м, к установке принимаются светильники INSEL LB/S LED 120 D60 мощностью 120 Вт и световым потоком 12 100 Лм. Данный светильник является промышленным и имеет степень пылевлагозащищенности IP66.

Таким образом,

$$N = \frac{E \times S \times K_3}{\eta \times n \times \Phi_n} = \frac{200 \times 18012 \times 1,5}{1,11 \times 1 \times 12100} = 403 \text{ шт} \quad (4);$$

Аварийное освещение обеспечивается применением БАП – блоков аварийного питания, находящихся внутри корпуса светильника и представляющих собой аккумуляторную батарею, которая находится в режиме подзарядки в рабочее время, а в аварийной ситуации является источником питания для светильника.

Расчет освещения для остальных помещений проектируемого объекта производится аналогичным образом. Для остальных помещений с высотой потолков 8 м также были выбраны промышленные светильники INSEL LB/S LED 120 D60 для освещения коридоров и межстеллажных пространств и

INSEL LB/S LED 120 D120 для помещений типа open-space. Для помещений с высотой потолков 3 м к установке были приняты светильники INOX LED 30 4000K со световым потоком 2900 Лм и мощностью 26 Вт.

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет освещения для помещений логистического центра

Наименование помещения	S, м <sup>2</sup>	E, лк	η, кф испол ьз	Осветительное устройство	Φ, световой поток	P, Вт	Кол-во светильников
Помещение зарядки аккумуляторов №1	366,9	200	0,91	INOX LED 30 4000K	2900	26	42
Помещение ремонта	366,8	200	0,91	INOX LED 30 4000K	2900	26	42
Склад №2	12334,48	200	1,11	INSEL LB/S LED 120 D60	12100	120	152
				INSEL LB/S LED 120 D120			114
Помещение зарядки аккумуляторов №2	337,9	200	0,91	INOX LED 30 4000K	2900	26	39
Узел управления пожаротушением	19,09	200	0,56	INOX LED 30 4000K	2900	26	4
Санитарный узел	10,47	200	0,49	C LED 360 4000 K	1400	13	5
Зона погрузки/отгрузки 1	11055,05	200	1,11	INSEL LB/S LED 120 D120	12100	120	247
Зона погрузки/отгрузки 2	1060,25	200	1,11	INSEL LB/S LED 120 D120	12100	120	34
Вводно-распределительное устройство	18,18	200	0,56	INOX LED 30 4000K	2900	26	4

Продолжение таблицы 2

Узел управления пожаротушением	15,83	200	0,54	INOX LED 30 4000K	2900	26	4
Склад опасных грузов 1	1154,36	200	0,79	INSEL LB/S LED 120 D60	12100	120	37
Склад опасных грузов 2	1128,85	200	0,79	INSEL LB/S LED 120 D60	12100	120	36
Склад опасных грузов 3	555,65	200	0,68	INSEL LB/S LED 120 D60	12100	120	21
Склад опасных грузов 4	542,97	200	0,68	INSEL LB/S LED 120 D60	12100	120	20
Тамбур 1	37,47	200	0,64	INOX LED 30 4000K	2900	26	7
Тамбур 2	37,47	200	0,64	INOX LED 30 4000K	2900	26	7
Помещение мастеров	24,25	200	0,59	INOX LED 30 4000K	2900	26	5

Тип кривой силы света напрямую зависит от назначения светильника, поэтому светильники, предназначенные для освещения межстеллажного пространства и коридоров, имеют КСС типа Г, для открытого пространства применяются КСС типа Д – косинусная.

Краткие технические характеристики светильников отображены ниже. Рассмотрим осветительный прибор INSEL LB/S LED 120 D60, представленный на рисунке 13.



Рисунок 13 - Светильник INSEL LB/S LED 120 D60

Тип кривой силы света был выбран исходя из назначения светильника и представлен на рисунке 14.

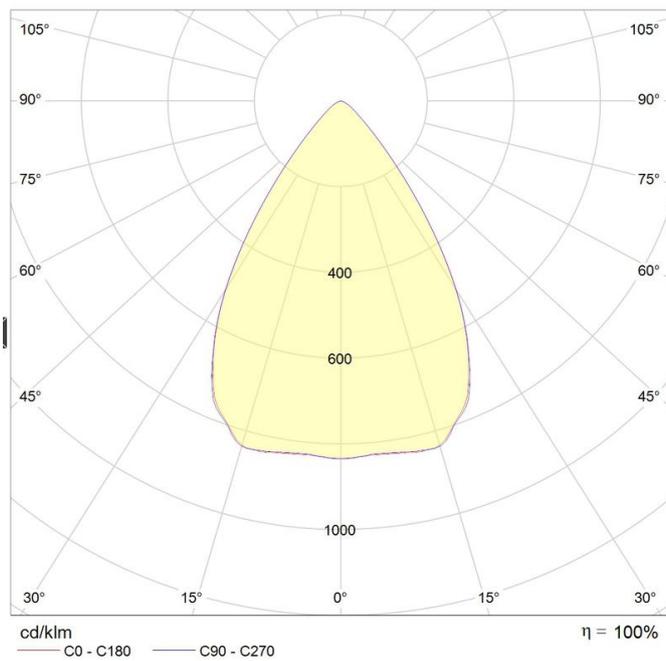


Рисунок 14 - Тип кривой силы света светильника INSEL LB/S LED 120 D60

В данном случае светильник имеет глубокую КСС для освещения коридоров и межстеллажных пространств.

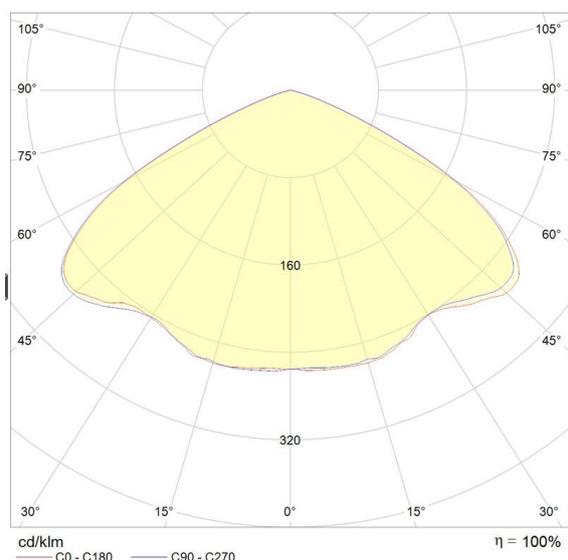


Рисунок 15 - Тип кривой силы света светильника INSEL LB/S LED 120 D120

На рисунке 15 изображена косинусная КСС светильника, предназначенная для освещения открытых пространств.

Таблица 3 - Краткие технические характеристики светильника INSEL LB/S LED 120 D60

Характеристика	Значение
Световой поток	12100 лм
Мощность светильника	120 Вт
Энергоэффективность	101 лм/Вт
Индекс цветопередачи (CRI)	>80
Цветовая температура	5000 К
Коэффициент мощности (cosφ)	> 0,98
Напряжение	230 В
Класс защиты от поражения током	I
Температурный режим	от -40 до +60 С
Класс пожароопасности	П-I,II,III
Степень защиты (IP)	IP66
Пусковой ток	60 А
Кривая силы света (КСС)	Г

Далее рассмотрим осветительный прибор INOX LED 30 4000К, представленный на рисунке 16.



Рисунок 16 - светильник INOX LED 30 4000К

Данные светильники предназначены для освещения открытых пространств, поэтому был выбран широкий тип КСС, представленный на рисунке 16.

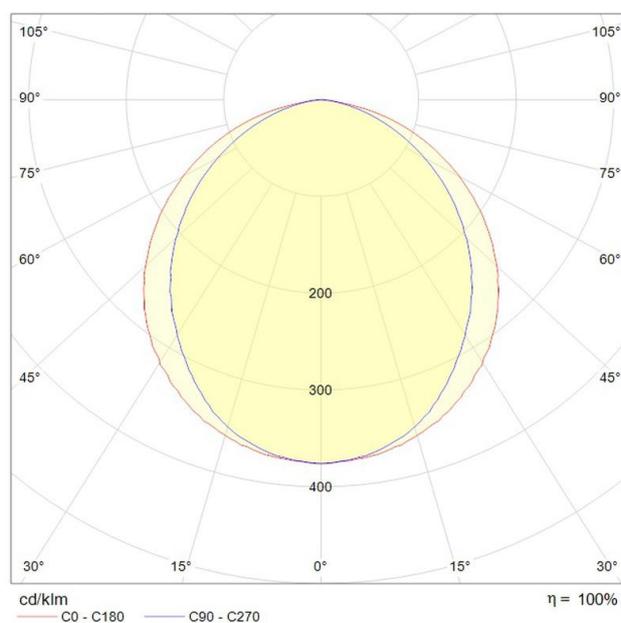


Рисунок 17 - Тип кривой силы света светильника INOX LED 30 4000К

Таблица 4 - Краткие технические характеристики светильника INOX LED 30 4000К

Характеристика	Значение
Световой поток	2900 лм
Мощность светильника	26 Вт
Энергоэффективность	112 лм/Вт
Индекс цветопередачи (CRI)	>80
Цветовая температура	4000 К
Коэффициент мощности (cosφ)	> 0,9
Напряжение	230 В
Класс защиты от поражения током	I
Температурный режим	от -40 до +40 С
Класс пожароопасности	П-I,II,III
Степень защиты (IP)	IP65
Пусковой ток	35 А
Кривая силы света (КСС)	Д

Далее рассмотрим светильник С LED 360 4000 К, представленный на рисунке 17.

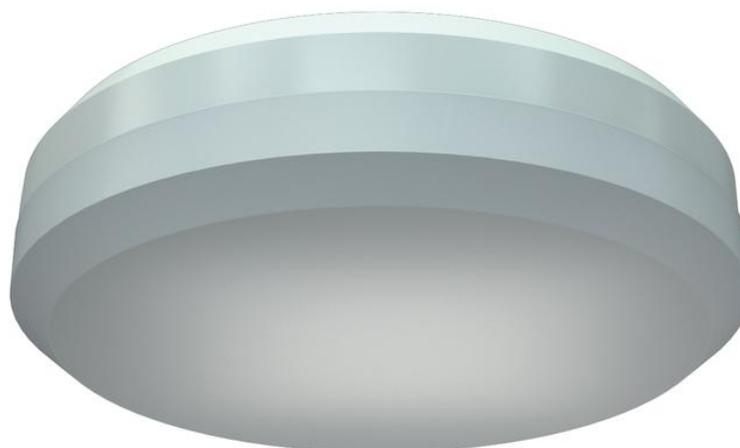


Рисунок 18 - светильник С LED 360 4000 К

Данный тип осветительного устройства будет применяться для освещения санитарных узлов, вследствие чего для него была выбрана широкая КСС, представленная на рисунке ниже.

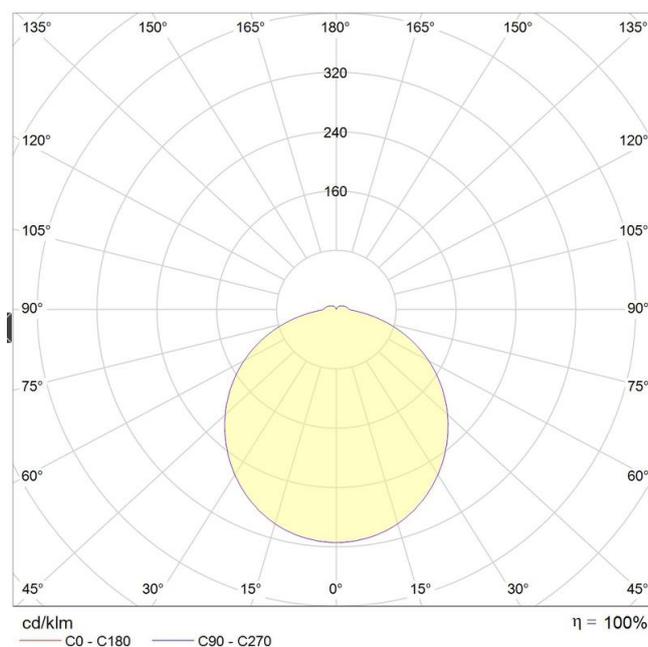


Рисунок 19 - Тип кривой силы света светильника C LED 360 4000 К

Таблица 5 - Краткие технические характеристики светильника C LED 360 4000 К

Характеристика	Значение
Световой поток	1400 лм
Мощность светильника	13 Вт
Энергоэффективность	108 лм/Вт
Индекс цветопередачи (CRI)	>80
Цветовая температура	4000 К
Коэффициент мощности (cosφ)	> 0,96
Напряжение	230 В
Класс защиты от поражения током	I

Продолжение таблицы 5

Температурный режим	от -20 до +40 С
Класс пожароопасности	-
Степень защиты (IP)	IP54
Пусковой ток	5 А
Кривая силы света (КСС)	Д

Суммарную потребляемую мощность осветительной нагрузки можно рассчитать по следующей формуле:

$$P_{осв} = K_{пра} \times N_{л} \times P_{л} = 1,1 \times 671 \times 120 + 1,1 \times 150 \times 26 + 1,1 \times 13 \times 5 = 92933,5 \text{ Вт} = 92,9 \text{ кВт} \quad (5);$$

где  $K_{пра}=1,1$  – потери мощности в светодиодных драйверах;

$N_{л}$  – количество светильников;

$P_{л}$  – мощность светильника, Вт.

### 2.3 Проектирование светодиодного освещения логистического центра с автоматизацией по протоколу DALI

Учитывая специфику объекта проектирования, автоматизация будет строиться на внедрении датчиков присутствия с интерфейсом DALI, поскольку они подойдут в большей мере для контроля уровня освещенности и присутствия людей в межстеллажных пространствах и длинных коридорах.

В помещениях без высоких стеллажей и коридоров будет применяться управление светильниками с помощью контроллера с заранее заданными сценариями работы устройств, поскольку предприятие является режимным и график работы осветительных устройств заранее определен. При этом вся информация о светильниках, датчиках и их режимах работы будет храниться не сервере, который установлен внутри предприятия, а на облачном хранилище, предоставленном поставщиком оборудования.

Для контроля освещения в складе №1 к установке будет приниматься датчик PD4-M-DALI/DSI-C-SM с открытой линз-маской и углом обзора 360° и дальностью действия 40 м (в перпендикулярном направлении). Эти датчики

будут установлены по центру коридоров и иметь приоритет Master, в то время как на обоих концах коридора будут устанавливаться датчики PD4-S-S-GH с полужакрытой линз-маской и углом обзора 180 градусов в направлении коридора. Это означает, что датчики slave (ведомые) не могут использоваться автономно без датчиков master, так как ведущие датчики обладают большим функционалом по сравнению со slave-датчиками и только датчик master управляет нагрузкой.

Master-датчик (ведущий датчик) реагирует на присутствие человека и осуществляет непосредственное управление группой светильников, в то время как на slave-датчик (ведомый датчик) возлагается функция регистрации движения/присутствия в своей зоне и подачи сигнала ведущему датчику. У slave-датчика нет реле и каких-либо программируемых функций.

Ниже приведены краткое описание и технические характеристики датчиков присутствия, применяемых на объекте:

Таблица 6 – Краткие технические характеристики ведущего датчика PD4-M-DALI/DSI-C-SM:

Характеристика	Значение
Сетевое напряжение питания	230 В ± 10%
Дальность действия перпендикулярно	40 м
Дальность действия фронтально	20 м
Степень защиты	IP 20
Температура функционирования	От -25°C до +50°C
Максимальное число управляемых ЭПРА	До 50 шт
Настройка по времени	От 1 до 30 мин.

Датчик PD4-M-DALI/DSI-C-SM изображен на рисунке 20.



Рисунок 20 – Датчик PD4-M-DALI/DSI-C-SM

Датчик является дистанционно управляемым устройством для открытого монтажа и узким диапазоном обнаружения специально для коридоров.

Таблица 7 – Краткие технические характеристики ведомого датчика PD4-S-GH-SM:

Характеристика	Значение
Сетевое напряжение питания	230 В ± 10%
Дальность действия перпендикулярно	44 м
Степень защиты	IP 20
Температура функционирования	От -25°C до +50°C
Интервал между импульсами	От 2 до 9 сек.

Датчик PD4-S-GH-SM обладает большим диапазоном обнаружения, благодаря чему он может применяться во всех типах помещений. Для коммутации осветительной нагрузки необходимо ведущее устройство.

В помещении склад №2 ситуация обстоит таким образом, что половина площади оборудована под стеллажное хранение, а другая половина

представляет собой открытую площадку типа «open-space». В данной ситуации половина помещения со стеллажами будет контролироваться датчиками PD4-M-DALI/DSI-C-SM (Master) и PD4-S-GH-SM (Slave), установленными аналогично складу №1. Вторая половина помещения типа «open-space» будет автоматизирована с помощью применения контроллера ME6-RD128, рассчитанного на 128 устройств, с заданием всех светотехнических параметров осветительного устройства в течение времени. Модель роутера ME6-RD128 поддерживает подключение двух шин DALI (каждая по 64 адреса).



Рисунок 21 – Контроллер ME6-RD128

Контроллер предназначен для сопряжения всех элементов сети (датчики, модули, ПРА) с сервером. Контроллер обеспечивает коммуникацию между элементами сети DALI и сервером (локальным или удаленным). Питается контроллер постоянным напряжением 48 В.

В целом же все устройства по автоматизации освещения будут укомплектованы в щиты управления, которые поставляются комплектно и имеют свои номинальные характеристики.

Зоны погрузки и отгрузки представляют собой полностью открытые пространства, которые будут управляться контроллерами ME6-RD128, объединенными в щите управления ME6 DALI B512. Компоненты системы

управления освещением объединяются в щиты для возможности быстрого монтажа и развертывания системы на объекте.

На рисунке 22 изображена одна из возможных компоновок щита управления:

Рисунок 22 – Компоновка щита управления ME6 DALI B512



Таблица 8 – Элементы щита управления ME6 DALI B512

№ п/п	Наименование элемента
1	Клеммная колодка, ввод питания 220 В
2	Автоматический выключатель однополюсный на 6 А
3	Индикатор питания
4	Клеммная колодка, внешние сигналы (4 шт)
5	Розетка щитовая

Продолжение таблицы 8

6	Роутер ME6-RD 128 (4 шт)
7	Блок питания MDR-60-24
8	Блок питания DR-120-48
9	Коммутатор 8-портовый
10	Сервер ME6 Server Enterprise

При этом имеется возможность хранения данных о системе освещения на удаленном сервере, что позволит не нести затраты на покупку и обслуживание сервера, а хранить всю информацию на «облаке». В связи с этим, для выбранного предприятия было принято решение использовать систему облачного хранения, поэтому 10 позиция в приведенной выше компоновке будет отсутствовать.

Схема подключения элементов представлена на рисунке 23.

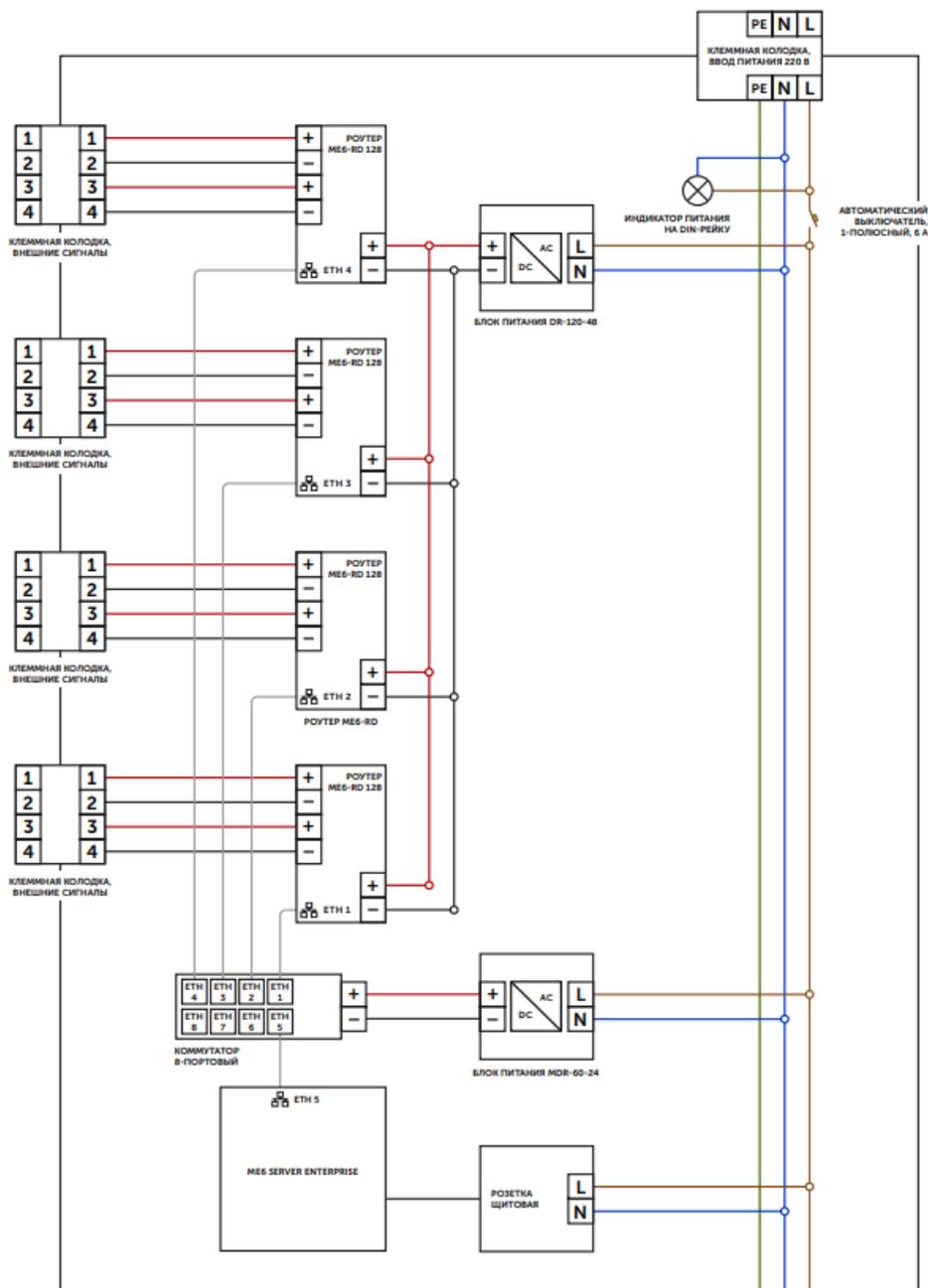


Рисунок 23 – Схема подключения элементов системы управления освещением в щите ME6 DALI B512

Склады опасных грузов представляют собой помещения небольшой площади со стеллажным хранением, поэтому для этих помещений к установке принимаются датчик PD4-M-DALI/DSI-C-SM с углом обзора в оба направления и PD4-S-GH-SM с полузакрытой линз-маской и углом обзора 180 градусов в направлении межстеллажного пространства.

Помещения зарядки аккумуляторов, помещения ремонта, узлы управления пожаротушением, вводно-распределительное устройство, тамбуры, санитарный узел, помещение мастеров являются вспомогательными помещениями с высотой потолков 3 м, в которых целесообразнее всего установить датчики присутствия PD4-M-DALI/DSI-HVAC с углом обзора в 360 градусов и дальностью действия 24 м.

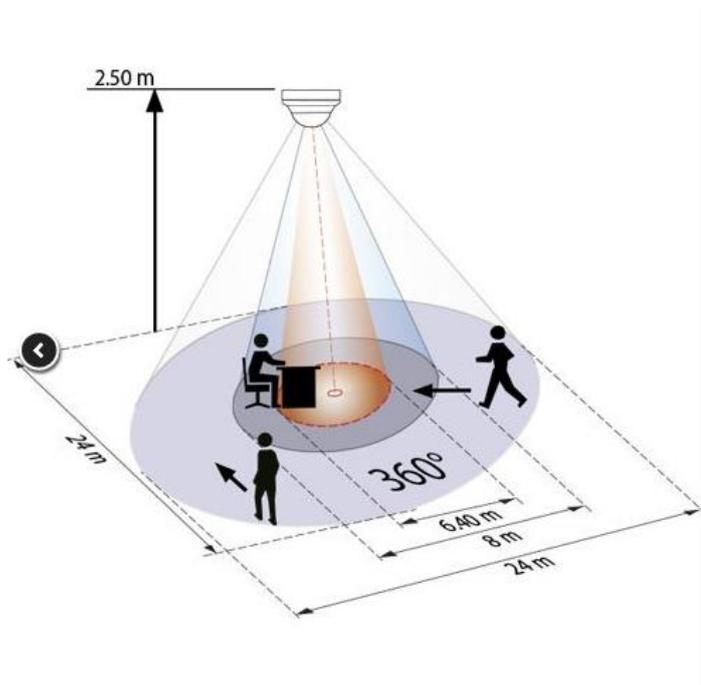


Рисунок 24 – Диапазон обнаружения датчика присутствия PD4-M-DALI/DSI-HVAC

Таблица 9 – Краткие технические характеристики ведущего датчика PD4-M-DALI/DSI-HVAC:

Характеристика	Значение
Сетевое напряжение питания	230 В ± 10%
Дальность действия перпендикулярно	24 м
Степень защиты	IP 20
Температура функционирования	От -25°C до +50°C
Максимальное число управляемых ЭПРА	До 50 шт

В качестве ведомого slave-датчика присутствия к установке принимается датчик PICO-S-FC с диапазоном обнаружения 4 м.

Таблица 10 – Краткие технические характеристики датчика PICO-S-FC:

Характеристика	Значение
Сетевое напряжение питания	230 В ± 10%
Дальность действия перпендикулярно	10 м
Степень защиты	IP 20
Температура функционирования	От -25°C до +50°C
Интервал между импульсами	От 2 до 9 сек.

Предприятие работает в режиме с 8:00 до 20:00 без выходных дней, поэтому складские помещения, а именно склады №1 и №2, зоны отгрузки и погрузки, занимают большую часть площади проектируемого объекта и нуждаются в освещении на протяжении всей рабочей смены.

Подсобные помещения, а именно помещения зарядки аккумуляторов, помещение ремонта, узлы управления пожаротушением, санитарный узел, ВРУ, склады опасных грузов, тамбуры, помещение мастеров, используются в рабочее время по мере необходимости, поэтому среднее время работы осветительных приборов было усреднено до 8 часов в сутки.

В отношении коммутации осветительной нагрузки до внедрения системы автоматизации применялась классическая концепция коммутации, где включение/отключение осветительных устройств производится персоналом вручную.

После внедрения системы автоматизированного управления освещением на протоколе DALI, коммутация осветительных приборов будет производиться по специально заданным алгоритмам автоматически, но возможность управлять освещением вручную также останется.

Склад №1 будет контролироваться системой датчиков присутствия, расположенных между стеллажами таким образом, чтобы не было слепых

зон. До обнаружения объекта в зоне действия, группа светильников работает в дежурном режиме, потребляя 20% от его номинальной мощности. При обнаружении объекта в зоне действия датчиков, группа светильников переводится из дежурного режима в рабочий, работая при этом на 100% от номинальной мощности. Такая концепция предусматривается для больших территорий со стеллажами (склад №1 и часть склада №2).

Датчик присутствия Master с открытой линз-маской будет установлен в центре межстеллажного пространства и контролировать его в оба направления. Зоны обнаружения датчиков не достаточно для охвата всей длины пространства, поэтому на обоих выходах будут установлены вспомогательные slave-датчики присутствия с наполовину закрытой линз-маской.

Один ведущий датчик может контролировать до 50 ЭПРА светильников, поэтому алгоритм работы задан таким образом, что при обнаружении объекта в межстеллажном пространстве включается вся группа светильников, расположенная над этим пространством (рисунок 25).

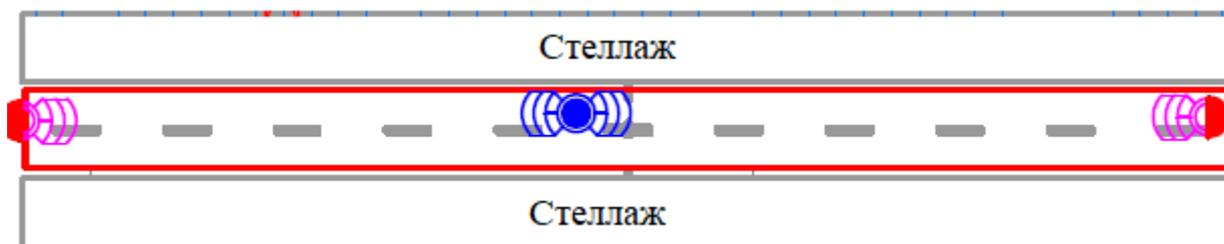


Рисунок 25 - Расположение датчиков присутствия для межстеллажных пространств

Аналогично обстоит ситуация с коридорами, за тем лишь исключением, что в них применяются slave-датчики присутствия как с полузакрытой, так и с открытой линз-маской, в зависимости от расположения датчика (рисунок 26).



Рисунок 26 - Расположение датчиков присутствия для коридорных пространств

В помещении склад №2 под стеллажное хранение оборудовано порядка 40% от общей площади помещения, поэтому для этой части помещения будут установлены датчики присутствия с тем же алгоритмом работы, что и для склада № 1.

Вторая часть помещения предназначена для открытого хранения и представляет собой пространство типа open-space. Осветительные устройства этой части помещения будут контролироваться одним контроллером ME6-RD 128 на 128 адресов и ME-RD64 на 64 адреса. Контроллеры будут располагаться в щите управления ME6 DALI B512 с возможностью подключения к сети до 512 устройств.

В этой части помещения осветительные устройства будут функционировать по специально заданному сценарию в соответствии с режимом работы предприятия и производственному календарю.

Зоны отгрузки/погрузки также должны быть освещены в течение всего рабочего времени, поэтому они будут разделены на две территориальные группы и будут управляться с помощью двух контроллеров ME6 RD-128 в соответствии с режимом работы предприятия и производственным календарем.

Все остальные вспомогательные помещения будут оснащены потолочными датчиками присутствия PD4-M-DALI/DSI-HVAC (master) и PICO-S-FC (slave) для помещений с высотой потолков до 3 м, их количество и место установки выбрано в соответствии с площадью и характером помещения.

Таким образом, оборудование по автоматизации всего объекта проектирования сведено в таблице 11:

Таблица 11 – Общее количество оборудования для автоматизации объекта проектирования

Наименование помещения	S, м <sup>2</sup>	Оборудование	Кол-во	Кол-во светильников
Склад №1	18012	PD4-M-DALI/DSI-C-SM	141	403
		PD4-S-GH-SM	169	
Помещение зарядки аккумуляторов №1	366,9	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	42
		PICO-S-FC	3	
Помещение ремонта	366,8	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	42
		PICO-S-FC	3	
Склад №2	12334,8	PD4-M-DALI/DSI-C-SM	22	276
		PD4-S-GH-SM	45	
Помещение зарядки аккумуляторов №2	337,9	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	39
		PICO-S-FC	3	
Узел управления пожаротушением	19,09	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	4
Санитарный узел	10,47	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	5
Зона погрузки/отгрузки 1	11055,05	ME6 DALI B256	1	247
Зона погрузки/отгрузки 2	1060,25	ME6 DALI B64	1	34
Вводно-распределительное устройство	18,18	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	4
Узел управления пожаротушением	15,83	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	4
Склад опасных грузов 1	1154,36	PD4-M-DALI/DSI-C-SM	6	37
		PD4-S-GH-SM	8	
Склад опасных грузов 2	1128,85	PD4-M-DALI/DSI-C-SM	6	36
		PD4-S-GH-SM	9	
Склад опасных грузов 3	555,65	PD4-M-DALI/DSI-C-SM	4	21
		PD4-S-GH-SM	3	

Продолжение таблицы 11

Склад опасных грузов 4	542,9 7	PD4-M-DALI/DSI-C-SM	3	20
		PD4-S-GH-SM	2	
Тамбур 1	37,47	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	7
Тамбур 2	37,47	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	7
Помещение мастеров	24,25	PD4-M-DALI/DSI-HVAC	1	5

Пространство между стеллажами и коридоры нуждаются в освещении только во время нахождения в зоне человека или погрузчика, поэтому светильники должны быть строго секционированы и разбиты на группы, а контроль освещения должен осуществляться через датчики присутствия, поскольку только они позволят включать/отключать освещение только тогда, когда это необходимо и только там, где в этом есть необходимость.

Проектируемый объект имеет достаточно большие площади с открытым пространством, на котором постоянно происходит движение персонала и транспорта. В связи с высокой интенсивностью движения на достаточно большой площади, было принято решение контролировать освещение не с помощью большого количества датчиков, а с помощью контроллеров с заранее заданными сценариями работы осветительных устройств. Это поможет оптимизировать расход электроэнергии на освещение, а также создать максимально комфортные условия для труда и минимизировать риск получения травм при производстве работ.

Освещение в бытовых и подсобных помещениях контролируется со помощью датчиков присутствия, поскольку достаточно небольшого их количества для контроля относительно небольших площадей, где освещение необходимо только при присутствии человека.

## 2.4 Выводы по разделу II

Во II разделе был разработан проект освещения, построенный на использовании энергоэффективных светодиодных источников освещения.

Светотехнический расчет производился методом коэффициента использования. Согласно произведенному светотехническому расчету к установке были приняты светильники INOX LED 30 4000K мощностью в 30 Вт для вспомогательных помещений с высотой потолка 3 м, INSEL LB/S LED 120 D60 мощностью 120 Вт для участков, оборудованных под стеллажное хранение, INSEL LB/S LED 120 D120 для участков с открытыми большими площадями, а также светильники C LED 360 4000 K для санитарных узлов.

Далее был разработан проект интеллектуального управления освещением на базе протокола DALI.

Помещения, оборудованные под стеллажное хранение, контролируются с помощью системы датчиков присутствия. При обнаружении объекта в зоне охвата датчика, группа светильников выходит из дежурного режима освещения в рабочий. Подсобные освещения также контролируются с помощью датчиков присутствия, которые по своему функционалу делятся на Master (ведущие) и Slave (ведомые). Это было сделано для того, чтобы удешевить стоимость проекта, при этом не повлияв на качество и функционал системы.

Помещения с большими открытыми площадями контролируются контролерами управления освещением и работают в соответствии с режимом предприятия.

Внедрение описанных выше технических мероприятий позволит максимально оптимизировать расходы электроэнергии на освещение, а также позволит контролировать работу оборудования в режиме он-лайн.

### 3. Технико-экономический расчет автоматизации осветительной нагрузки логистического центра

#### 3.1 Технико – экономический расчет расходов на электроэнергию до внедрения автоматизации

Для того, чтобы анализ технико-экономических показателей был максимально эффективным и наглядным, расчет всех величин будет производиться в формате одного года.

При классической коммутации осветительной нагрузки, где управление освещением сводится к ручному включению/отключению светильников, расчет потребляемой электроэнергии в год будет производиться по следующей формуле:

$$W_{осв} = T_{сут} \times N_{сут} \times P_{осв} \quad (6);$$

где  $T_{сут}$  – количество часов работы светильника в рабочие сутки;

$N_{сут}$  – количество рабочих суток в год;

$P_{осв}$  – суммарная потребляемая мощность для помещения;

Суммарную потребляемую мощность осветительной нагрузки рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{осв} = K_{пра} \times N_{л} \times P_{л} \quad (7);$$

где  $K_{пра}=1,1$  – потери мощности в светодиодных драйверах;

$N_{л}$  – количество светильников в помещении;

$P_{л}$  – мощность светильника, Вт.

Рассчитаем суммарное потребление электроэнергии для помещения Склад №1. Как известно, для этого помещения к установке были приняты 403 светильника INSEL LB/S LED 120 D60 мощностью 120 Вт, поэтому формула будет иметь следующий вид:

$$W_{осв} = T_{сут} \times N_{сут} \times P_{осв} = 12 \times 365 \times 53,196 = 232998,48 \text{ кВт} / \text{ч} \quad (8);$$

при этом

$$P_{осв} = K_{пра} \times N_{л} \times P_{л} = 1,1 \times 403 \times 120 = 53,196 \text{ кВт} \quad (9).$$

Таким образом, Склад №1 потребляет порядка 232 998,48 кВт/ч за один год.

Аналогично произведем расчет для оставшихся помещений логистического центра, данные сведены в таблицу 12:

Таблица 12 – Потребление электроэнергии помещений логистического центра за год до автоматизации

№ п/п	Наименование помещения	Кол-во светильников	Мощность одного светильника	$P_{осв}$ , Вт	$T_{сут}$ , ч	$N_{сут}$	$W_{осв}$ , кВт/ч
1	Склад №1	403	120	53196	12	365	232 998,48
2	Помещение зарядки аккумуляторов №1	42	26	1201	12	365	5 260,4
3	Помещение ремонта	42	26	1201	12	365	5 260,4
4	Склад №2	266	120	35 112	12	365	153 790,6
5	Помещение зарядки аккумуляторов №2	39	26	1 115	12	365	4 883,7
6	Узел управления пожаротушением	4	26	114	3	365	124,8
7	Санитарный узел	5	13	72	12	365	315,4
8	Зона погрузки/отгрузки 1	247	120	32 604	12	365	142 805,5
9	Зона погрузки/отгрузки 2	34	120	4 488	12	365	19 657,4
10	Вводно-распределительное устройство	4	26	114,4	3	365	125,3
11	Узел управления пожаротушением	4	26	114,4	3	365	125,3
12	Склад опасных грузов 1	37	120	4 884	12	365	21 391,9
13	Склад опасных грузов 2	36	120	4 752	12	365	20 813,8

Продолжение таблицы 12

14	Склад опасных грузов 3	21	120	2 772	12	365	12 141,4
15	Склад опасных грузов 4	20	120	2 640	12	365	11 563,2
16	Тамбур 1	7	26	200	12	365	876
17	Тамбур 2	7	26	200	12	365	876
18	Помещение мастеров	5	26	143	12	365	626,3

Суммарное потребление электроэнергии всего проектируемого объекта в год будет определяться суммой потребления электроэнергии всех отдельно взятых помещений по формуле:

$$W_{осв.общ} = \sum W_{осв} = 232998,48 + 5260,4 + 5260,4 + 153790,6 + 4883,7 + 124,8 + 315,4 + 142805,5 + 19657,4 + 125,3 + 125,3 + 21391,9 + 20813,8 + 12141,4 + 11563,2 + 876 + 876 + 626,3 = 633635,9 \text{ кВт/ч} \quad (10);$$

Итак, осветительная нагрузка логистического центра потребляет в год 633,64 МВт/ч электроэнергии в год. Рассчитаем годовые затраты предприятия на осветительную нагрузку. Так как предприятие находится в Московской области, поставка электроэнергии осуществляется через МУП «Ивантеевские электросети», а само предприятие относится к объектам первой ценовой категории, которая определена для объемов покупки электрической энергии (мощности), учет которых осуществляется в целом за расчетный период. Цена за 1 МВт/ч час электроэнергии составляет 5084,59 руб. без учета НДС. Таким образом, годовые затраты предприятия на потребление электроэнергии можно рассчитать по следующей формуле:

$$C_{осв} = W_{осв.общ} \times C_{год} = 633,64 \times 5084,59 = 3221778,8 \text{ руб.}$$

(11);

Затраты предприятия, находящегося в Московской области, за один календарный год составляет 3 221 778,8 руб. до внедрения системы автоматизированного управления освещением.

### 3.2 Стоимость внедрения автоматизированной системы управления освещением на протоколе DALI

Согласно техническому решению, представленному во II главе, спецификация всего основного оборудования будет иметь следующий вид:

Таблица 13 – Сметная стоимость оборудования по автоматизации освещения

Наименование устройства	Кол-во, шт	Стоимость за единицу, руб	Суммарная стоимость, руб
Датчик присутствия с функционалом Master для помещений с высоким потолком PD4-M-DALI/DSI-C-SM	182	10 487	1 908 670
Датчик присутствия с функционалом Slave для помещений с высоким потолком PD4-S-GH-SM	236	4 786	1 129 496
Датчик присутствия с функционалом Master для помещений с низким потолком PD4-M-DALI/DSI-HVAC	10	9 843	98 430
Датчик присутствия с функционалом Slave для помещений с низким потолком PICO-S-FC	9	5 150	46 353
Щит управления освещением ME6 DALI B512	3	298 195	894 585
Программное обеспечение	1	75000	75000

В целом суммарная стоимость основных компонентов системы управления составляет 4 152 534 р.

При этом также необходимо учитывать и стоимость проектных работ, а также монтажные и пуско-наладочные работы. Согласно справочным

данным, на проект закладывается порядка 8,5% от общей стоимости оборудования. Таким образом, стоимость проекта составляет:

$$C_{пр} = C_{сумм} \times 0,085 = 4152534 \times 0,085 = 352965 \text{ руб.} \quad (12);$$

где  $C_{сумм}$  – это суммарная стоимость основных компонентов системы управления.

Монтажные и пуско-наладочные работы составляют порядка 4% от общей стоимости проекта, поэтому затраты на монтажные и пуско-наладочные работы можно определить по формуле:

$$C_{монт} = C_{сумм} \times 0,04 = 4152534 \times 0,04 = 166101 \text{ руб.} \quad (13);$$

Далее определим общую стоимость реализации проекта по формуле:

$$C_{пр} = C_{сумм} + C_{пр} + C_{монт} = 4152534 + 352965 + 166101 = 4671600 \text{ руб.} \quad (14);$$

Таким образом, на реализацию проекта с учетом всех производимых работ потребуется порядка 4 671 тыс. руб.

### **3.3 Техничко-экономический расчет расходов на электроэнергию после внедрения автоматизации**

Расчеты всех технико-экономических величин будет производиться также для каждого помещения в отдельности на один календарный год.

Для каждого помещения был выбран свой алгоритм работы осветительных устройств, поэтому энергопотребление будет рассчитываться индивидуально.

В помещении Склад №1 оборудовано полностью под стеллажное хранение, поэтому все 403 светильника контролируются датчиками присутствия и работают в дежурном режиме (20% от номинальной мощности светильника) и в рабочем режиме (100% от номинальной мощности светильника).

Рассчитаем мощность, потребляемую светильником INSEL LB/S LED 120 D60 в дежурном режиме:

$$P_{осв.деж} = P_{ном} \times K_{пра} \times 0,2 = 120 \times 1,1 \times 0,2 = 26,4 \text{ Вт} \quad (15);$$

Рассчитаем мощность, потребляемую светильником INSEL LB/S LED 120 D60 в рабочем режиме:

$$P_{осв.раб} = P_{ном} \times K_{пра} = 120 \times 1,1 = 132 \text{ Вт} \quad (16);$$

Далее необходимо определить длительность работы светильника в дежурном режиме за рабочие сутки. В помещении Склад №1 все светильники разделены на группы, которые предназначены для освещения отдельно взятых пролетов между стеллажами и коридоров. Частоту передвижения работников и спецтехники для каждого отдельно взятого объекта примем равной между собой. Предприятие работает с 8:00 до 20:00 без выходных, следовательно, рабочее время оставляет 12 часов в сутки. При средней загруженности в смену примем, что в рабочем состоянии каждая группа светильников будет находиться приблизительно 18 % от всего рабочего времени, что составляет приблизительно 3,5 часа. Таким образом получаем, что время работы каждой группы светильников в дежурном режиме составляет 8,5 часов.

Таким образом, в рабочие сутки светильник будет потреблять 132 Вт на протяжении 3,5 часов и 26,4 Вт на протяжении 8,5 ч, поэтому за год энергопотребление одного светильника составит:

$$W_{год.свет} = (P_{деж} \times T_{деж} + P_{раб} \times T_{раб}) \times 365 = (26,4 \times 8,5 + 132 \times 3,5) \times 365 = 250,5 \text{ кВт} / \text{ч} \quad (17);$$

где  $P_{деж}$  – мощность светильника в дежурном режиме,

$T_{деж}$  – время работы светильника в дежурном режиме,

$P_{раб}$  – мощность светильника в рабочем режиме,

$T_{раб}$  – время работы светильника в рабочем режиме.

Годовое энергопотребление одного светильника составляет 250,5 кВт/ч, в помещении установлено 403 светильника, поэтому энергопотребление всей осветительной нагрузки склада №1 в год будет составлять:

$$W_{склад} = W_{год.свет} \times N = 250,5 \times 403 = 100951,5 \text{ кВт} / \text{ч}, \quad (18);$$

где  $W_{год.свет}$  - энергопотребление одного светильника в год,

$N$  – количество светильников в помещении.

Помещение склад №2 представляет собой помещение с комбинированным управлением освещением: стеллажные зоны управляются с помощью датчиков присутствия, а открытое пространство с помощью контроллера управления. При таком подходе расчет стеллажных зон будет производиться аналогично складу №1. Так как там установлены те же самые светильники, то значения мощности в дежурном и рабочих режимах будут приниматься без изменения, время работы в каждом режиме принимается такое же. В связи с этим расчет будет иметь вид:

$$W_{склад2.1} = W_{зод.свет} \times N = 250,5 \times 152 = 38076 \text{ кВт} / \text{ч} . \quad (19);$$

Для открытой части помещения светильники работают в номинально режиме все рабочее время, поэтому расчеты будут иметь вид:

$$W_{склад2.2} = T_{сут} \times N_{сут} \times P_{осв} = 12 \times 365 \times 15048 = 65910,2 \text{ кВт} / \text{ч} , \quad (20);$$

где  $T_{сут}$  – количество часов работы светильника в рабочие сутки;

$N_{сут}$  – количество рабочих суток в год;

$P_{осв}$  – суммарная потребляемая мощность для помещения;

Суммарную потребляемую мощность осветительной нагрузки рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{осв} = K_{пра} \times N_{л} \times P_{л} = 1,1 \times 114 \times 120 = 15048 \text{ кВт} \quad (21);$$

где  $K_{пра}=1,1$  – потери мощности в светодиодных драйверах;

$N_{л}$  – количество светильников в помещении;

$P_{л}$  – мощность светильника, Вт.

Энергопотребление всей осветительной нагрузки склада №2 в год будет составлять:

$$W_{склад2} = W_{склад2.1} + W_{склад2.2} = 38076 + 65910,2 = 103986,2 \text{ кВт} / \text{ч} \quad (22);$$

Расчет остальных помещений производился аналогично и отображен в таблице 14:

Таблица 14 - Потребление электроэнергии помещений логистического центра за год после автоматизации

№ п/п	Наименование помещения	Кол-во светильников	Мощность одного светильника	Р <sub>осв.</sub> , - деж.ре ж. Вт	Т <sub>сут</sub> ,деж.р еж. ч	Р <sub>осв.</sub> , - раб.ре ж. Вт	Т <sub>сут</sub> ,раб.р еж. ч	№ <sub>сут</sub>	W <sub>осв</sub> , кВт/ч
1	Склад №1	403	120	26,4	8,5	132	3,5	365	100 951,5
2	Помещение зарядки аккумуляторов №1	42	26	0	10	28,8	2	365	883
3	Помещение ремонта	42	26	0	3	28,8	9	365	3 973,5
4	Склад №2	266	120	26,4	8,5	132	3,5	365	103 986,2
5	Помещение зарядки аккумуляторов №2	39	26	0	10	28,8	2	365	819,9
6	Узел управления пожаротушением	4	26	0	11,5	28,8	0,5	365	21
7	Санитарный узел	5	13	0	9	14,3	3	365	78,3
8	Зона погрузки/отгрузки 1	247	120	26,4	8,5	132	3,5	365	61 864,4
9	Зона погрузки/отгрузки 2	34	120	26,4	8,5	132	3,5	365	8 515,7
10	Вводно-распределительное устройство	4	26	0	11,5	28,8	0,5	365	21
11	Узел управления пожаротушением	4	26	0	11,5	28,8	0,5	365	21
12	Склад опасных грузов 1	37	120	26,4	9,5	132	2,5	365	7 844
13	Склад опасных грузов 2	36	120	26,4	9,5	132	2,5	365	7 631,7
14	Склад опасных грузов 3	21	120	26,4	9,5	132	2,5	365	4 451,8
15	Склад опасных грузов 4	20	120	26,4	9,5	132	2,5	365	4 239,8
16	Тамбур 1	7	26	0	8	28,8	4	365	294,3
17	Тамбур 2	7	26	0	8	28,8	4	365	294,3
18	Помещение мастеров	5	26	0	2	28,8	10	365	525,6

Суммарное потребление электроэнергии всего проектируемого объекта в год после внедрения системы управления освещением будет определяться суммой потребления электроэнергии всех отдельно взятых помещений по формуле:

$$W_{осв.общ} = \Sigma W_{осв} = 100951,5 + 883 + 3973,5 + 103986,2 + 819,9 + 21 + 78,3 + 61864,4 + 8515,7 + 21 + 21 + 7844 + 7631,7 + 4451,8 + 4239,8 + 294,3 + 294,3 + 525,6 = 306417 \text{ кВт/ч} \quad (23);$$

Итак, осветительная нагрузка логистического центра после внедрения автоматизированной системы управления освещением будет потреблять в год 306,42 МВт/ч электроэнергии в год. Рассчитаем годовые затраты предприятия на осветительную нагрузку аналогично пункту 3.1 Цена за 1 МВт/ч час электроэнергии составляет 5084,59 руб. без учета НДС. Таким образом, годовые затраты предприятия на потребление электроэнергии можно рассчитать по следующей формуле:

$$C_{осв} = W_{осв.общ} \times C_{уд} = 306,42 \times 5084,59 = 1558\,020 \text{ руб.} \quad (24);$$

Затраты предприятия, находящегося в Московской области, за один календарный год составляет 1 558 020 руб. после внедрения системы автоматизированного управления освещением.

### 3.4 Расчет срока окупаемости проекта

Согласно произведенным расчетам, затраты на энергопотребление осветительной нагрузки затрачивается порядка 3 221 778 рублей в год. После внедрения автоматизированной системы управления освещением затраты будут составлять 1 558 тыс. рублей в год. Затраты на реализацию проекта по автоматизации освещения составляет 4 671 тыс. руб.

Имея указанные выше данные можно рассчитать сумму экономии предприятия в год по следующей формуле:

$$C_{эко} = C_{осв.год.1} - C_{осв.год.2} = 3221778 - 1558020 = 1663758 \text{ руб.} \quad (25);$$

где  $C_{осв.год.1}$  – затраты на энергопотребление осветительной нагрузки в год до внедрения системы автоматизации освещения;

$C_{\text{осв.год}2}$  – затраты на энергопотребление осветительной нагрузки в год после внедрения системы автоматизации освещения.

Таким образом, экономия предприятия на энергопотребление осветительной нагрузки сократятся на 1 663 758 рублей в год, что составляет 51,64% экономии.

Далее рассчитаем срок окупаемости проекта по следующей формуле:

$$T = \frac{C_{\text{пр}}}{C_{\text{эко}}} = \frac{4671600}{1558020} = 3 \text{ года} \quad (26);$$

Итак, срок окупаемости проекта составил 3 года. При этом в расчетах не учитывалась положительная динамика изменения цен на электроэнергию за последующие годы.

На рисунке 27 отображен график окупаемости проекта по годам.

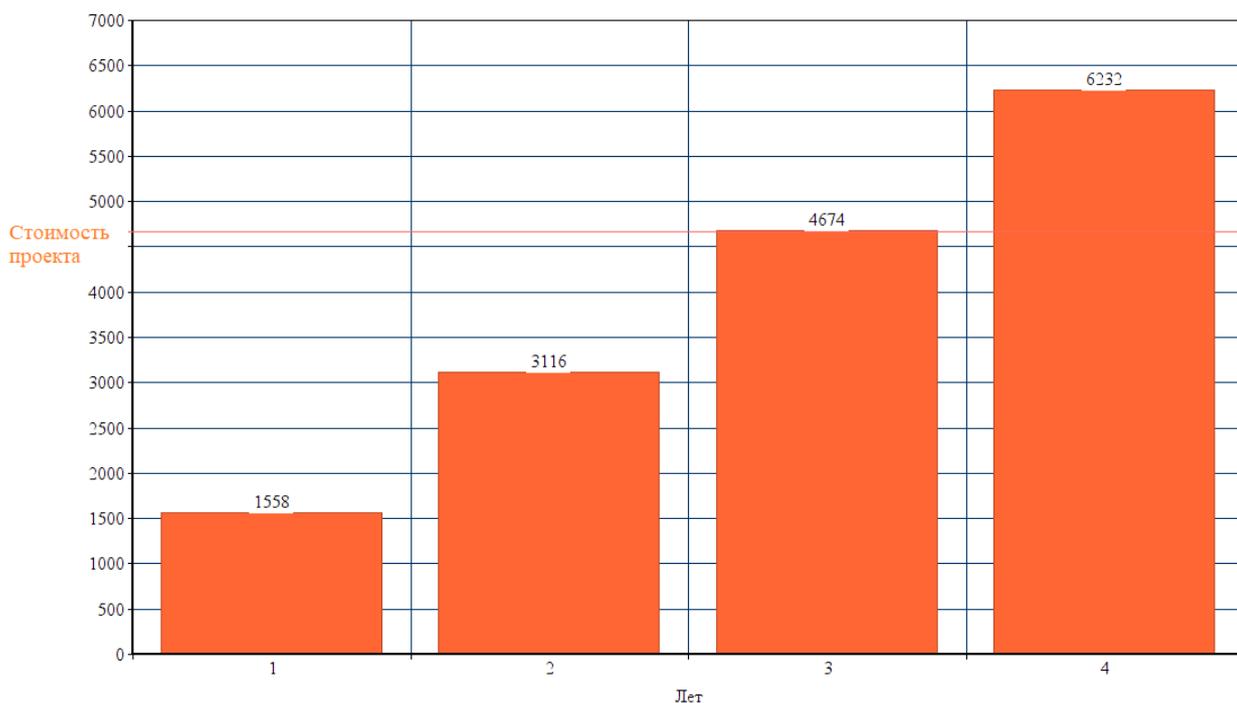


Рисунок 27 – график окупаемости проекта по годам

На оси X обозначены годы эксплуатации системы интеллектуального управления освещением, на оси Y отображено значение стоимости оптимизированной электроэнергии в тыс.руб.

Проанализировав все технико-экономические показатели можно сделать вывод, что мероприятие по внедрению автоматизированной системы управлением освещением на протоколе DALI является достаточно выгодным с точки зрения финансовых затрат, поскольку снижает расходы на электроэнергию более чем на 50%, а срок окупаемости составляет менее 3 лет.

Наибольшей оптимизации искусственного освещения удалось добиться в помещении склад №1 благодаря контролю с помощью датчиков присутствия. Датчики присутствия применялись в функциональных моделях Master и Slave, что позволило разворачивать системы датчиков для каждой отдельно взятой зоны движения и минимизировать затраты на оборудование, поскольку датчики с функционалом Slave обладают более низкой стоимостью по сравнению с датчиками с функционалом Master.

Также высоких результатов в плане оптимизации удалось достичь в помещении склад №2, в масштабах производства оно также является одним из крупнейших помещений в плане площади и, соответственно, потреблению электроэнергии на освещение. Та часть помещения, которая оборудована под стеллажное хранение, контролировалась датчиками присутствия аналогично складу №1.

Помещения, в которых контроль освещения осуществляется через контроллеры, исключают человеческий фактор и возможность работы светильников в нерабочее время предприятия, когда освещение не требуется.

### **3.5 Выводы по разделу III**

Проведенный расчет технико-экономических величин показал, что внедрение проекта автоматизированного освещения является выгодным мероприятием по оптимизации расхода электроэнергии на осветительную нагрузку.

До внедрения данного проекта энергопотребление осветительной нагрузки в год составляло 633,64 МВт/ч, а годовой расход на электроэнергию составлял 3 221 тыс.руб. После внедрения проекта энергопотребление

осветительной нагрузки в год будет составлять порядка 306,42 МВт/ч, а годовой расход понизится до 1 664 тыс.руб. Таким образом, система автоматизированного управления освещением позволяет снизить затраты электроэнергии на 51,64%.

Стоимость реализации самого проекта на исследуемом объекте составляет 4 152 тыс.руб. Срок окупаемости проекта составляет 3 года (без учета положительной тенденции стоимости электроэнергии в последующие годы).

Помимо выгоды проекта в финансовом плане, система интеллектуального управления освещением обладает еще и более высоким функционалом. После внедрения проекта можно будет более гибко управлять освещением, задавать нужные параметры и режимы работы оборудования практически из любой точки мира, где есть доступ в интернет благодаря «облачным» технологиям. Также можно будет всегда контролировать нужные величины, а также получать информацию о сбоях и неполадках на определенном участке сети благодаря функции самодиагностики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для многих предприятий достаточно остро стоит вопрос об энергоэффективности, поскольку потребление электроэнергии напрямую влияет на финансовые потери и экономическое состояние предприятия. Даже при имеющихся на сегодняшний момент энергосберегающих источников света необходимо максимально оптимизировать работу искусственного освещения. Особенно это касается предприятий с большими площадями, которые необходимо освещать, и у которых энергозатраты на освещение составляют большую часть от общего количества энергозатрат.

В настоящий момент времени на рынке существует достаточное количество вариантов решения существующей проблемы неэнергоэффективности потребления осветительными нагрузками. В рамках данной ВКР были рассмотрены разновидности протоколов управления освещением, получившие наибольшее распространение, их особенности и принцип работы. В качестве объекта проектирования выступил логистический центр, обладающий достаточно большими площадями, оборудованными под склады, а система автоматизации освещения была построена на протоколе DALI.

Аппаратная часть системы управления освещением имеет следующее исполнение: осветительный прибор снабжен диммируемым драйвером с возможностью управлением по протоколу DALI. Драйвер может управлять как вручную (панели управления), так и средствами автоматики (датчики и заблаговременно запрограммированные сценарии). Сопряжение всех компонентов сети DALI обеспечивает DALI-роутер, который также обеспечивает обмен информацией между компонентами сети и сервером (или облаком в случае использования удаленного сервера). Для контроля освещения складских помещений, оборудованных под стеллажное хранение, использовались связки датчиков присутствия с функционалом Master-Slave для разворачивания относительно недорогой системы контроля освещения в помещении. В качестве ведущего датчика присутствия к установке был принят

PD4-M-DALI/DSI-C-SM с функционалом Master, ведомым датчиком был принят PD4-S-GH-SM с функционалом Slave. Таким образом, при появлении объекта в зоне действия связки датчиков, группа светильников, находившаяся в дежурном режиме (20% от номинальной мощности) переходит в рабочий режим (100% от номинальной мощности).

Для контроля освещения помещений, представляющих собой открытые пространства, используются контроллеры ME6 DALI, которые обеспечивают работу группы светильников по заранее заданному сценарию в соответствии с режимом работы предприятия.

Остальные вспомогательные помещения, имеющие высоту потолка 3 м, такие как тамбур, санитарный узел, помещения зарядки аккумуляторов, помещение мастеров и т.д., оборудованы системой датчиков присутствия PD4-M-DALI/DSI-HVAC с функционалом Master и PICO-S-FC с функционалом Slave.

Функционал систем также по большей части сводится к диммированию, включению/отключению осветительных приборов поадресно или же группой, заданию сценариев работы на определенный интервал времени.

Благодаря применению контроллеров DEUS ME6, появилась возможность облачного хранения информации о настройках, конфигурации и сценариев работы системы. Это позволяет не нести материальные расходы на покупку и эксплуатацию сервера, а также иметь доступ к системе управления удаленно практически из любого места, где есть возможность подключиться к интернету.

Расчет технико-экономических показателей показал, что до модернизации энергопотребление осветительной нагрузки на предприятие составлял 3 221 778 рублей в год. После внедрения автоматизированной системы управления освещением затраты будут составлять 1 558 020 рублей в год, что на 51,6% ниже. Затраты на реализацию проекта по автоматизации освещения составляет 4 671 тыс. руб, а срок окупаемости проекта равен 3

годам. Приведенные выше показатели говорят о том, что внедрение данного проекта выгодно с финансовой точки зрения.

Помимо высоких экономических показателей автоматизированное управление освещением имеет множество функций, упрощающих эксплуатацию и техническое обслуживание осветительной нагрузки. Данная система позволит регулировать энергопотребление, а функция самодиагностики позволяет контролировать состояние элементов системы в режиме текущего времени, а в случае возникновения неисправности подавать сигнал об аварийных ситуациях в сети с указанием поврежденного элемента сети.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ;
2. ГОСТ Р 51541–99. Энергетическая эффективность. Состав показателей. — Введ. 2000-07-01.— М.: Изд-во стандартов, 2001.— 10 с;
3. ГОСТ 21.608-2014. Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения. – Введ 2015-17-01;
4. ГОСТ Р МЭК 60598-1-2011 Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний;
5. ГОСТ Р МЭК 60598-2-3-99 Светильники. Часть 2. Частные требования;
6. ГОСТ 26824-2010 Здания и сооружения. Методы измерения яркости;
7. ГОСТ Р 54944-2012 Здания и сооружения. Методы измерения освещенности;
8. ГОСТ Р 51558-2014 Средства и системы охранное телевизионные. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний;
9. ГОСТ 17677-82. Светильники. Общие технические требования;
10. ГОСТ 16703-79. Световые приборы и комплексы. Термины и определения;
11. ГОСТ Р 55710 – 2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений», Национальный стандарт РФ: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии РФ. – М: ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 18с;
12. ГОСТ Р 55842 – 2013 (ИСО 30061: 2007) «Освещение аварийное. Классификация и нормы», Национальный стандарт РФ: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М: ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 7с.;
13. ГОСТ Р 56228 – 2014 «Освещение искусственное. Термины и определения», Национальный стандарт РФ: Федеральное агентство по

техническому регулированию и метрологии РФ. – М: ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 15с.;

14. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

15. РД34.35.120-90. СПО ОРГРЭС. Основные положения по созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) подстанций напряжением 35 – 1150 кВ. – М, 2011;

16. Головинский, И.А. / Принципы построения универсальной автоматизированной системы контроля и управления переключениями в электрических сетях/ И.А. Головинский. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2014;

17. Лыкин, А.В. Электрические системы и сети / А.В. Лыкин – М.: Логос, 2010;

18. Прозоровский, Е.Е., Использование распределительных силовых сетей для организации канала связи в системах телекоммуникации / Е.Е. Прозоровский. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. - 2013. Спецвыпуск. - С. 115– 119;

19. Суворова, И.А. Электротехнологические промышленные установки и освещение : учеб. пособие для вузов / И.А. Суворова. Вятский гос. ун-т. – ВУЗ: Изд-во - Киров: ВятГУ, 2007. - 97 с.;

20. Стоимость энергоэффективных решений- Минстрой России, 4 фев 2017;

21. Кнорринг, Г.М. Осветительные установки / Г.М. Кнорринг. – Л.: Изд-во Энергоиздат, 1981.-288 с.;

22. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2007. - 54с.;

23. Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения / Ю.Г. Барыбин. - М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1990 - С. 576.;

24. Исследование ООО «Лайтинг Бизнес Консалтинг» в рамках реализации международного проекта ПРООН/ГЭФ/Минэнерго России «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения» по заказу Минпромторга России и Минэнерго России;

25. Патент 99913 Российская Федерация, МПК Н 04 В 3/56. Устройство для приема-передачи информации по питающей сети и управления режимами работы потребителей электрической энергии / Барбасова Т.А., Вставская Е.В., Константинов В.И., Константинова О.В., Костарев Е.В. – №2010128856/09; заявл. 12.07.2010; опубл. 27.11.2010, Бюл. №33 (IV ч.) – с. 1057-1058;

26. Построение систем передачи информации по проводам питающей сети / В.И. Константинов, Е.В. Вставская, Т.А. Барбасова, Костарев Е.В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2011. – Вып. 14, №23 (240). – С. 60–65;

27. Автоматизированные системы управления энергоэффективным освещением: монография / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер, Т.А. Барбасова, Е.В. Вставская и др.; под ред. Л.С. Казаринова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, издатель Т. Лурье, 2011. – 208 с., ил;

28. Проектирование осветительных установок / Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. // Учебное пособие – 2015. – 107 стр;

29. Веинерт Д., Сполдина Ч., Светодиодное освещение: Справочник, 2010 г;

30. Цваненберг, Ф. Эффективные драйверы для СИД с регулируемой яркостью [Электронный ресурс] / Полупроводниковая светотехника. – URL: [http://www.led-e.ru/articles/led-supply/2010\\_2\\_36.php](http://www.led-e.ru/articles/led-supply/2010_2_36.php);

31. Семенов, Б. Ю Экономичное освещение для всех .Технологии энергосбережения [Текст]/ Б.Ю. Семенов.- Солон-Пресс, 2010,- [301];

32. Энергоаудит и нормирование расходов энергоресурсов: сборник методических материалов [Текст] / под редакцией проф. С.Н. Сергеева. – М., Изд. дом МЭИ, 2008.-24с;

33. Сайт производителя DEUS МЕ6. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://mebcloud.com/>, свободный;
34. Сайт производителя В.Е.Г. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://beg-russia.ru/>, свободный;
35. Сайт производителя Helvar [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.helvar.com/ru/>, свободный;
36. Сайт производителя Tridonic [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.tridonic.com/ru/>, свободный;
37. Сайт производителя Световые технологии [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.ltcompany.com/ru/>, свободный;
38. Сайт производителя Световое оборудование [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://svetpro.ru/>
39. Сайт производителя Новый свет [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://nlco.ru/>;
40. Портал по энергосбережению Энергосвет [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/>;
41. Научно-техническое издание Control Engineering Россия [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://controlengrussia.com/o-zhurnale/>;
42. Soltic, S. Optimization of Multiband White-Light Illuminants for Specified Color Temperatures [Text] / S. Soltic, A.N. Chalmers // Advances in OptoElectronics. – 2015. - Volume 2015. – URL: <https://doaj.org/article/04afc6c106db41b7bf8cc515fdabdda6> ;
43. Byung-Lip, A. Savings in Cooling Energy with a Thermal Management System for LED Lighting in Office Buildings [Text] / A. Byung-Lip, P. Ji-Woo, Y. Seunghwan, K. Jonghun, L. Seung-Bok, J. Cheol-Young // Energies. – 2015. – Volume 8. – Issue 7. – PP. 6658-6671. – URL: <http://www.mdpi.com/1996-1073/8/7/6658/htm> ;
44. Miloradovich, N. Calculation of harmonic losses and ampacity in low-voltage power cables when used for feeding large LED lighting loads. [Text] / N.

Miloradovich, L. Prevosto, M.A. Lara // Advanced Electromagnetic. – 2014. – Volume 3. - URL: <https://doaj.org/article/0cafbbb2e58e4abda5c4523514bc4191> ;

45. Zhang, M. Color Temperature. Tunable White-Light LED Cluster with Extra high Color Rendering Index. [Text] / M. Zhang, Y. Chen, G. He // The Scientific World Journal. – 2014. – Volume 2014. – URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/897960M> ;

46. Bielecka, M. Prediction of traffic Intensity for Dynamic Street Lighting [Text] / M. Bielecka, E. Sebastian, I. Wojnicki, A. Bielecki // Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems – 2017. – Volume 11. – PP.1149 – 1155. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/320012884\\_Prediction\\_of\\_Traffic\\_Intensity\\_for\\_Dynamic\\_Street\\_Lighting](https://www.researchgate.net/publication/320012884_Prediction_of_Traffic_Intensity_for_Dynamic_Street_Lighting) ;

47. Susala, T. Using microcomputers for lighting appliance control using a DALI bus [Text] / T. Susala, J. Pribyslavsky, P. Neumann // MATEC Web of Conferences – 2016. – Volume 76. – PP.1-6. – URL: <https://doaj.org/article/03db06ea36af4f6c80513b32d597cdfb> ;

48. Ullah, I. Development of Optical Fiber-Based Daylighting System and Its Comparison [Text] / I. Ullah, A. Jong-Woei Whang // Energies – 2015. – Volume 8. – Issue 7. - PP.7185-7201. – URL: <https://doaj.org/article/27967769596c4268ba7562fa267af36d> ;

49. Elejoste P. An Easy to Deploy Street Light Control System Based on Wireless Communication and LED Technology [Text] / P. Elejoste, I. Angulo, A. Perallos, A. Chertudi, I. Julio García Zuazola, A. Moreno, L. Azpilicueta, J. Javier Astrain, F. Falcone, J. Villadangos // Sensors - 2013. – Volume 13. – Issue 5. - PP.6492-6523. - URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3690067/> ;

50. Ahn B. Synergetic Effect between Lighting Efficiency Enhancement and Building Energy Reduction Using Alternative Thermal Operating System of Indoor LED Lighting [Text] / B. Ahn, J. Park, S. Yoo, J. Kim, H. Jeong, S. Leigh, C. Jang // Energies - 2015 - Volume 8. – Issue 8. - PP.8736-8748. - URL: <https://doaj.org/article/2618df5b5b0e423b9871e4237cb8ebb0> ;

51. Park S. Technology Analysis of Global Smart Light Emitting Diode (LED) Development Using Patent Data [Text] / S. Park, S. Jun // Sunstability. – 2017 - Volume 9. – Issue 8. - URL: <https://doaj.org/article/004d31639dfd427d98abd1c3166f53bf> ;