

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка системы автоматизированного управления осветительными
нагрузками МБОУ школы №21 г.Тольятти

Студент

А.В. Барабанщиков
(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., О.В. Самолина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ существующих систем автоматизированного управления освещением.....	7
1.1 Нормы и требования к освещению школ.....	7
1.2 Виды систем автоматизации осветительных установок.....	9
2 Выбор оборудования для автоматизированной системы управления освещением в общеобразовательном учреждении.....	35
3 Разработка алгоритма управления системой освещения в общеобразовательном учреждении и технико-экономический расчёт осветительной нагрузки.....	62
3.1 Разработка алгоритма управления системой освещения.....	62
3.2 Технико-экономический расчёт расходов на электроэнергию с действующей системой электроосвещения.....	64
3.3 Технико-экономический расчёт расходов на электроэнергию без внедрения систем автоматизации с применением светодиодных светильников.....	67
3.4 Технико-экономический расчёт расходов на электроэнергию после внедрения систем автоматизации.....	69
3.5 Расчёт срока окупаемости проекта по внедрению автоматической системы управления освещением.....	75
Заключение.....	78
Список используемой литературы и используемых источников.....	80

Введение

В настоящее время активно прослеживается тенденция на снижение потребления различных видов энергии, электрическая энергия не исключение. Энергоэффективности и энергосбережению уделяется не малое количество времени, внимания и ресурсов. Это объясняется тем, что выработка электрической энергии в основном осуществляется при помощи природных ресурсов, которые являются невозобновляемыми, их потребление рано или поздно приведет к полному опустошению запасов. По данным на сегодняшний день запасов нефти может хватить на 40-80 лет, газа на 50-100 лет. Также электрические станции оказывают негативное влияние на экологическую ситуацию в стране и в мире в целом. Например, гидроэлектростанции препятствуют нормальной миграции рыб, замедляют естественную проточность воды, все это приводит к изменению флоры и фауны рек. Атомные электростанции используют пруд-охладитель и из-за технологического процесса происходит нагрев воды в пруде, что также нарушает флору и фауну. Помимо всего этого утилизация отходов наносит колоссальный вред окружающей природе, и не стоит забывать о последствиях аварии на таком типе электростанций.

В данный момент времени на территории Российской Федерации не наблюдается дефицита природных ресурсов, но, как было сказано выше, запасов хватит приблизительно на 50-100 лет. Поэтому необходимо использовать электрическую энергию более эффективно, для этого необходимо создавать и развивать интеллектуальные системы по управлению электрической энергией, которые способствуют повышению энергоэффективности.

В энергопотреблении офисных, жилых, общественных зданий (школ, больниц и т.д.) существенную долю занимает электрическое освещение (40-60% от общего потребления), поэтому необходимо снижать потребление осветительными установками.

Самым распространённым способом для энергоэффективности осветительной нагрузки является замена старых осветительных приборов на новые и современные с большей энергоэффективностью, на момент написания магистерской диссертации — это светодиодные светильники (LED). Этот способ позволяет экономить до 40 % электрической энергии, а также использовать кабели с меньшим сечением и оборудование на меньший номинальный ток.

Для того чтобы обеспечить еще больший эффект экономии электроэнергии необходимо применять интеллектуальную систему управления электрическим освещением.

Интеллектуальная система управления освещением объединяет группу светильников и контролируемых органов в одну сеть, которая обеспечивает уровень необходимой освещенности в нужном месте. В качестве контролирующих органов применяются датчики освещенности, движения, присутствия, акустические и т.д. Данная система позволяет рационально использовать электрическую энергию за счёт включения/выключения приборов в необходимое время, а также возможности регулировать световой поток осветительных приборов. Систему интеллектуального управления можно заблаговременно запрограммировать по необходимому сценарию, с помощью этого можно управлять различными группами светильников или даже одним светильником.

Эта проблема особенно актуальна на предприятиях, в офисных и общественных зданиях, так как приходится освещать большое количество помещений с различными площадями и задачами их использования. На таких объектах электрическая энергия, потребляемая освещением может составлять довольно-таки большую часть от общего потребления электрической энергии.

В последнее время данное направление активно развивается, так как оборудование стало доступнее как в физическом смысле, так и в экономическом, следовательно, срок окупаемости стал гораздо меньше, чем

это было 10-15 лет назад. Высокая стоимость оборудования была связана с несколькими факторами: новизна, сложность и дороговизна изготовления микропроцессорных контроллеров и микросхем, отсутствие единого или унифицированного протокола, сложности создания нового программного обеспечения. Так как активно развиваются такие области, как информатика, IT-технологии и промышленная электроника, вопрос о дороговизне и сложности оборудования постепенно снижается. Появляется большое количество различных фирм-производителей, как российских, так и зарубежных, что благоприятно сказывается на цене оборудования благодаря рыночной конкуренции.

Объект исследования расположен в Самарской области в центральном районе города Тольятти по адресу бульвар 50 лет Октября 23. По СНИП 2.08.02-89 Объект относится к группе зданий и помещений учебно-воспитательного назначения [30]. Общая площадь здания составляет 9050,7 м². Площадь застройки 2597,8 м². Состоит из 3 этажей, технического подполья, крылец и входа в техническое подполье. На 1 этаже находятся: спортивные залы, столовая, библиотека, учебные и рабочие кабинеты, гардероб, санузлы и подсобные помещения. На 2 этаже актовый зал, конференц-зал, архив, учебные кабинеты, учительская, санузлы и подсобные помещения. На 3 этаже находятся учебные и рабочие кабинеты, санузлы и подсобные помещения. Освещение выполнено в основном при помощи люминесцентных светильников, но также встречаются светильники с лампами накаливания.

Большее количество школ в нашем городе строились в начале 60-70 годов XX-го века, многие школы построены по типовым проектам, следовательно, разработав проект «интеллектуального» освещения для школы №21 можно будет применить и в других типовых школах не только нашего города, но и страны в целом. Внедрение системы автоматического управления осветительной нагрузкой позволяет снизить потребление электрической энергии, за счет регулирования освещенности и заранее

разработанного и запрограммированного алгоритма управления светильниками, также замена люминесцентных светильников на светодиодные позволит обеспечить хорошие световые характеристики и снизить энергопотребление.

Цель магистерской диссертации – повышение эффективности системы освещения в общеобразовательной школе №21

Задачи:

- выбрать систему и протокол управления осветительными устройствами;
- разработать проект автоматизации управления для объекта исследования;
- разработать алгоритм управления осветительной нагрузкой для объекта исследования;
- определить технико-экономические показатели предлагаемого проекта интеллектуальной системы управления освещением.

1 Анализ существующих систем автоматизированного управления освещением

1.1 Нормы и требования к освещению школ

При расчёте освещения и выборе светильников необходимо уделять внимание не только на нормы освещенности в учебных кабинетах, но также в рекреациях, спортивных залах, коридорах, на лестничных клетках и т.д.

Поэтому на общеобразовательные учреждения накладываются очень строгие нормы и правила, так как плохой уровень освещенности ведет к быстрой утомляемости детей, ухудшению зрения, раздражительности, а также увеличивается риск получения травм из-за недостаточной освещенности [4].

Наиболее оптимальным освещением для детского зрения является естественное, но следует учитывать, что в зимний период времени уменьшается световой день, а также при пасмурной погоде искусственное освещение незаменимо.

Приведем нормативные значения освещенности для различных помещений школы из СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [23]. Данные занесем в таблицу 1.

Таблица 1 – Освещенность рабочих поверхностей помещений школы

Помещение	Освещенность рабочих поверхностей, лк
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории общеобразовательных школ	500
Кабинеты информатики и вычислительной техники	400
Кабинеты технического черчения и рисования	500
Лаборантские при учебных кабинетах	400
Спортивные залы	200
Снарядные, инвентарные, хозяйственные кладовые	50
Актовые залы, киноаудитории	200
Эстрады актовых залов	300
Кабинеты и комнаты преподавателей	300

Медкабинет	300
------------	-----

Продолжение таблицы 1

Помещение	Освещенность рабочих поверхностей, лк
Рекреации, коридоры, лестницы	150
Сан. узлы	75

При выборе светильников для общеобразовательных учреждений необходимо учитывать несколько факторов [18]:

- в одном помещении не допускается использование осветительных приборов с различными источниками света;
- допустимые цвета свечения белый, тепло-белый, естественно белый;
- рекомендуется использовать светильники с высоким индексом цветопередачи Ra не менее 80;
- светильники должны соответствовать требованиям ГОСТ [7];
- светильники должны обеспечивать достаточный уровень освещенности согласно требованиям, СНиП и СанПиН [23,24,30];
- светильник не должен мерцать и создавать посторонние шумы при работе.

Для общеобразовательных учреждений также необходимо наличие аварийного освещения. Аварийное освещение предусматривается на случай нарушения питания основного (рабочего) освещения и подключается к источнику питания, не зависящему от источника питания рабочего освещения [8].

Аварийное освещение подразделяется на эвакуационное и резервное. Эвакуационное освещение включает в себя:

- освещение путей эвакуации;
- эвакуационное освещение зон повышенной опасности;
- эвакуационное освещение больших площадей (более 60 м² - антипаническое освещение) [8].

Здание школы относится к 2 категории надежности электроснабжения, но электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации относятся к 1 категории надежности электропитания, поэтому питание аварийного освещения осуществляется от независимого или автономного источника питания.

В настоящее время существует большое количество различного оборудования для аварийного освещения, включая LED светильники, различные таблички и прочие устройства различной ценовой категории. Эти светильники также оборудованы аккумуляторными батареями, для обеспечения питания аварийного освещения даже при полном обесточивании здания.

1.2 Виды систем автоматизации осветительных установок

1.2.1 Основной функционал систем автоматизации

«Интеллектуальные» системы управления освещением предназначены для снижения потребления электрической энергии осветительными установками и применяются совместно с LED светильниками для достижения наибольшего эффекта (экономия более 50%) [21],[29]. В функционал таких систем входит:

- запрограммированное время включения/выключения и диммирования светильников в зависимости от времени года и времени суток, дня недели, праздничных и выходных дней. Все это может отслеживаться в режиме реального времени при помощи подключения к сети Интернет;
- поддержание запрограммированного уровня освещенности в помещении. Эта функция осуществляет свою работу при помощи датчика освещённости, который учитывает искусственную и естественную освещенность в помещении, таким образом датчик может производить диммирование отдельной группы или одного светильника. Благодаря этому отсутствует излишняя освещенность

помещения и тем самым понижается потребление электрической энергией. На рисунке 1 показана схема подключения датчика освещённости;

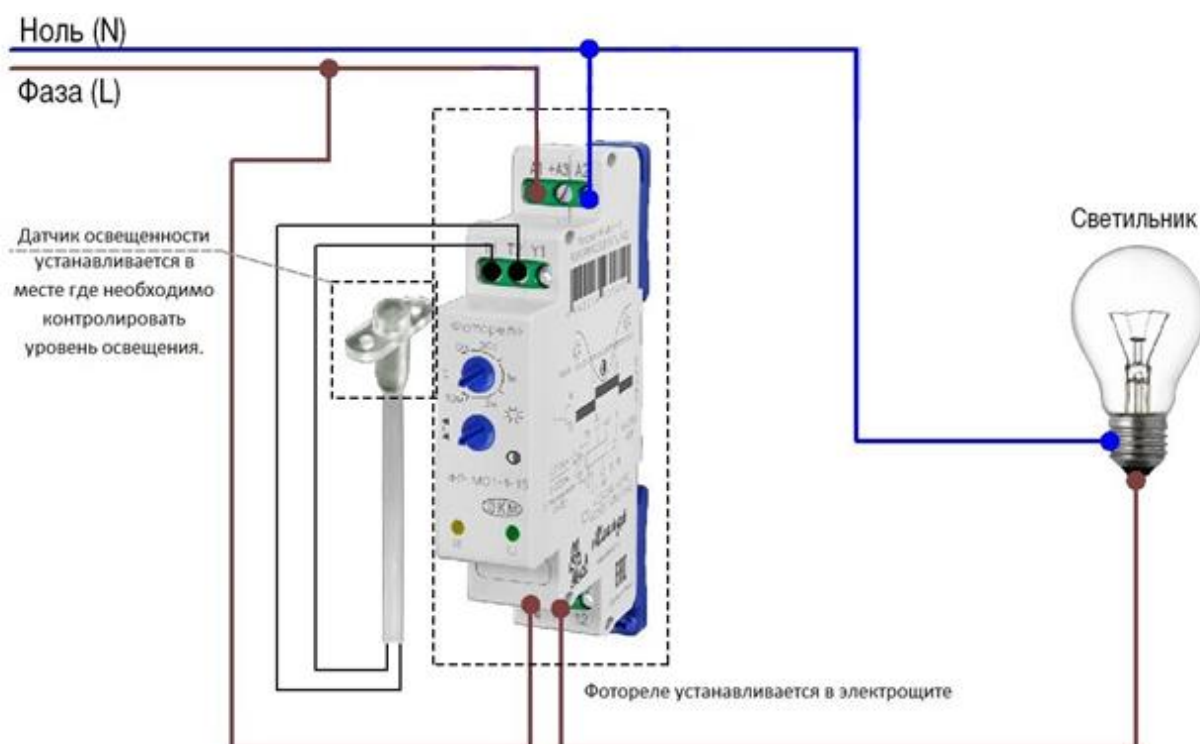


Рисунок 1 – Подключение датчика освещённости

– возможность определять присутствие людей в помещении и работать по определенному сценарию в различных случаях. Функционирует при помощи датчиков движения или присутствия. Датчик движения обладает маленькой чувствительностью поэтому его чаще всего применяют в местах с большим потоком людей (коридоры, лестничные площадки и т.д), а датчик присутствия обладает высокой чувствительностью и срабатывает на малейшие движения, поэтому их устанавливают там, где люди находятся постоянно (офис, кабинет, класс, и т.д.). На рисунке 2 представлена схема подключения датчика движения/присутствия;

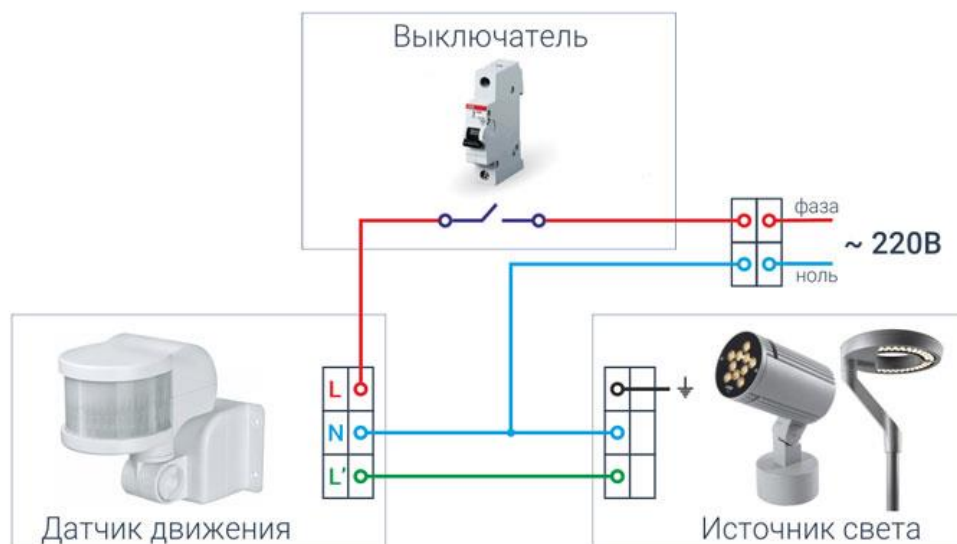


Рисунок 2 – Подключение датчика движения/присутствия к источнику света

– возможность управления освещением удаленно, например, при помощи смартфона, планшета или любого компьютера, имеющего доступ к сети Интернет. Данная система может хранить всю информацию на сервере, что позволит производить настройку без каких-либо проблем. На рисунке 3 представлен пример, как может выглядеть интерфейс системы управления освещением в программном комплексе;



Рисунок 3 – Система управления освещением для смартфона/планшета

- возможность производить самодиагностику и предупреждать о неисправностях какого-либо светильника или группы светильников, что сильно упрощает и ускоряет ремонтные работы, ведь заранее известно какое именно устройство вышло из строя.

В настоящее время существует довольно большое количество различных протоколов управления, основные из них:

- аналоговое управление 1-10 В,
- DALI,
- DMX-512,
- RDM,
- IP-системы,
- KNX.

Для более подробного изучения рассмотрим эти протоколы отдельно.

1.2.2 Управление освещением с помощью аналогового интерфейса 1-10 В

Освещением можно управлять при помощи изменения подаваемого напряжения. Этот метод управления является одним из самых первых и при этом простым в осуществлении регулирования светового потока осветительной установки (прибора). Интервал изменяемого напряжения по факту может быть любым, несмотря на это спустя некоторое время самым распространенным диапазоном регулировки стал 0 – 10 В. Метод основан на изменении силы света пропорционально напряжению.

Для управления световым потоком применялись автотрансформаторы, но это было лишь для самых первых систем управления. В 60-х годах XX века появились тиристорные системы аналогового управления, которые позволяли регулировать световой поток удаленно. Регулировка осветительного прибора производилась при помощи относительно небольшой консоли.

Уже к середине 70-х годов прошлого века был разработан и внедрен стандарт единого диапазона регулировки напряжения 0-10 В. Параметр «0 В»

означал, что освещение отключено, а «10 В» обладал 100% мощностью. Таким образом, данный интерфейс представляет собой одностороннюю связь между устройством регулировки (диммером) и осветительным прибором.

На практике не редко встречаются диммеры с параметрами 1-10 В, где «1 В» означает самую минимальную мощность, а для полного отключения света необходимо разорвать электрическую цепь 220 В, для этого в регуляторы освещения добавляют кнопку выключения. Как правило ток управляющего воздействия находится в пределах от 1 мА до 4мА [22]. Для управления светодиодными светильниками применяется специальный драйвер. Принцип управления основан на получении управляющего сигнала через внутренний светодиодный драйвер и внешнего диммера (потенциометра). Схема подключения изображена на рисунке 4.

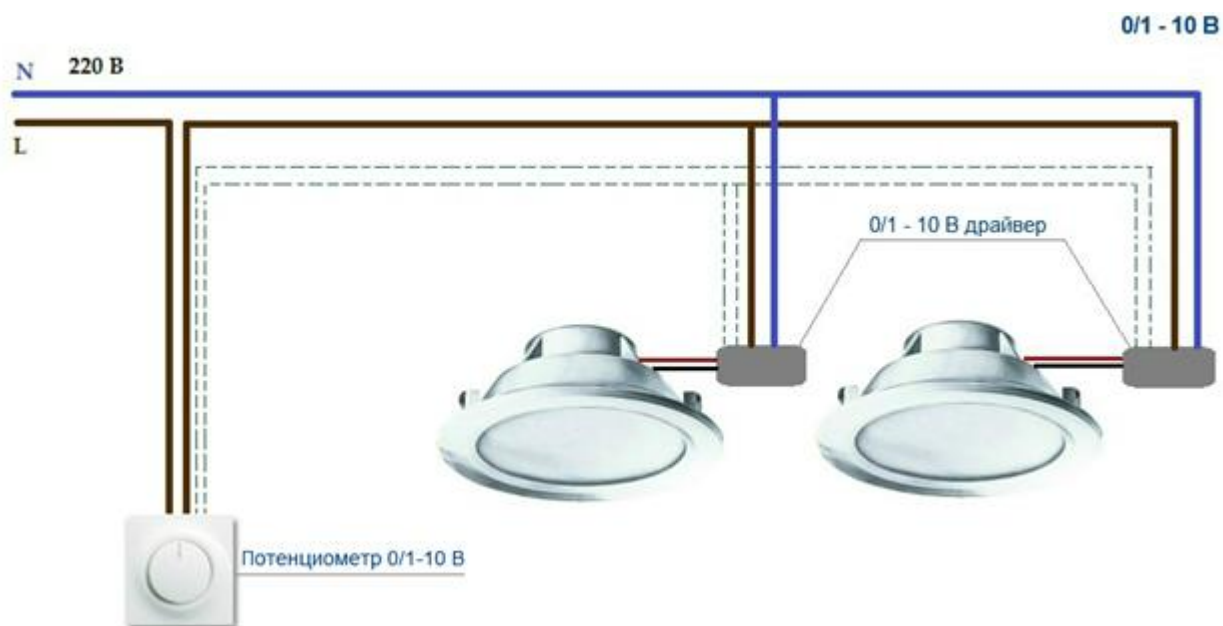


Рисунок 4 – Управление осветительными приборами по протоколу 0-10 В.

Достоинством данного интерфейса является простота его выполнения и использования, а также стоимость. Для управления освещением требуется всего две линии: общий обратный провод и внешний управляющий сигнал.

Для управляющего провода, лучше использовать экранированный кабель во избежание помех от силового кабеля.

Главным недостатком аналогового управления является то, что для каждого регулируемого светильника требуется два кабеля, следовательно, при использовании этого интерфейса с большим количеством светильников требуется соответствующее количество линий и кабелей, что приводит к сильной дороговизне и неудобству эксплуатации линий, так как затруднена диагностика и устранение неполадок. Еще одним недостатком является нестабильность сигнала при передаче его на большие расстояния. При падении напряжения необходимо компенсировать потери со стороны принимающего устройства. Так как если светильник будет принимать более слабый сигнал по отношению к первоначальному, что приведет к более тусклому освещению или неравномерному освещению в системе с несколькими осветительными приборами. Также аналоговый сигнал подвержен внешним помехам и с увеличением расстояния на которое передается сигнал уменьшается помехозащищенность. Помехи отрицательно влияют на сигнал, поступающий по управляющему кабелю, что приводит к мерцанию светильников.

В совокупности всех вышеперечисленных достоинств и недостатков можно сделать вывод, что данный метод управления освещением можно применять для небольшого количества управляемых светильников. Для большого количества светильников метод регулирования не применим, так как он не обеспечивает необходимую стабильность и не позволяет иметь двухстороннюю связь. На смену ему пришли цифровые протоколы управления осветительной нагрузкой, которые позволяют раскрыть весь потенциал при автоматическом управлении освещением.

1.2.3 Управление освещением с помощью протокола DALI

Протокол управления осветительной нагрузкой DALI был разработан такими компаниями как: Helvar, Philips и Tridonic для смены аналогового интерфейса AVC 1-10 В. Изначально он применялся только для люминесцентных светильников с балластом. Затем стандарт был расширен и у него появилась возможность управления светодиодными светильниками. Данные изменения произошли в конце 2009 года. Очень важным моментом является то, что данный протокол открытый и его может использовать абсолютно любой производитель осветительных приборов. В протоколе DALI данные передаются по двум линиям, это изображено на рисунке 5.

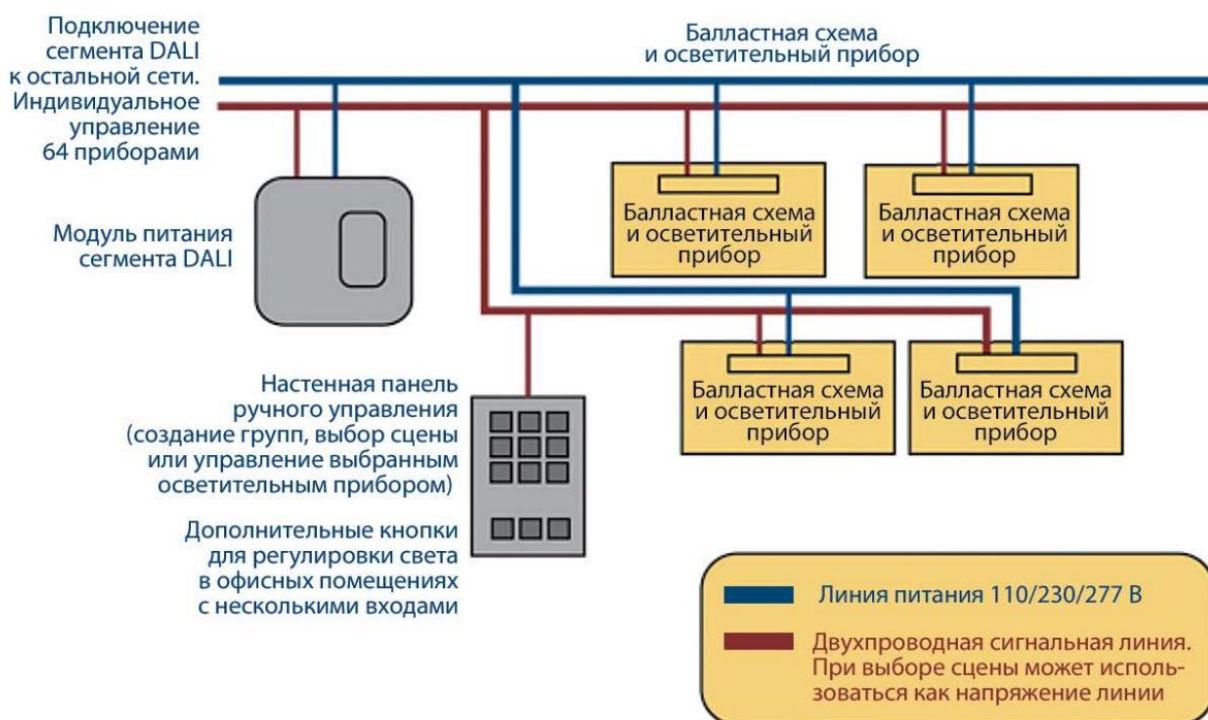


Рисунок 5 – Передача данных по сети управления DALI

Основной задачей протокола DALI является управление силовыми нагрузками и всем освещением в целом. Этот протокол может решать большое количество задач для светодиодных светильников. Также в него

входят различные диммеры, датчики присутствия, датчики освещенности и т.д.

Особенности DALI:

- данные передаются по общей для всех устройств шине;
- передача данных осуществляется в две стороны;
- для передачи данных используются два провода, их экранирование не обязательно;
- допускается размещение проводов в одном кабеле с питанием ~220 В, т.е. фаза, ноль, земля и два провода шины DALI;
- не требуется соблюдение полярности при подключении шины;
- DALI – не высокоскоростная сеть;
- допускается любая топология, в отличие от протокола DMX, в котором допускается только соединения типа «луч»;
- DALI предусматривает защиту от подключения питания к шине управления.

К шине DALI подключаются управляющие и исполняющие устройства, схема подключения изображена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Схема подключения устройств DALI

К одной шине управления можно подключить максимально 64 исполняющих устройства. Каждое устройство имеет свой уникальный адрес, для определения в сети DALI. Адрес может задаваться вручную, либо же автоматически специальным мастер-контроллером при программировании всей системы [13].

Количество уникальных адресов может достигать до 12800, за счет объединения до 200 линий DALI при помощи специальных роутеров системы DALI.

Нужно учесть, что к одной шине управления можно подключить неограниченное количество управляющих устройств. Например, выключатели, диммеры, панели управления и различные датчики. При этом обязательно нужно учесть, что некоторые управляющие устройства питаются напрямую от шины DALI, обычно этот ток составляет 2-4 мА. Также в системе DALI отсутствует центральный контроллер, что является ее отличительной чертой от системы DMX.

Обязательным условием питания системы DALI является постоянное напряжение номиналом от 16 до 18 В. Данный диапазон напряжения обеспечивает блок питания, который подключен к шине. Важным условием является, что на одной шине – один блок питания. Некоторые модели мастер-контроллеров имеют возможность самостоятельно обеспечивать постоянное напряжение нужного диапазона в шине. Согласно стандарту, ток в шине не должен превышать 250 мА [20].

От величины поперечного сечения кабеля зависит дальность передачи данных. Для лучшего визуального восприятия занесем данные сечения кабеля и дистанции передачи сигнала в таблицу 2.

Таблица 2 – Зависимость дальности передачи сигнала от сечения кабеля

Сечение медного кабеля, мм ²	Дальность передачи сигнала, м
0,5 мм ²	До 100 м
0,75 мм ²	От 100 до 150 м
1,5 мм ²	От 150 до 300 м

При этом, согласно стандарту протокола, максимальная потеря сигнала должна быть не более 2 В при токе в 250 мА. Это нужно обязательно учитывать при выборе кабельной продукции [44].

Каждое устройство имеет 16 предустановок с заданной в каждой различным сценарием управления. Информация о различных сценах (предустановках) записывается в них при программировании системы.

Каждое устройство обладает энергонезависимой памятью, в которой хранятся всевозможные настройки. Настройки включают в себя [19]:

- адрес устройства (от 0 до 63);
- привязка к группам (от 0 до 15), устройство может быть привязано ко всем 16 группам;
- сцены (от 0 до 15), в устройство может быть внесено все 16 сцен;
- уровень яркости освещения после подачи питания (от 0 до 254);
- ограничение минимального и максимального уровня яркости при изменении яркости освещения (от 0 до 254);
- уровень яркости освещения при прерывании линии управления, например, при аварийном освещении (от 0 до 254);
- скорость изменения яркости.

Управляющие устройства DALI делятся на 3 группы:

- управляющие по адресам;
- управляющие группами;
- управляющие сценами.

Некоторые устройства универсальны и могут выполнять функции всех 3 групп. Схема подключения элементов в системе DALI изображена на рисунке 7

Протокол DALI предусматривает такие команды, чтобы была возможность опрашивать статус устройств. В ответ устройство может передать такие данные как: состояние устройства; текущий уровень яркости; исправность подключенного элемента освещения; тип устройства и т.д

При монтаже электрической проводки используются кабели с 4 или 5 жилами, две из которых использует линия DALI (CCW, KIT) [35],[38]. Кабель используемый для монтажа системы DALI изображен на рисунке 8.

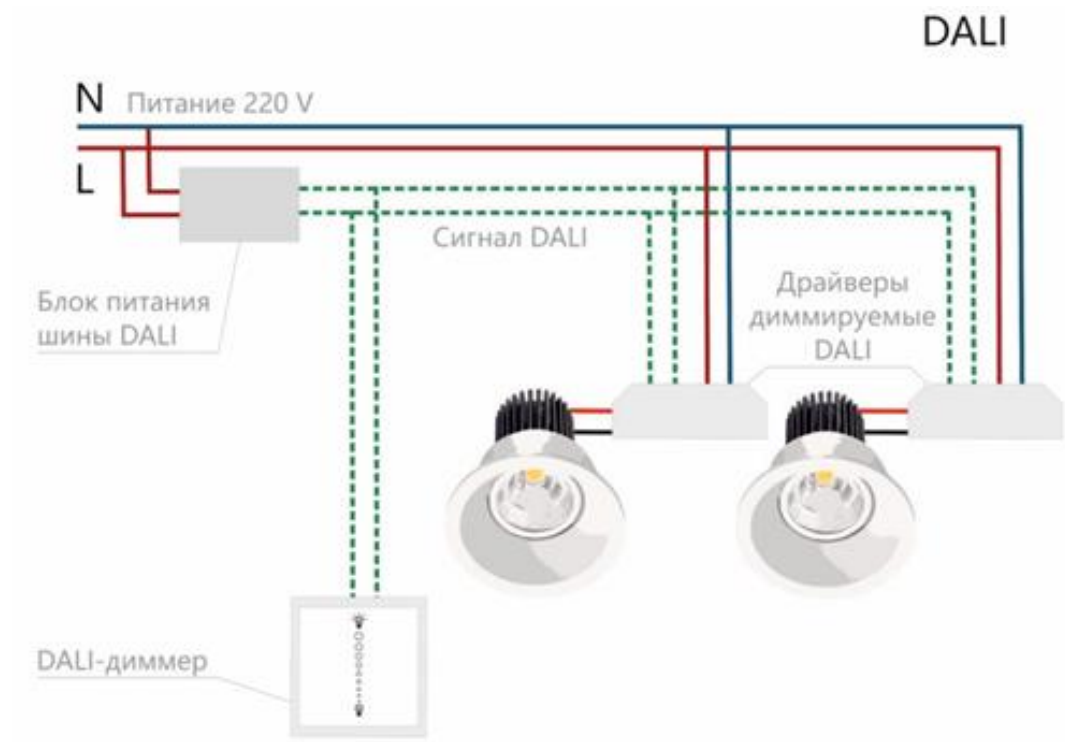


Рисунок 7 – Пример схемы подключения устройств к системе DALI

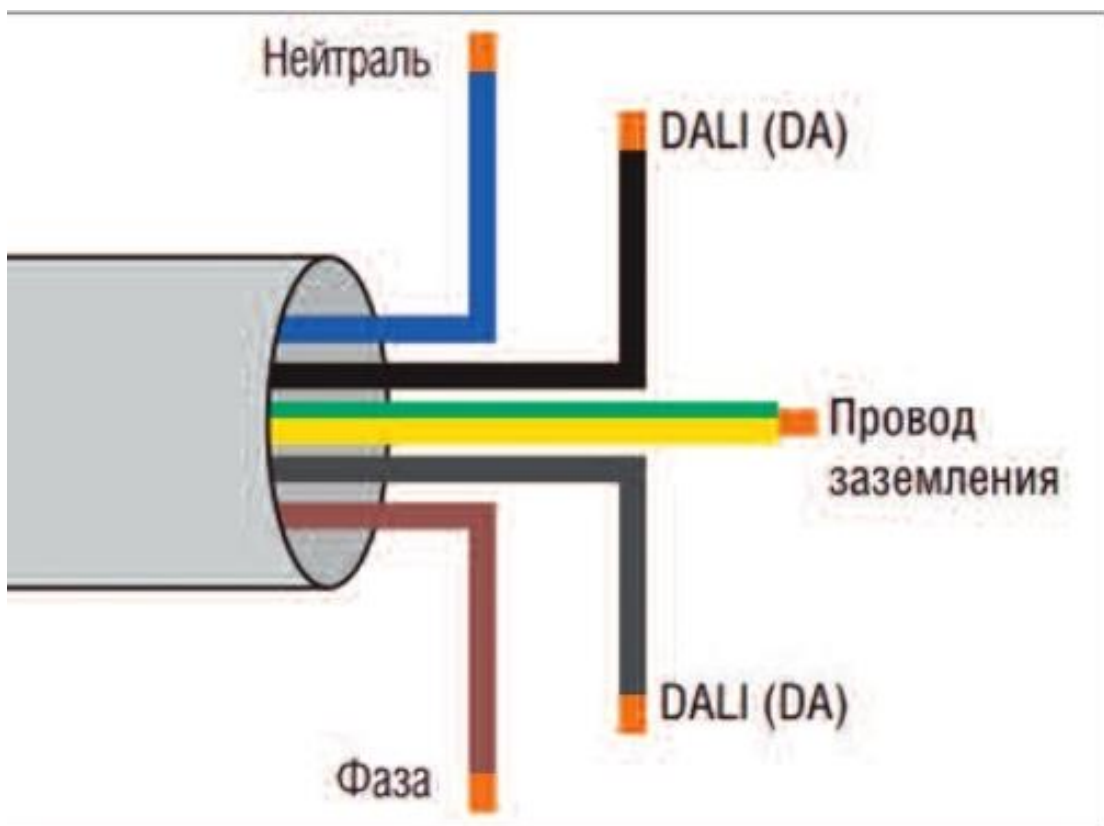


Рисунок 8 – Обозначение жил кабеля для системы DALI

Достоинствами системы DALI являются [20]:

- доступность системы;
- высокая надежность;
- отличная гибкость в управлении отдельными устройствами, группами, шинами.
- легко интегрируется в иные автоматизированные системы здания;
- не нужно соблюдать полярность при подключении, что сильно облегчает монтаж;
- отсутствие центрального контроллера;
- кабели не нуждаются в экранировании;
- двусторонний обмен данными между контроллерами и лампами позволяет проводить мониторинг системы в режиме on-line;
- возможность использования в помещениях различной площади.
- сильные шумы не оказывают на систему негативного влияния.

Единственным существенным недостатком системы DALI является высокая цена контроллеров, но все вышеперечисленные достоинства с легкостью перекрывают данный недостаток. К тому же система DALI набирает все большую популярность у различных компаний производителей за счёт открытого протокола, что в дальнейшем принесет снижение в стоимости за счёт больших объемов и конкуренции на рынке.

1.2.4 Управление освещением с помощью протокола DMX-512

Рассматриваемый стандарт был разработан комитетом USITT в 1986 году для цифровых сетей передачи данных. Преимущественно разработка велась для управления светодиодными светильниками. Для управления в данном протоколе используется дифференциальный сигнал EIA-485, более известный как RS-485 и пакетная передача данных. Отрицательным моментом является то, что обмен данными возможен только в одном направлении, а также отсутствует проверка и исправление ошибок.

Данный стандарт позволяет производить управление по одной линии связи сразу 512 каналами, но нужно учесть, что это не 512 различных

приборов, зачастую один прибор может использовать несколько десятков каналов. Стандартом не рекомендуется подключать к одной линии более 32 приборов.

Передача данных у контроллера DMX-512 асинхронная и происходит со скоростью 250кБод. По всем 512 каналам данные передаются примерно за 23 мс, это соответствует частоте 44 Гц. Для передачи данных с большей частотой пересылка осуществляется по меньшему числу каналов [22].

Протокол DMX-512 очень распространен, за счет нескольких причин, таких как:

- простота исполнения;
- высокая надежность;
- интерфейс RS-485
- существует возможность управлять несколькими группами светильников по трем проводам;
- низкая стоимость приборов;
- интерфейс управления изолирован от светильника, следовательно, защищен.

Стандарт EIA485 может работать только с системой, в которой все светильники соединены последовательно. Как было сказано ранее, в одной линии может быть не более 32 устройств, общая длина соединительного кабеля может достигать 1 км, но на практике лучше стоит ограничить эту длину до 500 метров или использовать повторители (усилители сигнала). Для сетей большой протяженностью очень важным является качество кабельной продукции. Сопротивление кабеля должно обеспечивать получение не менее 0,2 В на терминирующем резисторе 120 Ом на удаленном конце линии при напряжении 2 В на передающем устройстве. Сечение кабеля должно составлять не менее 0,22 мм² [40]. На рисунке 9 приведен пример подключения с интерфейсом DMX-512.

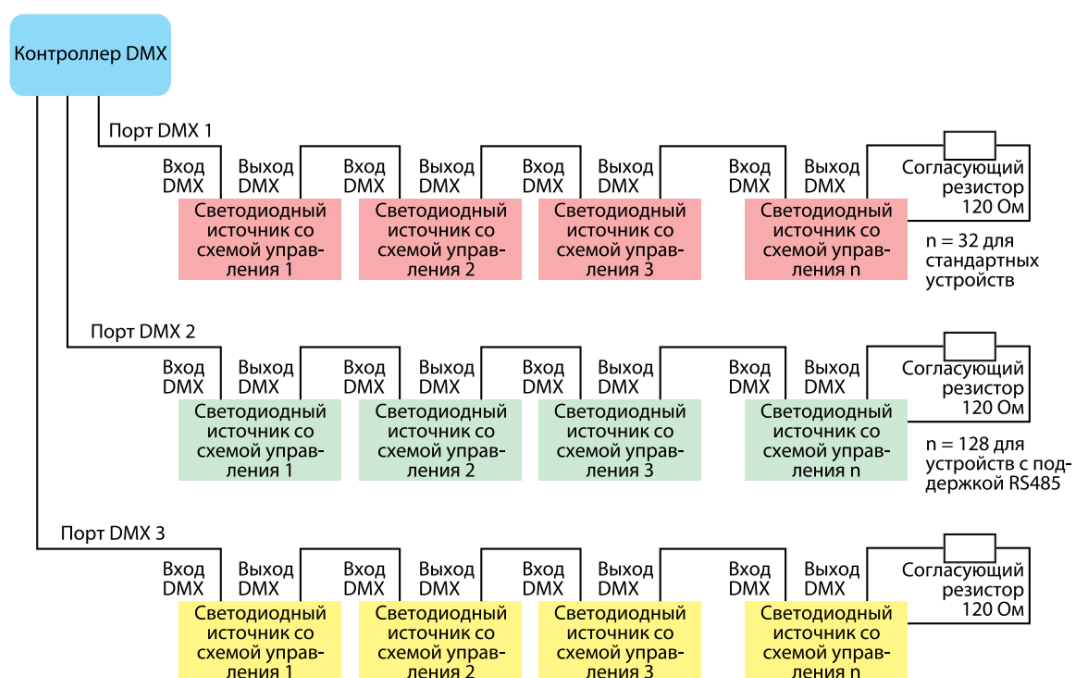


Рисунок 9 – Схема подключения осветительных устройств к интерфейсу DMX-512

Единственный недостаток, которым обладает протокол DMX-512 это отсутствие двусторонней передачи данных. Следовательно, невозможно производить мониторинг осветительных приборов и отслеживать вышедшие из строя элементы.

1.2.5 Управление освещением с помощью протокола RDM

Протокол RDM является модернизированным протоколом DMX-512. Этот протокол был создан компанией ESTA в рамках программы по разработке технических стандартов. Главным отличием от DMX является наличие двустороннего опроса, это значит, что данный протокол позволяет получать различные данные от источника света, например, потребляемый ток, время работы, напряжение в сети, индекс цветопередачи, рабочую температуру и множество других параметров. Также с помощью данного протокола возможно конфигурирование, управление RDM-устройствами и мониторинг статуса в режиме реального времени. Отличительной чертой является то, что все это возможно осуществлять, не мешая основной работе DMX-устройств [43].

Сильной стороной протокола RDM заключается в том, что он обратно совместим с DMX-512 и позволяет использовать уже существующую инфраструктуру.

Преимуществами системы RDM являются:

- возможность обновлять программное обеспечение через интерфейс RS485;
- есть возможность устанавливать базовый адрес светильника, следовательно, избавляет от необходимости присваивать адреса вручную;
- возможность создать систему с поддержкой протокола Ethernet;
- возможность управлять отдельными устройствами или группой;
- есть возможность управлять сразу всеми устройствами находящимися в одной сети;
- присутствует передача статусных сообщений от одного или нескольких устройств, например, о том, что произошел сбой;
- автоматическое затемнение всех светильников при выборе соответствующей сцены;
- есть функция автоматического распознавания всех осветительных установок;
- возможность установки скорости угасания;

Но при всех достоинствах данного протокола RDM, существуют существенные недостатки, из-за которых протокол не получил широкого распространения. Этими недостатками являются:

- очень маленькое количество светодиодных драйверов, которые поддерживают данный протокол;
- высокая стоимость электронных схем;
- не хватает контроллеров, которые способны использовать дополнительную мощность RDM-устройств, отсюда вытекает высокая цена.

Так как этот стандарт все-таки является достаточно хорошим решением в управлении светотехническими устройствами, компании ведут работу над устранением вышеперечисленных недостатков, поэтому в перспективном будущем стандарт может стать одним из основных.

1.2.6 Управление освещением с помощью IP-системы

Большинство всех современных устройств имеют возможность обмениваться различными данными через сеть интернета. Теперь данная технология постепенно начинает использоваться и в системах освещения.

В настоящее время разрабатывается сетевой протокол ACN (Architecture for Control Networks). Он будет служить для управления осветительными приборами по IP-сети. Связь будет осуществляться по недорогим стандартным линиям Ethernet или даже по Wi-Fi. Протокол же является надстройкой UDP/IP.

Каждое устройство имеет свой уникальный номер, по которому специальный контроллер определяет подключенные устройства. К тому же к каждому подключенному устройству прилагается файл с описанием всех функций и возможностей осветительного устройства. Благодаря этому контроллер заранее имеет возможность управлять светильниками, которые появятся в ближайшем и далеком будущем. Сетевой протокол ACN является двунаправленным [42]. Пример системы с IP-системой управления приведен на рисунке 10.

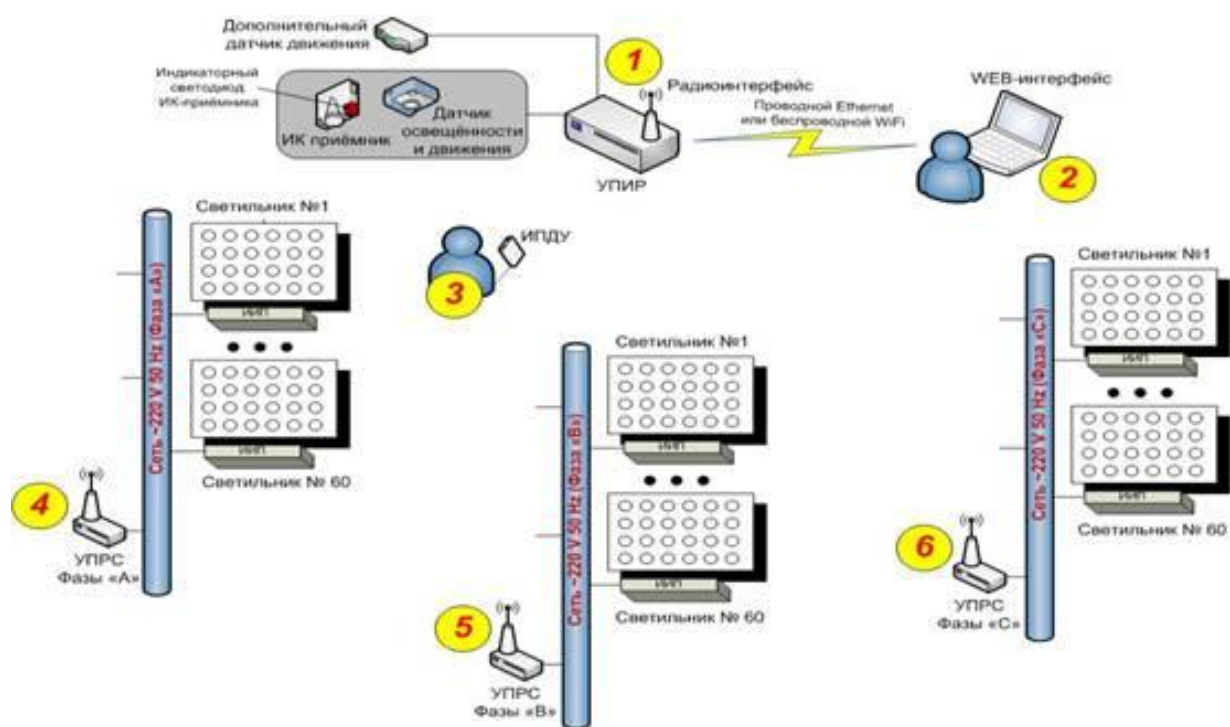


Рисунок 10 – Схема управления при помощи IP-системы

Рассмотрим достоинства использования IP-системы:

- высокая скорость передачи;
- устойчивость к появлению ошибок;
- низкая стоимость инфраструктуры;
- простота конфигурирования;
- имеет совместимость с Ethernet-протоколами, что позволяет управлять осветительной нагрузкой удаленно;
- очень большая масштабируемость, имеет возможность практически бесконечного количества сетей.

Конечно же данная система также имеет свои недостатки:

- возможны хакерские атаки на систему управления освещением, что может повлечь за собой не только полную потерю освещения, но и привести к различным травмам, особенно в темное время суток;
- перебои в работе в сети Ethernet, следовательно, отсутствие работы системы на период устранения неполадок.

1.2.7 Управление освещением с помощью протокола KNX

Протокол KNX был разработан на трех стандартах: EIB (European Installation Bus), EHS (European Home Systems) и BatiBUS. Система KNX не имеет центрального контроллера, то есть она децентрализована.

Метод передачи данных с учетом приоритетов (CSMA/CA) обеспечивает должным образом бесконфликтный обмен данными без потери скорости передачи со всем оборудованием KNX. Отличительной чертой протокола KNX является совместимость с различными продуктами разных производителей, которые поддерживают протокол KNX за счёт единой программы ETS (Engineering Tool Software) [34].

Обмен информацией происходит по специализированной шине или простой витой паре. Одной шиной объединяются все устройства системы. Система является двунаправленной, что является большим достоинством. В протоколе KNX любое устройство имеет свой уникальный адрес, поэтому они могут объединяться в различные группы в независимости от месторасположения. Также существуют другие способы передачи информации (не по шине) такие как: передача сигналов по силовой сети; радиоканал; сеть Ethernet. Однако они все же редко встречаются в проектах.

Расположение шин может иметь множество вариантов. Разрешается использование не только линейных шин, но и вида «дерева» и «звезда». Также следует уделить особое внимание защите от перенапряжений в сети. Пример такой топологии приведен на рисунке 11 [34].

Schematic representation of the KNX bus

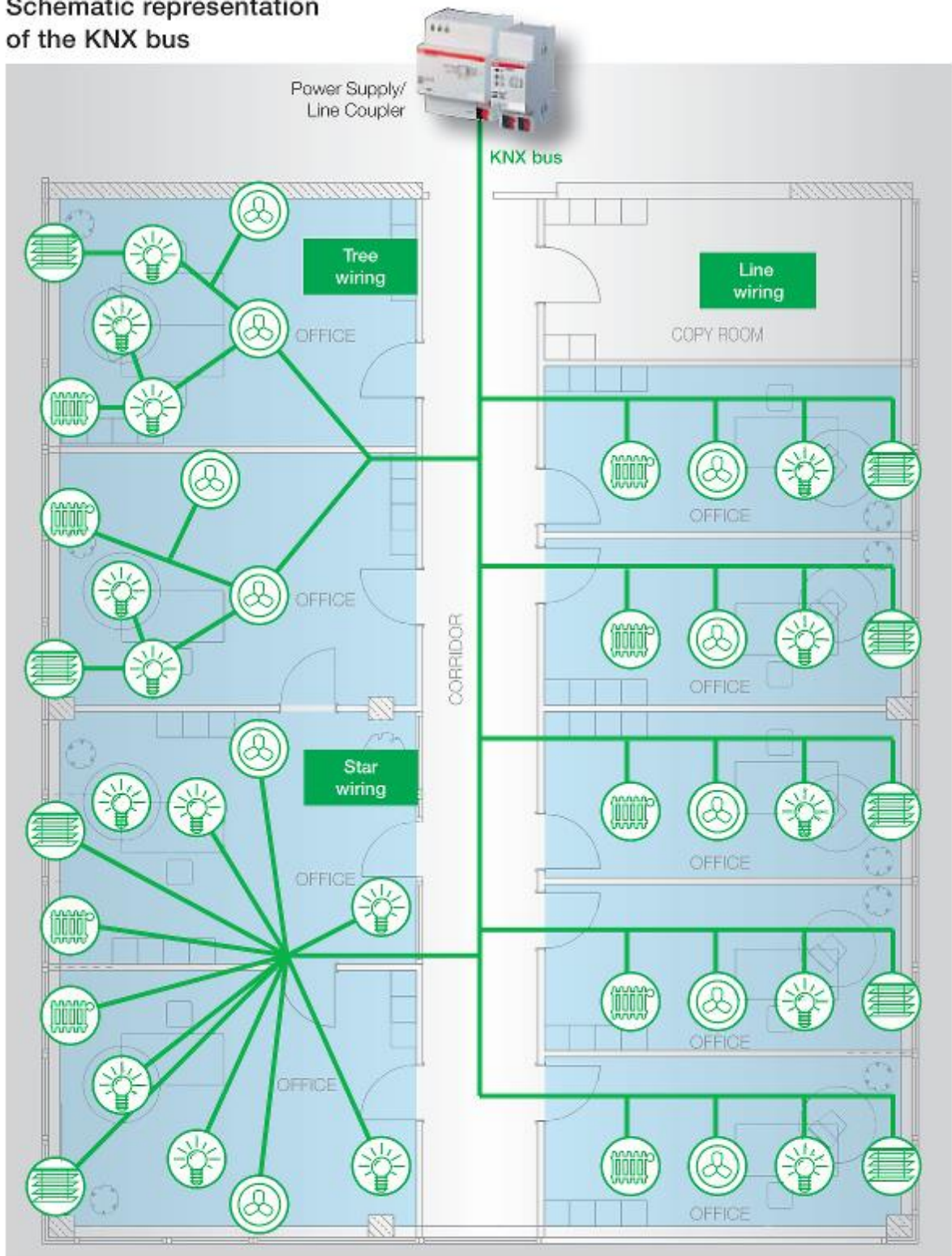


Рисунок 11 – Топология сети с применением протокола KNX

Для шины передачи данных рекомендуется использовать кабель $2 \times 2 \times 0,8$, но при этом для работы KNX достаточно даже одной пары линии

данных. Вторая же пара используется для резерва или для подачи дополнительного питания. Кабель для системы KNX изображен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Кабель для использования линии KNX

Приведем общие характеристики для шины:

- максимальная длина кабеля в одном сегменте – 1000 м;
- максимальное расстояние от блока питания до прибора (устройства) составляет 350 метров;
- между двумя устройствами не должно быть более 700 метров;
- минимальное напряжение на устройствах – 21 В.

При помощи специального соединительного оборудования происходит объединение сегментов и линий. Это оборудование выполняет роль маршрутизаторов, мостов, повторителей. Обычно все это может выполняться одним устройством.

Данные по протоколу KNX передаются за счет обмена пакетами. Скорость передачи составляет 1200 байт/с. В пакете данных обязательно указываются адреса приемника и передатчика, контрольная сумма и сами данные. Объем этих данных не должен превышать 23 байт, при этом время передачи составляет от 20 мс до 40 мс. Отзывчивость зависит от загруженности шины и числа устройств в ней. Также предусмотрена специальная система подтверждения доставки и в случае если данные не были доставлены, то они отсылаются вновь [41].

Все оборудование должно иметь внутреннюю энергонезависимую память, это обязательное условие создано для того, чтобы при отключении системы не приходилось ее заново перепрограммировать.

В настоящее время известные во всем мире производители такие как ABB и Schneider Electric и др. имеют в своих каталогах огромное количество разнообразных KNX устройств: диммеры, выключатели, управление климатом, различные датчики и т.д. При таком огромном разнообразии все модели могут монтироваться на DIN-рейку или же в стандартные распределительные коробки. Пример каталога производителя ABB изображен на рисунке 13.

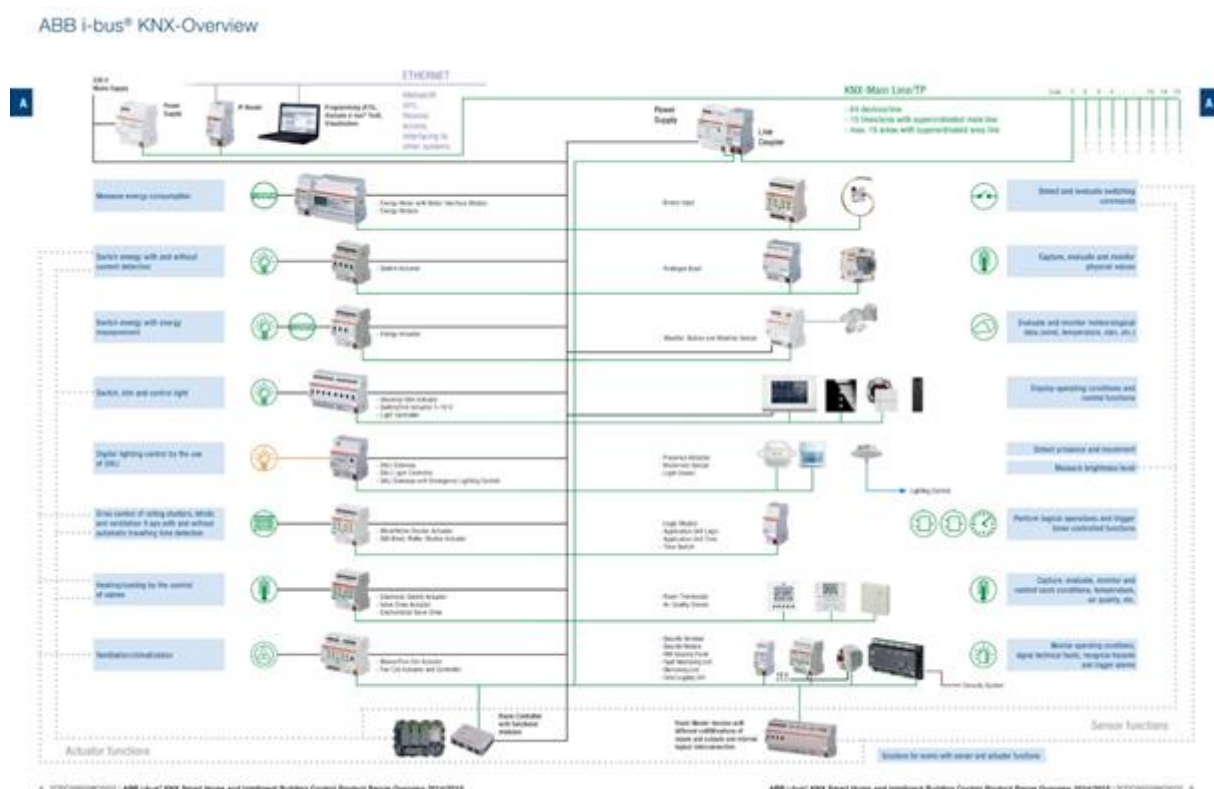


Рисунок 13 – Одна из страниц каталога ABB KNX-устройств

Все устройства KNX обязательно проходят сертификацию. Для программирования используется программа ETS, файл конфигурации обычно скачивается с официального сайта производителя.

Как было сказано ранее передача данных может осуществляться несколькими путями, перечислим их и приведем скорость передачи:

- витая пара, скорость передачи 9600 бит/с;
- электросеть, скорость передачи 1200 бит/сек;
- радиоканал, скорость передачи 16,384 кбит/с, 868 МГц;
- линии Ethernet.

KNX стандарт популярен в первую очередь за счёт своей надежности и простоты. В системе KNX силовая проводка прокладывается лишь между потребителями и исполнительными устройствами, а все датчики объединяются только сигнальными кабелями. Это сильно уменьшает расход силового кабель, количество соединений, а также потери в сети, в отличие от традиционной системы управления инженерным оборудованием. Все это повышает надежность системы и снижает вероятность возникновения пожара.

Также протокол KNX не зависит от какой-либо аппаратной платформы. Различают три категории настраиваемых устройств:

- тип А – автоматическая настройка. Это оборудование не нужно настраивать вручную, и оно нацелено на конечного пользователя;
- тип Е – устройства с легкой настройкой. Обладают небольшим количеством параметров, которые пользователь сам вправе поменять в соответствии с его пожеланиями;
- тип S – системные устройства. Обладают большим количеством параметров, которые можно запрограммировать только при помощи специалиста. Зачастую используется при создании заказных систем управлением здания.

Если резюмировать все вышеперечисленное можно выделить основные достоинства: двунаправленная передача данных; большое количество различной продукции; широкий функционал; может быть легко модернизирована. Также из недостатков стоит выделить: стоимость оборудования; для создания сложной системы и программирования

устройств потребуется помощь специалиста. Большим недостатком является отсутствие протоколов безопасности.

1.2.8 Выбор системы автоматического управления освещением для общеобразовательной школы №21 и ее обоснование

По изученной информации о вышеперечисленных протоколах, сопоставив все достоинства и недостатки, а также приняв во внимание некоторые тонкости к дальнейшему рассмотрению принимается автоматическая система управления освещением основанная на интерфейсе DALI (Digitally Addressable Lighting Interface).

Протокол DALI может решать большое количество задач для светодиодных светильников, так как к установке в общеобразовательной школе №21 рассматриваются именно светодиодные светильники, то этот протокол подходит по нескольким причинам:

- высокая конкуренция на рынке благодаря открытости протокола, следовательно, можно найти большое количество производителей и по низким ценам;
- наличие двунаправленной передачи данных;
- простота в монтаже, не нужно соблюдать полярность;
- возможность использовать один 4-ех или 5-и жильный кабель, совместно с фазой, нулем и землей. Не требует экранирования;
- можно создавать любую топологию сети, в отличие от других протоколов;
- простота устройств, некоторые приборы могут работать сразу «из коробки».

Логотип DALI могут использовать только ее члены рабочей группы. Логотип может быть использован на своей продукции, на печатных платах и электронных компонентах. Если на устройстве изображен логотип DALI, это значит, что продукт соответствует всем стандартам, а также полностью совместим с оборудованием других производителей, которые входят в рабочую группу DALI-AG. Логотип изображен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Логотип DALI

Так как производителей, поддерживающих DALI, большое количество, то к рассмотрению определённых производителей приступим на этапе подробных расчётов, с учётом того, что можно использовать устройства различных производителей, ведь протокол DALI предоставляет такую возможность. Предварительно можно выделить таких производителей как: Panasonic, OSRAM, Siemens, BEG Brück Electronic, ABB, SAMSUNG Electronics, Schneider Electric, Toshiba, Varton, Steinell, Lighting Technologies и т.д [39].

Выводы по разделу

Рассмотрены нормы и требования, которые применяются при проектировании системы освещения. Рассмотрено аварийное освещение в общеобразовательных учреждениях. Рассмотрены нормативно – технические документы СНиП 2.08.02-89; СанПиН 2.4.2.2821-10; СП 52.13330.2016; СП 256.1325800.2016, ГОСТ Р 54350 – 2015. Проанализированы различные протоколы управления автоматической системой освещения, такие как: DALI, KNX, RDM, DMX-512, IP-системы и аналоговое управление. Приведен список различных производителей устройств, которые в дальнейшем будут рассматриваться при проектировании системы интеллектуального управления освещением в общеобразовательном учреждении. На основе проанализированной информации по различным протоколам управления, приняв во внимание необходимые функции,

которые нужно реализовать в проекте к дальнейшему рассмотрению выбран протокол DALI.

2 Выбор оборудования для автоматизированной системы управления освещением в общеобразовательном учреждении

Общеобразовательное учреждение – место в котором осуществляется образовательный процесс по одному или нескольким образовательным программам, а также обеспечивающее содержание и воспитание обучающихся.

В здании школы располагается большое количество различных классов и кабинетов различной площади, поэтому для удобства сведём в таблицы 3-6 данные в виде наименования, площади помещения, высоте потолков по помещениям на каждом этаже, а также результаты расчётов.

В техническом подполье (подвале) в соответствии с СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» освещение должно устанавливаться только по линии основных проходов [31]. Освещённость должна быть не менее 20 люкс, за рабочую поверхность берется пол, т.е. 0,0 м.

К установке в техническое подполье принимаем светодиодные светильники LLT ССП-159. Их особенность в том, что они обладают высокой степенью пыле- и влагозащитой IP65. Мощность светильника 36 Вт, световой поток 2900 Лм, напряжение питания от 160 В до 260 В. Предельная температура от -40 С° до +50 С° [25].

Таблица 3 – Данные помещений на техническом этаже в здании школы №21

Наименование	Площадь помещения, м ²	Высота потолков, м	Нормируемая освещенность E_n , лк	Модель светильника	Кол-во свет., шт	Номинал авт. выкл., А
Техническое подполье	255	1,7	20	LLT ССП-159	4	2(ЩО)
Техническое подполье	52,1				1	
Техническое подполье	53,3				1	
Техническое подполье	81,2				1	
Техническое подполье	56,5				1	2(ЩО)
Техническое подполье	267,7				4	
Техническое подполье	103,3				2	
Техническое подполье	475,8				8	2(ЩО)
Техническое подполье	251,8				4	3(ЩО)
Техническое подполье	290,9				4	
Техническое подполье	291,2				4	
Вентиляционная камера	2,1				1	
Вентиляционная камера	18,8				1	
Общая площадь	2199,7 м ²				Всего светильников	

36

Таблица 4 – Данные помещений на 1 этаже в здании школы №21

Наименование	Номер кабинета	Площадь, м ²	Высота, м	E_n , лк	Модель светильника	Кол-во свет., шт	Номинал авт. выкл., А
Учебный класс музыки	17	55,3	3	500	V1-E0-00070-01PRD-4003040	12	2 (4ЩО)
Учебный класс технологии для девочек	16	53,1	3	500		12	3 (4ЩО)
Учебный класс технологии для девочек	16а	16,8	3	500		4	
Библиотека	15	74,1	3	500		12	2 (4ЩО)
Кладовая	15а	13,2	3	50		1	
Учебный класс	13а	63,4	3	500		12	2 (4ЩО)

Продолжение таблицы 4

Наименование	Номер кабинета	Площадь, м ²	Высота, м	E _н , лк	Модель светильника	Кол-во свет., шт	Номинал авт. выкл., А
Компьютерный класс	13	65,6	3	500	V1-E0-00070-01PRD-4003040	12	2 (4ЩО)
Столярная	Тех.каб.	18,1	3	300		3	1 (4ЩО)
Столярная кладовая	Тех.каб	17,2	3	50		1	
Коридор	-	62,7	3	150		6	1 (4ЩО)
Тамбур запасного входа	-	1,9	3	150		1	4 (4ЩО)
Коридор	-	178,5	3	150		16	
Гардероб	-	103,3	3	150		8	
Тренажерный зал	9	56,8	3	200	V1-E0-00024-01PRD-4003040	6	1 (4ЩО)
Кабинет	8	17,5	3	300	V1-E0-00070-01PRD-4003040	3	0,5 (4ЩО)
Кабинет	7	17,7	3	300		3	0,5 (4ЩО)
Малый спортивный зал	6	73,1	3	200	V1-E0-00024-01PRD-4003040	8	2 (4ЩО)
Коридор	-	17,7	3	150	V1-E0-00070-01PRD-4003040	2	0,5 (1ЩО)
Тамбур главного входа	-	7,5	3	150		1	
Мужской туалет в детской рекреации	С/У	5,6	3	75		1	0,5 (1ЩО)
Умывальник в мужском туалете	-	4,2	3	75		1	
Подсобное помещение	-	6,2	3	50		1	
Коридор в детской рекреации	-	148	3	150		13	2 (1ЩО)
Женский туалет в детской рекреации	С/У	8,1	3	75		1	0,5 (1ЩО)
Умывальник в женском туалете	-	3,3	3	75		1	
Кабинет начальных класов	5	55,9	3	500		12	2 (1ЩО)
Кабинет начальных класов	4	53,1	3	500		12	2 (1ЩО)
Кабинет начальных класов	3	54,2	3	500		12	2 (1ЩО)
Кабинет начальных класов	2	55,8	3	500		12	2 (1ЩО)
Кабинет начальных класов	1	55,4	3	500		12	2 (1ЩО)

Продолжение таблицы 4

Кладовая 1 кабинета	-	4,3	3	50	V1-E0-00070-01PRD-4003040	1	
Коридор	-	43,6	3	150		4	1 (7ЩО)
Электрощитовая	-	6,8	3	150		1	0,5 (7ЩО)
Кабинет секретаря	-	12,8	3	300		3	0,5 (7ЩО)
Кабинет директора	-	19,1	3	300		4	1 (7ЩО)
Медицинский кабинет	-	10,2	3	300		2	1 (7ЩО)
Медицинский кабинет	-	9,3	3	300		2	
Коридор	-	40,9	3	150		6	1 (7ЩО)
Туалет в женской раздевалке	C/Y	1,5	3	75		1	0,5 (7ЩО)
Душевая в женской раздевалке	-	2,5	3	75		1	
Женская раздевалка	-	19,3	3	75		1	
Мужская раздевалка	-	12,9	3	75		1	0,5 (7ЩО)
Душевая в мужской раздевалке	-	2,5	3	75		1	
Туалет в мужской раздевалке	C/Y	1,5	3	75		1	
Кабинет преподавателей физкультуры	-	14	3	300		3	1 (7ЩО)
Кладовая для спортивного снаряжения	-	3,9	3	50	1		
Большой спортивный зал	-	291,8	6	200	V1-E0-00024-01PRD-4003040	36	6 (7ЩО)
Раздевалка	-	4,9	3	75	V1-E0-00070-01PRD-4003040	1	1 (7ЩО)
Душевая	-	1,2	3	75		1	
Туалет	-	1,5	3	75		1	
Тамбур входа в столовую	-	1,8	3	150		1	
Коридор	-	7,9	3	150		2	
Кладовая столовой	-	8,3	3	50		1	
Холодильная установка	-	6,8	3	75		1	
Моечная	-	27,1	3	300		4	1 (7ЩО)
Кухня	-	60	3	300		9	2 (7ЩО)

Продолжение таблицы 4

Обеденный зал	-	231,2	3	300	V1-E0-00070-01PRD-4003040	24	4 (7ЩО)
Общая площадь 1-го этажа	2210,9 м ²			Всего светильников		315	-

Таблица 5 – Данные помещений на 2 этаже в здании школы №21

Наименование	Номер кабинета	Площадь, м ²	Н, м	E _н , лк	Модель светильника	Кол-во свет., шт	Номинал авт. выкл., А
Кабинет учителя химии	34а	21,9	3	300	V1-E0-00070-01PRD-4003040	4	1 (5ЩО)
Кабинет химии	34	69,3	3	500		15	3 (5ЩО)
Учебный кабинет	35	54	3	500		12	2 (5ЩО)
Учебный кабинет	36	18	3	500		4	1 (5ЩО)
Учебный кабинет	37	36,9	3	500		9	2 (5ЩО)
Учебный кабинет	32	75,3	3	500		15	3 (5ЩО)
Кабинет	31	18,1	3	300		4	1 (5ЩО)
Кабинет иностранных языков	30	17,4	3	500		4	1 (5ЩО)
Умывальник в мужском туалете	-	3,3	3	75		1	0,5 (5ЩО)
Мужской туалет	С/У	11,9	3	75		1	
Кладовая уборщиц	-	1,3	3	50		1	
Умывальник в женском туалете	-	3,4	3	75		1	0,5 (5ЩО)
Женский туалет	С/У	12,1	3	75		1	
Кладовая уборщиц	-	1,5	3	75		1	
Коридор	-	91,5	3	150		7	2 (5ЩО)
Коридор	-	17,6	3	150		3	
Коридор	-	138,5	3	150		10	2 (5ЩО)
Кабинет информатики	38	54,1	3	400		12	2 (5ЩО)
Учебный кабинет	39	54,4	3	500		12	2 (5ЩО)

Продолжение таблицы 5

Наименование	Номер кабинета	Площадь, м ²	Н, м	Е _н , лк	Модель светильника	Кол-во свет., шт	Номинал авт. выкл., А
Учебный кабинет	40	56,8	3	500	V1-E0-00070-01PRD-4003040	12	2 (5ЩО)
Учебный кабинет	29	56,9	3	500		12	2 (2ЩО)
Учебный кабинет	28	53,7	3	500		12	2 (2ЩО)
Учительская	27	17,9	3	300		4	2 (2ЩО)
Учительская	26	35,4	3	300		6	
Коридор	-	17,6	3	150		3	0,5 (2ЩО)
Учебный кабинет	25	55,9	3	500		12	2 (2ЩО)
Учебный кабинет	24	53,2	3	500		12	2 (2ЩО)
Учебный кабинет	23	54,5	3	500		12	2 (2ЩО)
Учебный кабинет	22	55,7	3	500		12	2 (2ЩО)
Учебный кабинет	21	54,9	3	500		12	2 (2ЩО)
Кладовка 21 кабинета	-	4,5	3	50		1	
Умывальник в мужском туалете	-	3,2	3	75		1	0,5 (2ЩО)
Мужской туалет	С/У	8,2	3	75		1	
Коридор	-	148	3	150		13	2 (2ЩО)
Женский туалет	С/У	5,8	3	75		1	0,5 (2ЩО)
Умывальник в женском туалете	-	3,7	3	75		1	
Учительский туалет	С/У	1,4	3	75		1	1 (2ЩО)
Умывальник в учительском туалете	-	1,2	3	75		1	
Учительский туалет	С/У	1,5	3	75		1	
Умывальник в учительском туалете	-	1,4	3	75		1	
Коридор	-	31,9	3	150		3	0,5 (8ЩО)
Учебная аудитория (конференц.зал)	-	46,9	3	500		12	2 (8ЩО)
Актовый зал	-	245,3	6	200		24	4 (8ЩО)
Подсобная	-	8,1	6	50		1	1 (8ЩО)

Продолжение таблицы 5

Кинопроекторная	-	16	3	200	V1-E0-00070-01PRD-4003040	2	
Кинопроекторная	-	6,1	3	200		1	
Коридор	-	6,3	3	150		1	
Общая площадь 2-го этажа	1752,5 м ²			Всего светильников		292	-

Таблица 6 – Данные помещений на 3 этаже в здании школы №21

Наименование	Номер кабинета	Площадь, м ²	Н, м	E _н , лк	Модель светильника	Кол-во свет., шт	Номинал авт. выкл., А
Учебный кабинет	56	21,5	3	500	V1-E0-00070-01PRD-4003040	4	1 (6ЩО)
Учебный кабинет	57	70,3	3	500		15	3 (6ЩО)
Учебный кабинет	58	53,8	3	500		12	2 (6ЩО)
Кабинет	59	17,5	3	300		4	1 (6ЩО)
Учебный кабинет	60	37,1	3	500		9	2 (6ЩО)
Кабинет физики	55	75,1	3	500		15	3 (6ЩО)
Кабинет учителя физики	54	18	3	300		4	1 (6ЩО)
Кабинет иностранных языков	53	17,7	3	500		4	1 (6ЩО)
Мужской туалет	С/У	12	3	75		1	0,5 (6ЩО)
Умывальник в мужском туалете	-	3,3	3	75		1	
Кладовая уборщиц	-	1,6	3	50		1	
Умывальник в женском туалете	-	3,5	3	75		1	0,5 (6ЩО)
Женский туалет	С/У	12	3	75		1	
Кладовая уборщиц	-	1,5	3	50		1	2 (6ЩО)
Коридор	-	91,4	3	150		7	
Коридор	-	17,5	3	150		3	2 (6ЩО)
Учебный кабинет	61	54,1	3	500		12	

Продолжение таблицы 6

Учебный кабинет	62	53,9	3	500	V1-E0-00070-01PRD-4003040	12	2 (6ЩО)
Учебный кабинет	63	56,9	3	500		12	2 (6ЩО)
Коридор	-	139,1	3	150		10	2 (6ЩО)
Учебный кабинет	52	56,4	3	500		12	2 (3ЩО)
Учебный кабинет	51	54	3	500		12	2 (3ЩО)
Учебный кабинет	50	54,4	3	500		12	2 (3ЩО)
Коридор	-	17,5	3	150		3	0,5 (3ЩО)
Касса	-	15,7	3	300		4	1 (3ЩО)
Коридор	-	147,9	3	150		13	2 (3ЩО)
Учебный кабинет	49	56,1	3	500		12	2 (3ЩО)
Учебный кабинет	48	53	3	500		12	2 (3ЩО)
Учебный кабинет	47	54,9	3	500		12	2 (3ЩО)
Учебный кабинет	46	55,8	3	500		12	2 (3ЩО)
Компьютерный класс	45	55,2	3	500		12	2 (3ЩО)
Кладовая 45 кабинета	-	4,7	3	50		1	
Архив	-	11,7	3	50		1	0,5 (3ЩО)
Общая площадь 3-го этажа	1395,1 м ²			Всего светильников		247	

К установке предлагаются диммируемые светодиодные светильники, специально предназначенные для установки в учебных заведениях производства российской компании «VARTON». Производство светильников осуществляется на заводе, который располагается в городе Богородицк Тульской области.

Для различных помещений используются различные светильники, для удобства восприятия сведем модели устанавливаемых светильников в таблицу 7.

Таблица 7 – Модели светильников для различных помещений

Тип помещения	Модель светильника	Световой поток, лм	Мощность светильника, Вт
Учебные кабинеты, кабинеты преподавателей, учительские, столовая, коридоры, лестницы, подсобные, Санузлы,	VARTON V1-E0-00070-01PRD-4003040	3750	30
Светильник для школьной доски	VARTON V1-E0-00270-60000-4001839	2100	18
Большой спортивный зал, малый спортивный зал	VARTON V1-E0-00024-01PRD-4003040	3650	30

Для учебных заведений рекомендуется применение КСС типа Г и Д в соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [32]. Все выбранные светильники имеют кривую силы света (КСС) типа Д – косинусная.

Рассмотрим подробнее характеристики светильника VARTON V1-E0-00070-01PRD-4003040 [26], он изображен на рисунке 15. Кривая силы света изображена на рисунке 16.



Рисунок 15 – Светильник VARTON V1-E0-00070-01PRD-4003040

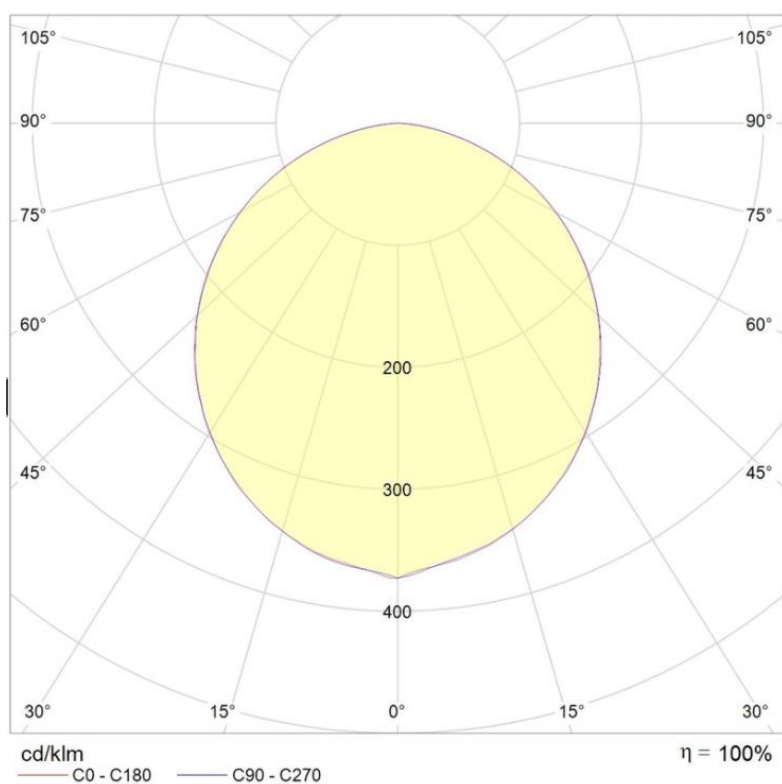


Рисунок 16 – КСС светильника VARTON V1-E0-00070-01PRD-4003040 и VARTON V1-E0-00024-01PRD-4003040

Далее рассмотрим светильник для спортивных залов модель VARTON V1-E0-00024-01PRD-4003040 [28], внешний вид изображен на рисунке 17. КСС

соответствует светильнику VARTON V1-E0-00070-01PRD-4003040, изображена на рисунке 16.



Рисунок 17 – Светильник VARTON V1-E0-00024-01PRD-4003040

Светильники, устанавливаемые над школьной доской модель VARTON V1-E0-00270-60000-4001839 имеют КСС типа Д и аналогична вышерассмотренным светильникам [27]. Внешний вид изображен на рисунке 18.



Рисунок 18 – Светильник VARTON V1-E0-00270-60000-4001839

Основные технические характеристики для вышперечисленных светильников производства компании «VARTON» специально

предназначенные для установки в образовательных учреждениях приведем в таблице 8.

Таблица 8 – Основные характеристики светильников VARTON V1-E0-00070-01PRD-4003040, VARTON V1-E0-00024-01PRD-4003040, VARTON V1-E0-00270-60000-4001839

Характеристика	Значение		
	V1-E0-00070-01PRD-4003040	V1-E0-00024-01PRD-4003040	V1-E0-00270-60000-4001839
Световой поток	3750 лм	3650	2100
Мощность светильника	30 Вт	30	18
Энергоэффективность	125 лм/Вт	122 лм/Вт	117 лм/Вт
Индекс цветопередачи	80-89 (класс 1B)	80-89 (класс 1B)	80-89 (класс 1B)
Цветовая температура	4000 К	4000 К	3950 К
Коэффициент мощности (cos φ)	0,95	0,95	0,95
Напряжение питания	От 176 до 264 В	От 176 до 264 В	От 176 до 264 В
Класс защиты от поражения током	I	I	I
Температурный режим	от + 1 до 40 С°	от + 1 до 40 С°	от + 1 до 40 С°
Коэффициент пульсации	< 1%	< 1%	< 1%
Степень защиты (IP)	IP40	IP40	IP40
Класс энергоэффективности	A+	A+	A+
Ударопрочность	IK02	IK02	IK02
Угол светового пучка	120	120	101

Аварийное освещение обеспечивается за счёт применения блоков аварийного питания (БАП), этот блок монтируется внутрь корпуса светильника. Он представляет из себя аккумуляторную батарею, выполненную из LiFePO4 и управляющий контроллер. Аккумулятор находится на постоянной подзарядке и в случае прерывания напряжения или аварийной ситуации питание светильника производится за счёт него. VARTON имеет в своем каталоге несколько таких БАП с различными характеристиками, все они соответствуют нормам безопасности. Выбран БАП VARTON V1-EM-00540-10A01-2000508, он изображен на рисунке 19 [5].



Рисунок 19 – БАП VARTON V1-EM-00540-10A01-2000508

Произведем расчёт необходимого количества осветительных устройств для каждого помещения методом коэффициента использования светового потока. Для примера рассчитаем учебный класс музыки (кабинет №17). Параметры помещения для расчёта приведены в таблице 9

Таблица 9 – Параметры кабинета музыки

Наименование	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь, м ²	Высота рабочей поверхности, м
Кабинет №17 «Музыка»	9,00	6,17	3,00	55,3	0,8

Необходимое количество светильников рассчитывается по формуле 1 [15]:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z}{\Phi_c \cdot \eta}, \quad (1)$$

где E_n – необходимая освещенность на горизонтальной поверхности, лк;

S – площадь рассчитываемого помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса, который зависит от загрязненности в рассчитываемом помещении, в данном случае равняется 1,4;

Φ_c – световой поток одного светильника, лм;

η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока зависит от двух составляющих:

– степени светоотражаемой поверхности стен, потолка и пола, измеряется в %;

– индекса помещения (i).

Индекс помещения находится по формуле 2 [15]:

$$i = \frac{S}{(H - h_p - h_c) \cdot (A + B)}, \quad (2)$$

где H – высота помещения, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м;

h_c – высота свеса светильника, м;

A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м.

Произведем расчёт индекса помещения, подставив значения в формулу 2 из таблицы 9:

$$i = \frac{55,3}{(3 - 0,8 - 0) \cdot (9 + 6,17)} = 1,65$$

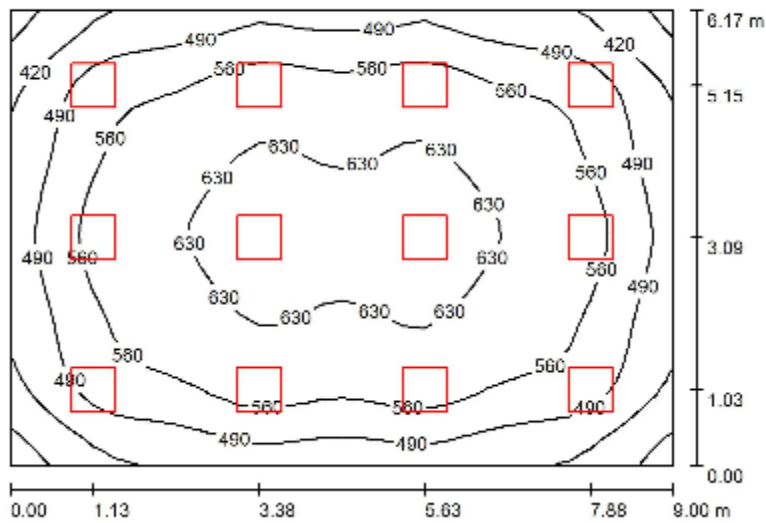
Следующим шагом необходимо найти коэффициенты отражения для потолка, стен и пола, в случае с помещениями, находящимися в учебном заведении равны соответственно 70 %, 50 %, 30 % [14].

Далее из справочных данных находим коэффициент использования светового потока для кабинета музыки, он составляет $\eta = 0,65$ [6].

Таким образом количество светильников для установки по формуле (1):

$$N = \frac{500 \cdot 55,3 \cdot 1,4}{3750 \cdot 0,65} = 15,88$$

Для проверки полученного значения произведем расчёт в программе DIALux Light, внесем все необходимые параметры для расчёта, они совпадают с расчётами по формулам, программа сама выдаст свое предложение по количеству светильников и варианту их расстановки [37]. Результат расчёта программы изображен на рисунке 20. Как видно из результатов расчёта DIALux к установке предлагается 12 светильников средняя освещенность на горизонтальной поверхности в помещении составляет 548 лк, а минимальное значение 328 лк, но он находится в самом углу кабинета. Так как значение, полученное расчётным путем и значения программы, не совпадают путем ручного ввода внесем количество светильников, полученное путем расчёта, т.е. 16 шт. программа автоматически расставляет светильники. Результаты этого расчёта приведены на рисунке 21. Из результатов можно увидеть, что средняя освещенность равняется 726 лк, а максимальная освещенность, сконцентрированная в середине кабинета равняется 886 лк. Так как эти параметры сильно больше рекомендуемого СанПиН, и могут повлечь за собой быструю утомляемость, раздражительность и головные боли у детей, что не допустимо. Поэтому примем количество светильников к установке 12 штук, как это было рассчитано программой в первом случае. И все дальнейшие расчёты будем производить при помощи программы DIALux.



Высота помещения: 3.000 m, Монтажная высота: 3.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:80

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	548	328	674	0.599
Полы	30	476	297	583	0.624
Потолок	70	154	116	168	0.759
Стенки (4)	50	325	127	513	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 32 x 32 Точки
Краевая зона: 0.000 m

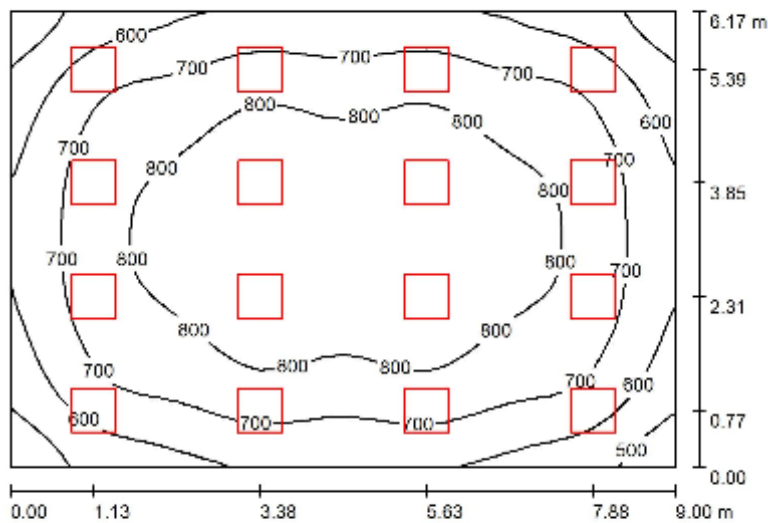
Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 4.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	12	VARTON V1-E0-00070-01OPD-4003040 (Тип 1) (1.000)	3750	3750	30.0
			Всего: 44998	Всего: 45000	360.0

Удельная подсоединенная мощность: 6.48 W/m² = 1.18 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 55.53 м²)

Рисунок 20 – Результат светотехнического расчёта для кабинета №17 в программе DIALux в автоматическом режиме



Высота помещения: 3.000 м, Монтажная высота: 3.000 м,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:80

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	726	436	886	0.600
Полы	30	632	396	772	0.626
Потолок	70	206	162	228	0.789
Стенки (4)	50	436	171	769	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 м
Растр: 32 x 32 Точки
Краяевая зона: 0.000 м

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 0.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	16	VARTON V1-E0-00070-01OPD-4003040 (Тип 1) (1.000)	3750	3750	30.0
			Всего: 59998	Всего: 60000	480.0

Удельная подсоединенная мощность: 8.64 W/m² = 1.19 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 55.53 м²)

Рисунок 21 – Результат светотехнического расчёта для кабинета №17 в программе DIALux с количеством светильников выставленными вручную

Аналогичным способом производится расчёт для всех остальных кабинетов и помещений общеобразовательной школы №21. Результаты вычислений занесем в таблицы 3,4,5,6.

Питание светильников осуществляется от 9-и щитов освещения которые располагаются на трех этажах и техническом подполье. Сведем данные о расположении щитов, наименовании и количестве питающих групп в таблицу 10.

Таблица 10 – Данные щитов освещения школы № 21

Этаж	Обозначение щита освещения (ЩО)	Расположение ЩО	Количество групп в ЩО	Кабель	Номинал вводного автомата, А
0	ЩО	Техническое подполье	4	ВВГнг(А)-LS 3x1,5	10
1	1ЩО	Детская рекреация, рядом с кабинетом № 4	9	ВВГнг(А)-LS 5x1,5	16
	4ЩО	В коридоре, рядом с кабинетом № 16	12	ВВГнг(А)-LS 5x1,5	20
	7ЩО	Холл рядом со столовой	14	ВВГнг(А)-LS 5x1,5	20
2	2ЩО	Рекреация, рядом с кабинетом № 24	13	ВВГнг(А)-LS 5x1,5	20
	5ЩО	В коридоре, рядом с кабинетом № 35	15	ВВГнг(А)-LS 5x1,5	20
	8ЩО	Рядом с актовым залом	4	ВВГнг(А)-LS 5x1,5	10
3	3ЩО	Рекреация, рядом с кабинетом № 48	12	ВВГнг(А)-LS 5x1,5	20
	6ЩО	В коридоре, рядом с кабинетом № 58	15	ВВГнг(А)-LS 5x1,5	20

Для питания и защиты необходимо выбрать кабели и автоматические выключатели. Для этого необходимо рассчитать силу тока для каждой группы и щита в целом по формуле 3 [14]:

$$I = \frac{P_{\Sigma}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (3)$$

где P_{Σ} – суммарная мощность светильников установленных в одном кабинете, Вт;

U_{ϕ} – фазное напряжение, В;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Для примера возьмем также кабинет № 17. К установке предполагается 12 светильников мощностью 30 Вт каждый. Суммарная мощность светильников в 17 кабинете $P_{\Sigma,17 \text{ каб}} = 12 \cdot 30 = 360$ Вт. Подставив значения в формулу 3 найдем значение силы тока в линии.

$$I_{17\text{каб.}} = \frac{360}{230 \cdot 0,95}$$

$$I_{17\text{каб.}} = 1,65 \text{ А}$$

Выбор автоматического выключателя производится по условиям 4 и 5 [14]:

$$I_{\text{Н.А.}} \geq I_{\text{Н.Р.}}, \quad (4)$$

$$I_{\text{Н.Р.}} \geq I_{17\text{каб.}} \quad (5)$$

где $I_{\text{Н.А.}}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{\text{Н.Р.}}$ – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, А.

Таким образом, выбираем автоматический выключатель производства Schneider electric серии Acti 9 iC60N номиналом в 2 А [1]. Он изображен на рисунке 22.



Рисунок 22 – Автоматически выключатель Schneider electric Acti 9 iC60N

Таким же образом производится расчёт и выбор автоматических выключателей для всех остальных групп и щитов в целом. Результаты расчёта приведены в таблице 3,4,5,6,10.

Кабельную продукцию используем производства АО «Самарская кабельная компания» [12]. К прокладке выбираются кабели ВВГнг(А)-LS различного сечения. Расшифруем маркировку кабеля. Отсутствие первой буквы А, говорит о том, что токопроводящая жила выполнена из меди. Первая буква В – означает, что изоляция кабеля выполнена из поливинилхлоридного (ПВХ) пластиката, вторая буква В – оболочка токопроводящей жилы выполнена из ПВХ пластиката. Третья буква Г – указывает на отсутствие защитного покрова; нг – указывает на то, что кабель не распространяет горение при групповой прокладке; (А) – указывает на класс пожарной безопасности (категория А); LS (low smoke) – обозначают пониженное дымо- и газовыделение. На рисунке 23 изображен данный кабель.

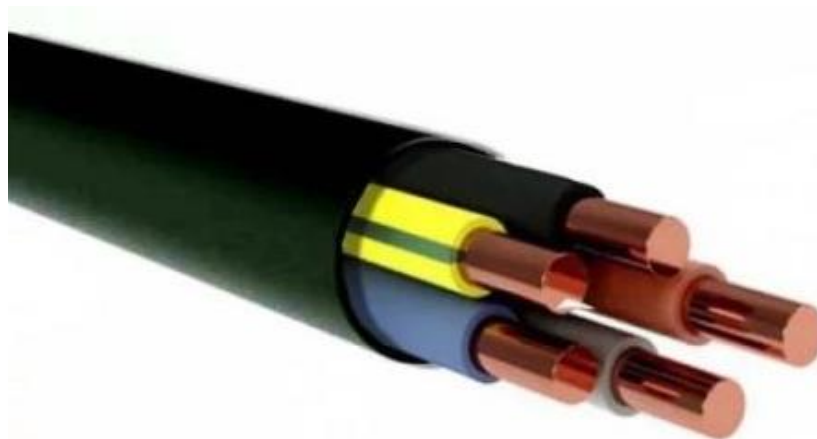


Рисунок 23 – Кабель ВВГнг(А)-LS

Для определения сечения кабеля необходимо найти ток в линии, из примера выше определили, что ток в линии равен 1,65 А. Поэтому принимаем к установке кабель ВВГнг(А)-LS 5х1,5 с длительно допустимым током перегрузки 21 А. Так как нагрузка со светодиодным освещением по отдельным группам нигде не превышает 21 А, поэтому будем использовать кабель сечением 1,5 мм² для прокладки в помещения, для питающих кабелей щитов освещения найдем сечения и занесем их в таблицу 10.

Допустимый ток и сечение найдем в каталоге производителя АО «Самарская кабельная компания» для пятижильных кабелей ВВГнг(А)-LS.

Также необходимо принять во внимание, что минимальное сечение кабеля с медной жилой для освещения составляет 1,5 мм².

Для создания системы управления необходимо выбрать датчики движения, присутствия и освещённости. Благодаря им появляется возможность создавать сценарии управления осветительными приборами в кабинетах, коридорах, лестничных площадках и т.д.

Для кабинетов выберем датчик присутствия Steinel IR Quattro HD DALI он предназначен как раз для установки в кабинетах и офисных помещениях [11]. И обладает оптимальными характеристиками, которые указаны в таблице 11. На рисунке 24 изображен внешний вид датчика, а на рисунке 25 область работы этого датчика.



Рисунок 24 – Датчик присутствия Steinel IR Quattro HD DALI

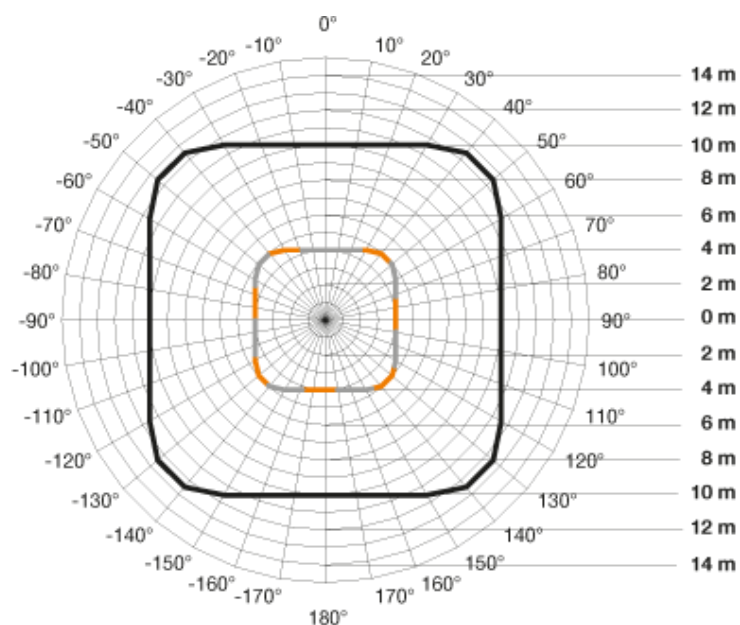


Рисунок 25 – Область работы датчика присутствия Steinel IR Quattro HD DALI

Таблица 11 – Технические характеристики Steinel IR Quattro HD DALI

Характеристики	Значения
Тип сенсора	Инфракрасный
Угол охвата датчика	360° при угле раствора 180°
Дальность действия	Максимум 36 метров тангенциально
Рекомендуемая высота установки	От 2,5 до 10 метров
Напряжение	230-240 В 50/60 Гц
Степень защиты	IP20
Температурный диапазон	от -20° до + 40°
Площадь зоны присутствия	Максимум 8 x 8 м (64 м ²)
Площадь зоны тангенциального движения	Максимум 20 x 20 м (400 м ²)

Для подсобных помещений и санузлов, а также лестничных клеток применяются датчики движения Steinel HF 3360 SQUARE DALI AP [9]. Область работы этого датчика изображена на рисунке 26. Основные технические характеристики приведены в таблице 12.

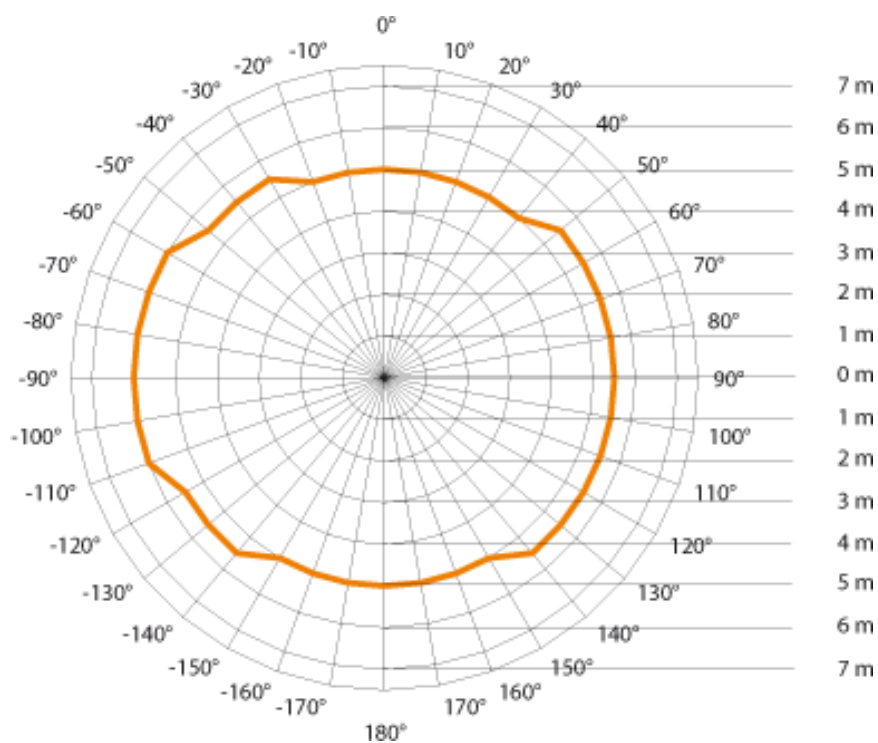


Рисунок 26 – Область работы датчика движения Steinel HF 3360 SQUARE DALI AP

Таблица 12 – Технические характеристики Steinel HF 3360 SQUARE DALI AP

Характеристики	Значения
Тип сенсора	Высокочастотный
Угол охвата датчика	360° при угле раствора 140°, сквозь стекло, дерево и тонкие стены
Дальность действия	Максимум 8 метров по кругу
Рекомендуемая высота установки	От 2 до 3 метров
Напряжение	220-240 В 50/60 Гц
Максимальная нагрузка	2000 Вт
Степень защиты	IP54
Температурный диапазон	от -20° до + 50°
Сенсор	5,8 ГГц высокой частоты; мощность сигнала: < 1 мВт

В узких коридорах применяются датчик движения Steinel IS 345 SQUARE DALI AP [10]. Область работы изображена на рисунке 27. Технические характеристики приведены в таблице 13.

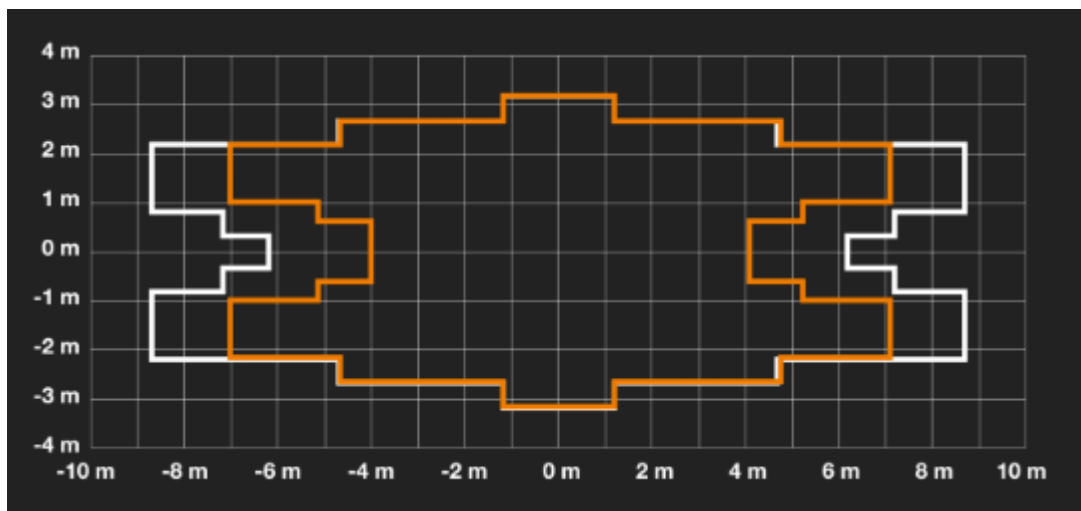


Рисунок 27 – Область работы датчика движения Steinel IS 345 SQUARE DALI AP

Таблица 13 – Технические характеристики Steinel HF 3360 SQUARE DALI AP

Характеристики	Значения
Тип сенсора	Пассивный инфракрасный
Угол охвата датчика	180° при угле раствора 45°
Площадь зоны присутствия	12 м x 4м
Площадь зоны тангенциального движения	20 м x 4 м
Рекомендуемая высота установки	От 2,5 до 5 метров
Напряжение	220-240 В 50/60 Гц
Максимальная нагрузка	2000 Вт
Степень защиты	IP54
Температурный диапазон	от -20° до + 50°

Во всех вышеперечисленных датчиках уже встроены сенсоры, измеряющие освещенность, поэтому отдельно закупать датчики освещенности не нужно.

Для управления всеми датчиками и светильниками необходимо установить два шкафа управления ME6 DALI B512 производства «Световые технологии» [37]. Один шкаф рассчитан на 512 каналов, также понадобится

сенсорная панель управления системой освещения AWADA SP-01 для мониторинга и настройки [17]. На рисунках 28 и 29 изображены шкаф управления и панель управления соответственно.



Рисунок 28 – Шкаф управления ME6 DALI B512



Рисунок 29 – Панель управления системой освещения AWADA SP-01

Сведем общее количество и стоимость всех светильников, датчиков и т.д. в таблицу 14.

Стоимость основных компонентов системы управления протокола DALI: датчики движения и присутствия, шкафы управления и сенсорная панель составляет 2 760 554 руб.

Таблица 14 – Количество оборудования и его стоимость

Наименование	Кол-во, шт	Цена, руб	Общая сумма, руб
Светильник VARTON V1-E0-00070-01PRD-4003040 (DALI)	804	5089	4 091 556
Светильник VARTON V1-E0-00270-60000-4001839	40	4121	164 840
Светильник VARTON V1-E0-00024-01PRD-4003040 (DALI)	50	5683	284 150
Светильник LLT CC59	36	1050	37 800
Датчик присутствия IR Quattro HD DALI	74	14640	1 083 360
Датчик движения HF 3360 SQUARE DALI AP	37	10160	375 920
Датчик движения IS 345 SQUARE DALI AP	30	9280	278 400
Шкаф управления ME6 DALI B512	2	490 000	980 000
Сенсорная панель AWADA SP-01	1	42 874	42 874
Итого			6 856 520

Выводы по разделу

Выбрано оборудование и рассчитано необходимое количество светильников, автоматических выключателей, датчиков движения и присутствия. Для учебных и рабочих кабинетов, коридоров выбраны светильники, специально разработанные для учебных учреждений марки VARTON V1-E0-00070-01PRD-4003040. Для спортивных залов выбраны светильники с защитной сеткой VARTON V1-E0-00024-01PRD-4003040, над каждой школьной доской вешается светильник VARTON V1-E0-00270-60000-4001839. Также выбраны светильники для установки в техническом подполье LLT ССП-159. Выбраны блоки аварийного питания VARTON V1-EM-00540-10A01-2000508, которые монтируются в светильники. В программном обеспечении DIALux рассчитано количество светильников и их оптимальное

расположение в помещениях. Общее количество светильников составляет 930 из них 854 имеют систему управления DALI.

Проведен расчёт и выбор питающих кабелей марки ВВГнг(А)-LS различного сечения в зависимости от нагрузки. Выбраны автоматические выключатели Schneider electric Acti 9 iC60N различного номинала в зависимости от нагрузки.

Для управления светильниками в автоматическом режиме были подобраны датчики присутствия Steinel IR Quattro HD DALI и движения Steinel HF 3360 SQUARE DALI AP (лестничные клетки, санузлы, подсобные), Steinel IS 345 SQUARE DALI AP (узкие коридоры).

Для подключения и управления всем оборудованием подобраны шкафы управления ME6 DALI B512, а также для настройки и мониторинга за системой выбрана сенсорная панель AWADA SP-01.

3 Разработка алгоритма управления системой освещения в общеобразовательном учреждении и технико-экономический расчёт осветительной нагрузки

3.1 Разработка алгоритма управления системой освещения

Разработка алгоритма управления системой освещения является очень важным этапом при проектировании, так как именно благодаря разработанному алгоритму достигается максимальная эффективность и экономичность разрабатываемой системы. При разработке алгоритма необходимо обеспечить правильность срабатывания, что бы было как можно меньше ложных срабатываний, а в идеале обеспечить их отсутствие [3]. Так как в общеобразовательных учреждениях наибольшее количество кабинетов являются учебными, для них можно утверждать, что они работают по утвержденному расписанию. Поэтому мы можем разработать несколько сценариев управления освещением для таких кабинетов. Например, во время урока регулировать освещенность в кабинете получая сигналы с датчиков освещенности и присутствия, а во время перемены снижать мощность светильников до минимально разрешенного уровня освещенности, так как на перемене не происходит учебный процесс, и многие ученики уходят отдыхать в коридор. При этом в то же время в учебном классе будет приемлемая и комфортная освещенность для нахождения. В тоже же время в коридоре на перемене мощность светильников будет подниматься до необходимого уровня освещенности на время перемены и постепенно снижать уровень освещенности после окончания перемены до минимального значения и поддерживать ее до востребования. Например, если кто-то попадет в область датчика движения, то светильники включатся и будут поддерживать заданную освещенность пока человек будет находиться в зоне видимости. Рассмотрим алгоритмы работы для различных сценариев. Разработанный алгоритм управления осветительной нагрузкой представлен на рисунке 30.

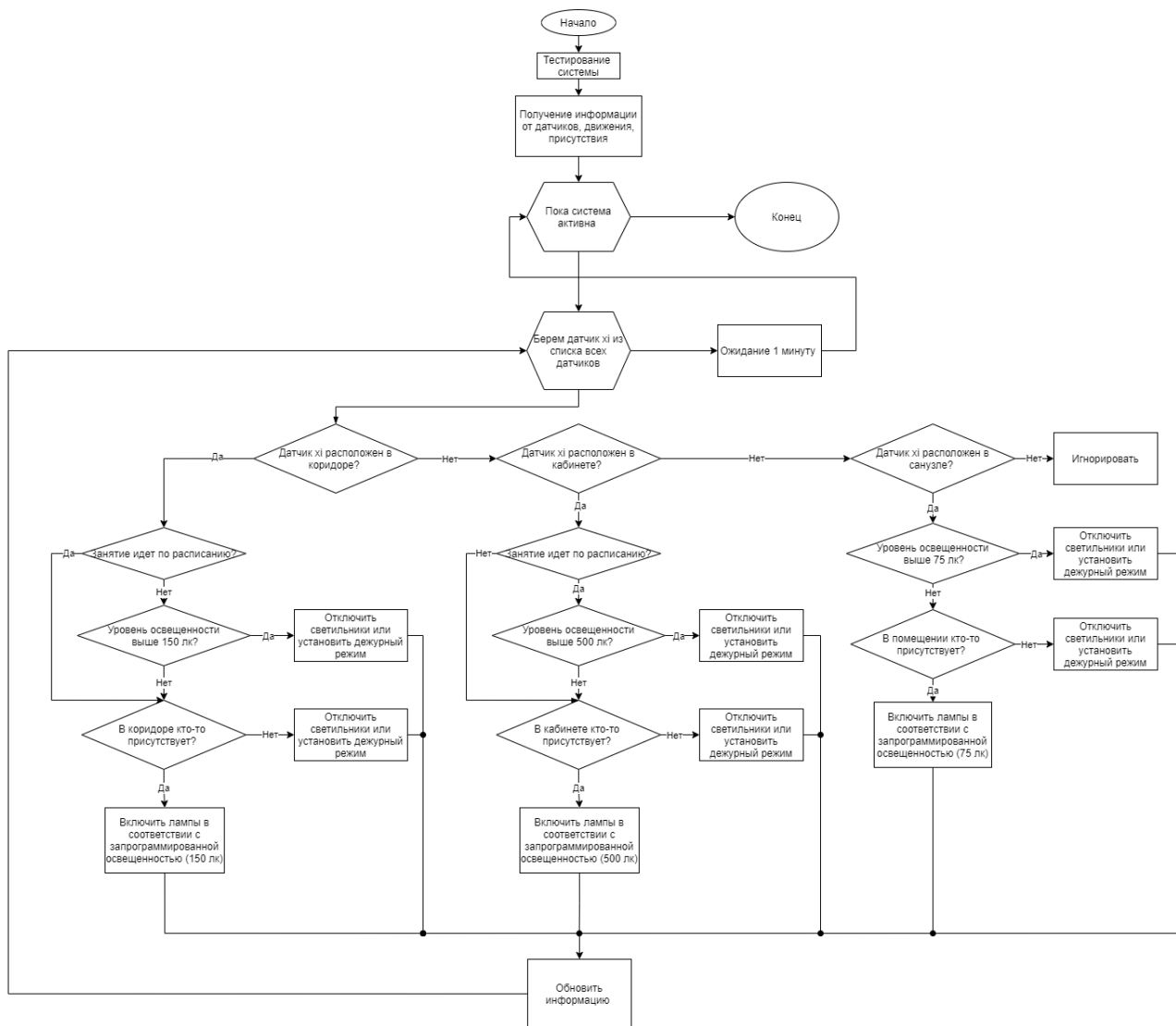


Рисунок 30 – Алгоритм управления осветительной нагрузкой в общеобразовательном учреждении

Программа управления, основанная на разработанном алгоритме будет записана в память панели управления AWADA для осуществления управления осветительной нагрузкой в школе. Данный алгоритм и программу управления можно будет настроить после проведения пуско-наладочных работ, тем самым скорректировав необходимые параметры и добиться наибольшей энергоэффективности.

3.2 Технико-экономический расчёт расходов на электроэнергию с действующей системой электроосвещения

Как было сказано ранее в основном в общеобразовательном учреждении установлены люминесцентные светильники ЛПО 2x36, а также за редким исключением установлены лампы накаливания в санузлах и подсобных помещениях мощностью 95 Вт.

Для обеспечения высокой точности расчётов и их наглядности возьмем 2021 календарный год. В 2021 году при 6 дневной учебной неделе и трехмесячных летних каникул имеем 207 рабочих дней. Официальный рабочий день школы начинается с 8:00 и продолжается до 18:00 (10 часов). Как правило учителя и рабочий персонал приходит на работу к 7:30 и уходят в 18:30 (11 часов).

Для расчёта потребляемой энергии в год при условии коммутации ручным способом (выключатель) воспользуемся формулой 6:

$$W_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot N_{\text{сут}} \cdot T_{\text{сут}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{осв}}$ – суммарная потребляемая мощность для помещения, Вт;

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

$T_{\text{сут}}$ – количество часов работы светильника в рабочие сутки, ч.

Суммарную потребляемую мощность осветительной нагрузкой рассчитаем по формуле:

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{с}} \cdot N_{\text{с}} \cdot K_{\text{пра}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{с}}$ – мощность одного светильника, Вт;

$N_{\text{с}}$ – количество светильников в помещении, шт;

$K_{\text{пра}}$ – потери мощности в люминесцентных дросселях, $K_{\text{пра}} = 1,2$.

Для примера рассчитаем учебный класс музыки (кабинет №17). В данный момент в кабинете установлены 12 люминесцентных светильников ЛПО в котором установлены две лампы мощностью 36 Вт. Время работы в день усреднено возьмем 11 часов. Подставив значения в формулы 6 и 7 получим:

$$P_{\text{осв } 17\text{каб.лпо}} = (40 \cdot 2) \cdot 12 \cdot 1,2 = 1152 \text{ Вт} = 1,152 \text{ кВт}$$

$$W_{\text{осв } 17\text{каб.}} = 1,152 \cdot 207 \cdot 11 = 2623,1 \text{ кВт/ч}$$

Отсюда получаем, что один кабинет в настоящее время за год расходует 2623,1 кВт/ч.

Аналогичным образом произведем расчёт для всех помещений с светильниками установленными в данный момент. Данные по количеству светильников взяты из документации общеобразовательного учреждения (типовой проект 222-1-197/75 альбом III) Так как все светильники, установленные в кабинетах одинаковые и мы знаем, что во время учебного процесса задействованы все учебные кабинеты для упрощения расчётов можем объединить их в одну группу «учебные кабинеты». Все полученные данные сведем в таблицу 15.

Таблица 15 – Потребление электроэнергии помещений общеобразовательного учреждения без системы автоматического управления освещением за 2021 год

Наименование категорий помещений	Кол-во светильников, шт	Мощность одного светильника, Вт	$P_{\text{осв}}$, Вт	$T_{\text{сут}}$	$N_{\text{сут}}$	$W_{\text{осв}}$, кВт/ч
Учебные кабинеты	490	72	42336	11	207	96399,1
Коридоры	160	72	13824	11	207	31477,2
Кабинеты	50	72	4320	11	207	9836,6
Спортзалы	60	72	5184	10	207	10730,9
Столовая	16	144	2764,8	7	207	4006,2
Актовый зал	18	144	3110,4	2	207	1287,7
Санузлы	40	95	4560	11	207	10383,1
Библиотека	12	72	1036,8	9	207	1931,6
Гардероб	8	72	691,2	9	207	1287,7
Кладовые	8	95	912	9	207	1699,1
Электрощитовая	1	72	86,4	0,5	207	8,9
Суммарное потребление в год						169048,1

Суммарная потребляемая мощность осветительной нагрузкой во всём здании рассчитывается как сумма потребления электроэнергии в каждом отдельном помещении по формуле 8:

$$W_{\text{осв.общ,дейст}} = \Sigma W_{\text{осв,дейст}} \quad (8)$$
$$W_{\text{осв.общ,дейст}} = 169\,048,1 \text{ кВт/ч}$$

Переведем полученное значение в МВт/ч, получим, что $W_{\text{осв.общ,дейст}} = 169,048 \text{ МВт/ч}$

Суммарно осветительная нагрузка для общеобразовательной школы № 21 с люминесцентными светильниками и лампами накаливания, установленными в настоящее время составляет 169,048 МВт/ч электрической энергии в год.

Произведем расчёт годовых затрат учреждения на осветительную нагрузку. Общеобразовательное учреждение относится к первой ценовой категории, так как нет обязанности планировать потребление электрической энергии и максимальная мощность менее 670 кВт, также учет идет по одноставочному тарифу. Объект располагается на территории центрального района города Тольятти, поставщиком электрической энергии является ПАО «Самараэнерго». Стоимость за 1 МВт/ч составляет 4320 рублей с учетом НДС [33]. Годовые затраты на потребление электроэнергии рассчитываются по формуле 9:

$$C_{\text{осв,дейст}} = W_{\text{осв.общ,дейст}} \cdot C_{\text{уд}}, \quad (9)$$
$$C_{\text{осв,дейст}} = 169,048 \cdot 4320 = 730\,287,36 \text{ руб.}$$

где $C_{\text{уд}}$ – стоимость 1 МВт/ч электроэнергии по Самарской области, руб.

Итого мы получаем за 2021 календарный год затраты на освещение общеобразовательного учреждения составляют 730 287,36 руб. без применения системы автоматического управления осветительной нагрузкой и установки светодиодных светильников.

3.3 Технико-экономический расчёт расходов на электроэнергию без внедрения систем автоматизации с применением светодиодных светильников

Для того чтобы оценить экономический эффект от внедрения автоматизированной системы и управления освещением и светодиодных светильников необходимо произвести расчёт для системы, управляемой при помощи обычных клавишных выключателей.

Как сказано в предыдущем пункте имеем 207 рабочих дней с продолжительностью работы 11 часов в день.

Также для примера рассчитаем учебный класс музыки (кабинет №17). Для этого кабинета к установке приняты 12 светильников V1-E0-00070-01PRD-4003040 мощностью 30 Вт. Время работы в день усреднено возьмем 11 часов. Подставив значения в формулы 6 и 7 получим:

$$P_{\text{осв } 17\text{каб.}} = 30 \cdot 12 \cdot 1,1 = 396 \text{ Вт} = 0,396 \text{ кВт}$$

$$W_{\text{осв } 17\text{каб.}} = 0,396 \cdot 207 \cdot 11 = 901,7 \text{ кВт/ч}$$

Отсюда получаем, что один кабинет за год расходует 901,7 кВт/ч.

Аналогичным образом произведем расчёт для всех помещений. Количество светильников и их мощность возьмем в соответствии с произведенными выше расчётами. Все полученные данные сведем в таблицу 16.

Таблица 16 – Потребление электроэнергии помещений общеобразовательного учреждения без системы автоматического управления освещением за 2021 год

Наименование категорий помещений	Кол-во светильников, шт	Мощность одного светильника, Вт	$P_{\text{осв}}$, Вт	$T_{\text{сут}}$	$N_{\text{сут}}$	$W_{\text{осв}}$ кВт/ч
Учебные кабинеты	485	30	16005	11	207	36443,4
Коридоры	124	30	4092	11	207	9317,5
Кабинеты	53	30	1749	11	207	3982,5
Наименование категорий	Кол-во светильников,	Мощность одного	$P_{\text{осв}}$, Вт	$T_{\text{сут}}$	$N_{\text{сут}}$	$W_{\text{осв}}$ кВт/ч

помещений	шт	светильника, Вт				
Спортзалы	51	30	1683	10	207	3483,8

Продолжение таблицы 16

Столовая	45	30	1485	7	207	2151,8
Актный зал	41	30	1353	2	207	560,1
Санузлы	26	30	858	11	207	1953,7
Библиотека	12	30	396	9	207	737,7
Гардероб	8	30	264	9	207	491,8
Кладовые	8	30	264	9	207	491,8
Электрощитовая	1	30	33	0,5	207	3,4
Суммарное потребление в год						59617,5

Суммарная потребляемая мощность осветительной нагрузкой во всём здании рассчитывается по формуле 8:

$$W_{\text{осв.общ.без асуо}} = 59\,617,5 \text{ кВт/ч}$$

Переведем полученное значение в МВт/ч, получим, что $W_{\text{осв.общ.без асуо}} = 59,617 \text{ МВт/ч}$

Суммарно осветительная нагрузка для общеобразовательной школы № 21 без применения системы автоматического управления освещением, но с применением светодиодных светильников составляет 59,617 МВт/ч электрической энергии в год. Разница с действующей системой практически в 2,9 раза меньше.

Произведем расчёт годовых затрат учреждения на осветительную нагрузку по формуле 9. Как было упомянуто выше стоимость за 1 МВт/ч составляет 4320 рублей с учетом НДС.

$$C_{\text{осв}} = 59,617 \cdot 4320 = 257\,545,44 \text{ руб.}$$

Итого мы получаем за 2021 календарный год затраты на освещение общеобразовательного учреждения составляют 257 545,44 руб. без применения системы автоматического управления осветительной нагрузкой.

3.4 Технико-экономический расчёт расходов на электроэнергию после внедрения систем автоматизации

Как мы знаем из второго раздела диссертации стоимость основных компонентов системы управления протокола DALI составляет 2 760 554 руб.

На стоимости оборудования реализация проекта не заканчивается, также нам необходимо учесть стоимость проектных, монтажных и пуско-наладочных работ.

Согласно справочным данным на проект стоимостью до 5,5 млн руб. закладывается 7,25 % от стоимости оборудования [16]. Стоимость проекта находится по формуле 10:

$$C_{\text{пр.раб.}} = C_{\text{сум.об.}} \cdot 0,0725, \quad (10)$$

$$C_{\text{пр.раб.}} = 2\,760\,554 \cdot 0,0725 = 200\,140,2 \text{ руб.}$$

где $C_{\text{сум.об.}}$ – суммарная стоимость оборудования для реализации автоматической системы управления, руб.

Стоимость монтажных и пуско-наладочных работ составляет порядка 3,5 % от стоимости оборудования [16], таким образом их стоимость рассчитывается по формуле 11:

$$C_{\text{монт+пн}} = C_{\text{сум.об.}} \cdot 0,035 \quad (11)$$

$$C_{\text{монт+пн}} = 2\,760\,554 \cdot 0,035 = 96\,619,4 \text{ руб.}$$

Общая стоимость реализации проекта складывается из стоимости оборудования, проектных, монтажных и пуско-наладочных работ и рассчитывается по формуле 12:

$$C_{\text{проекта}} = C_{\text{сум.об.}} + C_{\text{пр.раб.}} + C_{\text{монт+пн}} \quad (12)$$

$$C_{\text{проекта}} = 2\,760\,554 + 200\,140,2 + 96\,619,4 = 3\,057\,313,6 \text{ руб.}$$

В результате всех расчётов получаем, что для реализации проекта автоматического управления освещением в общеобразовательном учреждении понадобится 3 057 313,6 руб.

Теперь необходимо произвести технико-экономический расчёт после внедрения автоматической системы управления осветительной нагрузкой. Как было сказано ранее, расчёт будем производить за 2021 год.

Для каждого типа помещений мы можем вычислить время работы светильника на разных мощностях, например, для учебного кабинета. По данным полученным от заместителя директора по административно-хозяйственной части (АХЧ) рабочий день усреднено составляет 11 часов. 6 уроков проходит в первую смену и 6 уроков во вторую [36]. Длительность урока составляет 40 минут, суммарно уроки делятся 8 часов, остальное время отводится на перемены. Примем, что светильники в учебных кабинетах будет работать в рабочем режиме 8 часов (100 % от номинальной мощности), а в дежурном 3 часа (40% от номинальной мощности). Для коридоров же ситуация будет обратной, рабочий режим будет составлять 3 часа, а дежурный режим 8 часов.

На самом деле, пиковая мощность светильников будет включаться не всё рабочее время, так как информация будет считываться с датчика освещенности и настраивать мощность светильника таким образом, чтобы обеспечить нужную освещенность в помещении. В режиме максимальной мощности светильники будут работать в темное время суток либо же в пасмурную погоду.

Произведем расчёт потребляемой мощности в рабочем режиме для одного светильника V1-E0-00070-01PRD-4003040 по формуле 13:

$$P_{\text{осв.раб}} = P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{пра}} \quad (13)$$
$$P_{\text{осв.раб}} = 30 \cdot 1,1 = 33 \text{ Вт}$$

Произведем расчёт потребляемой мощности в дежурном режиме для одного светильника V1-E0-00070-01PRD-4003040 по формуле 14:

$$P_{\text{осв,деж}} = P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot 0,4 \quad (14)$$

$$P_{\text{осв,деж}} = 30 \cdot 1,1 \cdot 0,4 = 13,2 \text{ Вт}$$

Из расчётов получаем, что для учебного кабинета светильник за одни рабочие сутки будет работать 8 часов с мощностью 33 Вт и 3 часа с мощностью 13,2 Вт. Рассчитаем потребление электрической энергии одним светильником за год по формуле 15:

$$W_{\text{свет.год}} = (P_{\text{осв,раб}} \cdot T_{\text{раб}} + P_{\text{осв,деж}} \cdot T_{\text{деж}}) \cdot 207, \quad (15)$$

$$W_{\text{свет.год}} = (33 \cdot 8 + 13,2 \cdot 3) \cdot 207 = 62,84 \text{ кВт/ч}$$

где $T_{\text{раб}}$ – время работы осветительного прибора в рабочем режиме, ч;

$T_{\text{деж}}$ – время работы осветительного прибора в дежурном режиме, ч.

Для сравнения рассчитаем потребление электроэнергии для кабинета музыки, в котором установлено 12 таких светильников.

$$W_{\text{осв.17каб с асуо}} = 62,84 \cdot 12 = 754,08 \text{ кВт/ч}$$

Как можно увидеть электроэнергия, потребляемая одним кабинетом без системы управления, составляет 901,7 кВт/ч в год, а с установленной системой автоматического управления 754,08 кВт/ч в год, что на 16,4% меньше.

Аналогичным образом произведем расчёт для двух вариантов:

- 1) Наиболее пессимистичный, в рабочем режиме которого светильники будут работать с мощностью равной 100 %, а в дежурном 40 % от номинального значения.
- 2) Ближе к реальным значениям, где мощность светильников в рабочем режиме будет составлять 75 % от номинального значения, а для дежурного режима 25%.

Рассчитанные данные занесем в таблицы 17,18 соответственно.

Таблица 17 - Потребление электроэнергии помещений общеобразовательного учреждения после внедрения системы автоматического управления освещением за 2021 год

Наименование категорий помещений	Кол-во светильников, шт	Мощность одного светильника, Вт	$P_{\text{осв.раб}}$, Вт 100 %	$T_{\text{раб}}$, ч	$P_{\text{осв.деж}}$, Вт 40 %	$T_{\text{деж}}$, ч	$N_{\text{сут}}$	$W_{\text{осв}}$, кВт/ч
Учебные кабинеты	485	30	128040	8	19206	3	207	30479,9
Коридоры	124	30	12276	3	13094,4	8	207	5251,7
Кабинеты	53	30	13992	8	2098,8	3	207	3330,8
Спортзалы	51	30	13464	8	1346,4	2	207	3065,8
Столовая	45	30	7425	5	1188	2	207	1782,9
Актный зал	41	30	1353	1	541,2	1	207	392,1
Санузлы	26	30	5148	6	1716	5	207	1420,8
Библиотека	12	30	3168	8	158,4	1	207	688,6
Гардероб	8	30	792	3	633,6	6	207	295,1
Кладовые	8	30	1056	4	528	5	207	327,9
Электрощитовая	1	30	8,25	0,25	3,3	0,25	207	2,4
Суммарное потребление в год								47037,9

Таблица 18 - Потребление электроэнергии помещений общеобразовательного учреждения после внедрения системы автоматического управления освещением за 2021 год с усреднённой мощностью светильников

Наименование категорий помещений	Кол-во светильников, шт	Мощность одного светильника, Вт	$P_{\text{осв.раб.}}$, Вт 75 %	$T_{\text{раб.}}$, ч	$P_{\text{осв.деж.}}$, Вт 25 %	$T_{\text{деж.}}$, ч	$N_{\text{сут}}$	$W_{\text{осв.}}$, кВт/ч
Учебные кабинеты	485	30	96030	8	12003,75	3	207	22363,0
Коридоры	124	30	9207	3	8184	8	207	3599,9
Кабинеты	53	30	10494	8	1311,75	3	207	2443,8
Спортзалы	51	30	10098	8	841,5	2	207	2264,5
Столовая	45	30	5568,75	5	742,5	2	207	1306,4
Актовый зал	41	30	1014,75	1	338,25	1	207	280,1
Санузлы	26	30	3861	6	1072,5	5	207	1021,2
Библиотека	12	30	2376	8	99	1	207	512,3
Гардероб	8	30	594	3	396	6	207	204,9
Кладовые	8	30	792	4	330	5	207	232,3
Электрощитовая	1	30	6,2	0,25	2	0,25	207	1,7
Суммарное потребление в год								34230,1

Суммарная потребляемая мощность осветительной нагрузкой во всём здании за год для первого варианта ($P_{\text{осв.раб}} = 100\%$ и $P_{\text{осв.деж}} = 40\%$) будет рассчитываться как сумма потребления электроэнергии в каждом отдельном помещении по формуле 8:

$$W_{\text{осв.общ с асуо 1 случай}} = 47037,9 \text{ кВт/ч}$$

Для второго варианта ($P_{\text{осв.раб}} = 75\%$ и $P_{\text{осв.деж}} = 25\%$) суммарная потребляемая мощность осветительной нагрузкой за год будет составлять:

$$W_{\text{осв.общ с асуо 2 случай}} = 34230,1 \text{ кВт/ч}$$

Как было сказано ранее, стоимость за 1 МВт/ч составляет 4320 рублей с учетом НДС. Годовые затраты на потребление электроэнергии рассчитываются по формуле 9 и составляют:

- для первого варианта 203 203,73 руб;
- для второго варианта 147 874,03 руб.

3.5 Расчёт срока окупаемости проекта по внедрению автоматической системы управления освещением

Затраты на энергопотребление осветительной нагрузкой согласно произведённым расчётам для действующей системы освещения составляют 730 287,36 рублей в год. Затраты на внедрение системы управления оцениваются в 3 057 313,6 рублей. Благодаря внедрению автоматизированной системы управления освещением затраты на энергопотребление составляют для первого варианта 203 203,73 руб., а для второго 147 874,03 руб.

Рассчитаем сумму экономии для 1 варианта на энергопотреблении имея вышеперечисленные данные по формуле 16:

$$C_{\text{эконом}} = C_{\text{осв.дейст}} - C_{\text{осв.с асуо}}, \quad (16)$$

$$C_{\text{эконом 1вар.}} = 730\,287,36 - 203\,203,73 = 527\,083,63 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{эконом 2 вар.}} = 730\,287,36 - 147\,874,03 = 582\,413,33 \text{ руб}$$

где $C_{\text{осв.дейст}}$ – затраты на энергопотребление с действующей системой освещения за 2021 год, руб.

$C_{\text{осв.с асуо}}$ – затраты на энергопотребление после применения системы автоматического регулирования осветительной нагрузки за 2021 год.

За счёт внедрения системы автоматизации для общеобразовательного учреждения экономия затрат на энергопотреблении составляет:

– для 1 варианта 527 083,63 рублей в год, в процентном соотношении это 72,1 % экономии.

– для 2 варианта 582 413,33 рублей в год, в процентном соотношении это 79,7 % экономии.

Произведем расчёт срока окупаемости проекта для первого и второго вариантов по формуле 17 [2]:

$$T = \frac{C_{\text{проекта}}}{C_{\text{эконом}}}, \quad (17)$$

$$T_{1\text{вар}} = \frac{3\,057\,313,6}{527\,083,63} = 5,8 \text{ лет}$$

$$T_{2\text{вар}} = \frac{3\,057\,313,6}{582\,413,33} = 5,2 \text{ года}$$

Таким образом срок окупаемости составляет около 6 лет. Такой срок является достаточно быстрым, это означает, что спроектированная система позволит экономить значительную часть денежных средств уже через 6 лет. А сэкономленные деньги можно направить на техническое оснащение, обновление мебели и другие этапы развития школы.

Выводы по разделу

Разработан алгоритм управления освещением в общеобразовательном учреждении с применением датчиков движения, присутствия и освещенности.

Рассчитаны технико-экономические показатели действующей системы освещения. При ручном управлении осветительной нагрузкой энергопотребление за год составляет 169,048 МВт/ч, а годовые затраты 730 287 рублей в год.

Рассчитаны технико-экономические показатели после установки светодиодных светильников, в случае ручного управления энергопотребление за год составляет 59,619 МВт/ч, а годовые затраты 257 545 рублей в год. Благодаря замене светильников достигается экономия почти в 2,9 раз.

Произведен расчёт технико-экономических показателей после внедрения системы автоматического управления осветительной нагрузкой, работающей по протоколу DALI. Энергопотребление снизилось до 47,037 МВт/ч в год, а затраты на электроэнергию до 203 203 рублей, что в 3,6 раз меньше относительно действующей системы освещения.

Рассчитана стоимость реализации проекта по автоматизации системы освещения в общеобразовательном учреждении, она составляет 3 057 313 рублей. Срок окупаемости проекта составляет около 6 лет.

Заключение

В рамках ВКР изучены нормативно- правовые документы: ГОСТы, СНиПы, СанПиНы, СП, регламентирующие проектирование систем освещения в образовательных учреждениях, а также используемых при проектировании источников освещения.

Изучены и проанализированы различные протоколы управления автоматической системой освещения, такие как: DALI, KNX, RDM, DMX-512, IP-системы и аналоговое управление 1-10 В. Опираясь на необходимый функционал при проектировании новой системы освещения, а также изучив все достоинства и недостатки протоколов управления к рассмотрению выбран протокол управления DALI.

Выбраны светодиодные светильники производства «VARTON» специально разработанные для общеобразовательных учреждений, которые устанавливаются во всех помещениях рассматриваемого объекта. Для технического подполья выбраны светодиодные светильники LLT ССП-159, так как они обладают высокой пыле- и влагозащитой. При помощи программного обеспечения DIALux рассчитано необходимое количество и расположение светильников для кабинетов, коридоров, санузлов и остальных помещений. Для питания щитов освещения, а также самих светильников выбрана кабельная продукция ВВГнг(А)-LS производства «Самарской кабельной компании». Для защиты от перегрузок и токов короткого замыкания выбраны автоматические выключатели производства «Schneider Electric». Для управления светильниками в автоматическом режиме выбраны датчики присутствия и движения производства «Steinel» управляемыми по протоколу DALI, в состав которых входят датчики освещенности. Для подключения всего оборудования, работающего по протоколу DALI выбраны шкафы управления ME6 DALI B512. Для настройки, сбора информации и отслеживания системы в режиме реального времени выбрана сенсорная панель AWADA SP-01.

Расчёт технико-экономических показателей показал, что действующая система освещения в общеобразовательном учреждении расходует в год электроэнергию на 730 287 рублей, а после внедрения системы автоматического управления осветительной нагрузкой и светодиодных светильников затраты на энергопотребление в тот же период составляет 203 203 рубля, что в 3,6 раз меньше чем с действующей системой освещения. Затраты на реализацию проекта автоматического управления освещением составляют 3 057 313 рублей. По рассчитанным данным срок окупаемости проекта по автоматизации составляет около 6 лет, что является хорошим показателем.

Благодаря разработанной системе освещения достигаются не только высокие экономические показатели, но и улучшается комфорт пребывания учеников, учителей и рабочего персонала в школе. Разработанная система автоматического управления освещением позволяет реализовывать гибкую настройку параметров для каждого отдельного помещения, задавать необходимые параметры и режимы работы светильников, отслеживать неисправности системы освещения и быстро находить вышедшие из строя светильники. Выстраивать определенные сценарии управления и выводить графики потребления за определённый период времени. Все это позволит отслеживать динамику потребления электроэнергии и вводить коррективы в параметры для достижения большего комфорта пребывания и экономического эффекта.

Список используемой литературы и используемых источников

1. АВ iC60 Acti9 // Schneider Electric URL: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/7556-ав-ic60-acti9/?filter=business-4-распределение-электрoэнергии-низкого-напряжения&parent-subcategory-id=1605> (дата обращения: 02.02.2021).
2. Бабко А.Н., Инютин С.П. Электрическое освещение и энергоэффективность. - Астана: ТОО «Nomad Trading», 2015. - 375 с.
3. Барабанщиков А.В., Самафалов И.С. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТАХ // Студенческий вестник. - 2021. - №16 часть 6. - С. 10-22.
4. Барабанщиков А.В., Самафалов И.С. НОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ И ОСВЕЩЕННОСТИ // Студенческий вестник. - 2021. - №16 часть 6. - С. 40-43.
5. БЛОК АВАРИЙНОГО ПИТАНИЯ EM-UTILITY 5BT IP20 50-300V // Varton URL: <https://www.varton.ru/products/product/116668/> (дата обращения: 02.02.2021).
6. Гоман В.В., Тарасов Ф.Е. Проектирование и расчет систем искусственного освещения. - Екатеринбург: УрФУ, 2013. - 76 с.
7. ГОСТ Р 54350 – 2015 «ПРИБОРЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ. Светотехнические требования и методы испытаний», Национальный стандарт РФ: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М: ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 45 с.
8. 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.

9. Датчик движения Steinel HF 3360 SQUARE DALI UP // Steinel URL: http://steinel.su/catalog/datchiki_dvizhenija_dali/hf-3360-square-dali-up-033743/ (дата обращения: 01.02.2021).
10. Датчик движения Steinel IS 345 SQUARE DALI AP // Steinel URL: http://steinel.su/catalog/datchiki_dvizhenija_dali/is-345-square-dali-ap-010584/ (дата обращения: 01.02.2021).
11. Датчик присутствия Steinel IR Quattro HD DALI // Steinel URL: http://steinel.su/catalog/datchiki_prisutstvija_dali/ir-quattro-hd-dali-white-002756/ (дата обращения: 01.02.2021).
12. Кабели силовые не распространяющие горение, с низким дымо- и газовыделением на номинальное напряжение 0,66 и 1 кВ // Самарская кабельная компания URL: <https://www.samaracable.ru/cgi-bin/cat/frame.cgi> (дата обращения: 02.02.2021).
13. Касимова Б.Р., Сатбаева Ж.Х. Цифровое управление освещением на основе протокола DALI в жилых домах // Апробация. - 2015. - №9. - С. 11-13.
14. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение. - Минск: Техноперспектива, 2011. - 543 с.
15. Колесник Г.П. Электрическое освещение: основы проектирования. - Владимир: Владим.гос.ун-т, 2006. - 127 с.
16. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА // Библиотека сметчика URL: https://smetamds.ru/normativdocument/document.html?iddoc=MRR-4_8-16 (дата обращения: 01.02.2021).
17. Настольная сенсорная панель SP-01 // AWADA URL: <https://awada.ru/sp-01/> (дата обращения: 01.02.2021).
18. Освещение школьных классов и учебных аудиторий // ХАБР URL: <https://habr.com/ru/post/485868/> (дата обращения: 01.02.2021).

19. Основные сведения об управлении освещением по протоколу DALI // arlight URL: <https://arlight.ru/support/articles/osnovnye-svedeniya-ob-upravlenii-osveshcheniem-po-protokolu-dali/> (дата обращения: 01.02.2020).
20. Протокол управления освещением DALI в умном доме // future2day URL: <https://future2day.ru/protokol-dali/> (дата обращения: 09.11.2019).
21. Самафалов И.С., Барабанщиков А.В. СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗДАНИИ ПРИ ПОМОЩИ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕГУЛИРУЮЩЕГО КЛАПАНА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ // Студенческий вестник. - 2021. - №16 часть 5. - С. 101-103.
22. Самкова Екатерина Обзор протоколов управления освещением // Электронные компоненты. - 2012. - №1. - С. 22-26.
23. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Научный центр здоровья детей РАМН, 2010. - 42 с.
24. СанПиН 2.4.2.2821-10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. - 10 с.
25. Светильник светодиодный герметичный ССП-159 36Вт 160-260В IP65 1240мм // LED Premium URL: https://ledpremium.ru/catalog/ofisnye600_svetilniki/_i_i_g_g_i_159_36_160_260_ip65_1240_/ (дата обращения: 01.02.2021).
26. СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК "ВАРТОН" E070 2.0 ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ВСТРАИВАЕМЫЙ/НАКЛАДНОЙ 595*595*50ММ IP40 30 ВТ 4000К С ПРИЗМАТИЧЕСКИМ РАССЕЙВАТЕЛЕМ ДИММИРУЕМЫЙ ПО ПРОТОКОЛУ DALI // Varton URL: <https://www.varton.ru/products/product/129266/> (дата обращения: 13.03.2020).
27. СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК "ВАРТОН" E220 ДЛЯ ШКОЛЬНЫХ ДОСОК 1195*100*50ММ 18ВТ 3950К IP40 // Varton URL: <https://www.varton.ru/products/product/118708/> (дата обращения: 01.02.2021).

28. СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК "ВАРТОН" S070 2.0 СПОРТИВНЫЙ ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ НАКЛАДНОЙ 603*620*70ММ IP40 30 ВТ 4000К С ПРИЗМАТИЧЕСКИМ РАССЕЙВАТЕЛЕМ С ЗАЩИТНОЙ РЕШЕТКОЙ ДИММИРУЕМЫЙ ПО ПРОТОКОЛУ DALI // Varton URL: <https://www.varton.ru/products/product/124180/> (дата обращения: 01.02.2021).

29. Система управления освещением // В.Е.Г. Russia URL: <https://beg-russia.ru/blog/2016/07/05/lighting-control-system/> (дата обращения: 01.02.2020).

30. СНиП 2.08.02-89 Общественные здания и сооружения. Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. - 38 с.

31. СП 256.1325800.2016 ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ. ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОНТАЖА. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2016. - 125 с.

32. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Введ.2017-05-08. М.: Минстрой России, 2016. - 136 с.

33. Тарифы на 2021 год // САМАРАЭНЕРГО URL: http://www.samaraenergo.ru/buyer/tariffreg/tarifs_2021/ (дата обращения: 02.02.2021).

34. Технология KNX для систем автоматизации // iXBT URL: <https://www.ixbt.com/home/knx-intro.shtml> (дата обращения: 01.02.2020).

35. Циммерман Райнхард Управление группами осветительных приборов по шине DALI // Полупроводниковая светотехника. - Санкт-Петербург: Медиа КиТ, 2014. - С. 22-24.

36. Школа №21 // МБУ «Школа №21» URL: <http://school21.tgl.net.ru/sveden/common> (дата обращения: 02.02.2021).

37. Щит управления ME6 DALI B512 // Лампа Онлайн URL: <http://lampaonline.ru/products/schit-upravleniya-me6-dali-b512> (дата обращения: 01.02.2021).

38. DIALux расчет и проектирование освещения // DIALux Help URL: <http://www.dialux-help.ru/uchebnik/soderzhanie.html> (дата обращения: 02.02.2021).

39. DiiA Members // DALI URL: <https://www.dali-alliance.org/membership/member-companies.html> (дата обращения: 01.02.2020).

40. Fast communication with the DMX protocol // BECKHOFF URL: https://download.beckhoff.com/download/document/Application_Notes/DK9222-0311-0029.pdf (дата обращения: 02.02.2021).

41. Fatima Sapundzhi. A Survey of KNX Implementation in Building Automation / Fatima Sapundzhi // Bulgaria: South-West University “Neofit Rilski”. – 2020. №9. С 144-148.

42. Gateway-free IP protocols ensure smart lighting system reliability // LEDs Magazine URL: <https://www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/networks-controls/article/16695805/gatewayfree-ip-protocols-ensure-smart-lighting-system-reliability-magazine> (дата обращения: 02.02.2021).

43. RDM DMX – A Guide to the Basics // on STAGE LIGHTING URL: <https://www.onstagelighting.co.uk/lighting-equipment/stage-lighting-control/rdm-dmx-guide/> (дата обращения: 02.02.2021).

44. Tomas Sysala. Using microcomputers for lighting appliance control using a DALI bus / Tomas Sysala, Jan Pribyslavsky, Petr Neumann // Czech Republic: MATEC Web of Conferences 76. – 2016. С 1-6