

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Цифровые технологии в электроэнергетике

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка системы управления освещением общеобразовательной школы в микрорайоне "Крутые ключи" (г. Самара)

Обучающийся

И.И. Евгенов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Консультант

А.В. Прошина

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

Тольятти 2025

Аннотация

В выпускной квалификационной работе представлена разработка системы управления освещением в общеобразовательном учреждении, находящиеся в микрорайоне «Крутые ключи» города Самары.

Приведено обоснование для разработки системы управления освещением в трех блоках школы. Проанализирован протокол передачи данных DALI, позволяющий внедрить автоматизированное освещение с помощью цифровых устройств: контроллеров, датчиков движения/освещенности и модулей. Выполнен электротехнический расчет освещенности методом коэффициента использования (искусственного и комбинированного освещения) с учетом предварительно выбранных светильников, поддерживающие модуль DALI, а также светильников, которые уже внедрены в проект общеобразовательного учреждения. Рассчитан питающий кабель и щит рабочего освещения, включающий в себя светильники с модулем DALI. Предварительно выбраны и проверены по нескольким условиям исполняющие устройства DALI для осуществления работы системы. Для шкафов управления освещением подобрано системное оборудование, позволяющее контролировать и настраивать исполняющие устройства. Выбран кабель управления освещением DALI. Рассмотрены аппараты защиты для шкафов управления и щитов рабочего освещения.

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из 6 разделов и 60 страниц, а также графической части форматом А1 на 6 чертежах.

Abstract

In the graduate qualification work is presented the development of lighting control system in the general education institution, located in the neighbourhood «Krutye Klyuchi» of Samara.

The justification for the development of lighting control system in three blocks of the school. The DALI data transfer protocol is analysed, which allows to implement automated lighting with the help of digital devices: controllers, motion/lighting sensors and modules. The electrical calculation of illuminance by the utilisation factor method (artificial and combined lighting) was performed, taking into account the pre-selected luminaires supporting the DALI module, as well as the luminaires that have already been implemented in the project of the general education institution. The supply cable and the working lighting panel including luminaires with DALI module have been calculated. DALI actuators have been pre-selected and tested under several conditions to realise the system operation. System equipment is selected for the lighting control cabinets to enable the control and adjustment of the actuators. DALI lighting control cable is selected. Protection apparatuses for control cabinets and working lighting boards are considered.

Bachelor's graduate qualification work consists of 6 sections and 60 pages, as well as the graphic part of A1 format on 6 drawings.

Содержание

Введение	5
1 Характеристика объекта выпускной квалификационной работы	7
1.1 Характеристика источников электроснабжения общеобразовательной школы в микрорайоне «Крутые ключи»	11
1.2 Характеристика аппаратов защиты общеобразовательной школы в микрорайоне «Крутые ключи»	14
1.3 Сведения системы освещения общеобразовательной школы в микрорайоне «Крутые ключи»	14
2 Цифровой протокол передачи данных DALI	17
2.1 Устройства DALI	17
2.2 Команды для управления системой освещения DALI.....	19
2.3 Принцип работы и способ передачи данных DALI	19
2.4 Архитектура протокола передачи данных DALI.....	22
2.5 Преимущества протокола передачи данных DALI	23
3 Расчет искусственного и комбинированного освещения школы	26
3.1 Расчет искусственного освещения.....	26
3.2 Расчет комбинированного освещения	32
4 Расчет щита рабочего освещения и выбор силового кабеля	38
4.1 Расчет щита рабочего освещения	38
4.2 Выбор силового кабеля для рабочего освещения	42
5 Выбор и проверка исполняющих устройств DALI.....	44
5.1 Выбор исполняющих устройств DALI.....	44
5.2 Проверка исполняющих устройств DALI	46
6 Выбор комплектующих и кабеля для шкафа управления DALI	49
6.1 Выбор комплектующих для шкафа управления DALI	49
6.2 Выбор кабеля и описание работы системы управления	53
Заключение	56
Список используемой литературы и используемых источников	58

Введение

Электроэнергетика играет главную роль в современном обществе, поскольку с развитием технологий требуется модернизация электрической сети, электроустановок и управляющей аппаратуры, которые обеспечивают работу электроэнергетической системы (ЭЭС).

Для осуществления улучшения ЭЭС внедряются цифровые технологии, обеспечивающие автоматизированное управление, безопасность и надежность устройств. Цифровые устройства предлагают инновацию не только сфере электроэнергетики, но даже в городских и промышленных объектах. К примеру, в сфере электроэнергетики цифровые технологии используются в релейной защите, автоматике и измерительных приборах, а в городских и промышленных объектах обычно в системах управления технологическим процессом и освещении.

Цифровизация в городских и промышленных объектах также является важным фактором в развитии цифровых технологий: обеспечивается автоматизированная, стабильная и безопасная работа систем управления, которая позволяет обеспечить быстроту передачи данных и удаленное управление.

Для административных объектов и общеобразовательных учреждений обычно используются традиционные системы управления освещением, где освещение задается вручную (без возможности автоматизации и регулирования освещенности) и нет дистанционного включения и отключения светильников, что в случае крупных объектов, приводит к лишним затратам на электроэнергию, а также может привести к снижению качества освещения (в случае поломки светильников). Благодаря цифровым системам управления обеспечивается комфортная работа для персонала, экономия электроэнергии, а в случае общеобразовательных учреждений – продуктивная работа учащихся, поскольку качественное освещение положительно действует на человека: тонизирует, создает положительный настрой на умственную

деятельность и способствует улучшению процессов нервной системы, следовательно, цифровизация освещения актуальна в наше время.

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) выполняется разработка плана системы управления (СУ) освещением с использованием цифрового протокола передачи данных общеобразовательной школы в районе ул. Школьная микрорайона "Крутые ключи" Красноглинского внутригородского района городского округа Самара.

Целью ВКР является улучшение эффективности управления рабочей осветительной нагрузки выбранного объекта.

Данная необходимость разработки определяется:

- интеграцией и безопасностью системы (возможность настроить управление освещением, совмещая с работой охранных и прочих систем);
- балансированием нагрузки (обеспечить компенсацию потребления электроэнергии в период пиковых нагрузок);
- использованием естественного освещения и контролированием уровня светового потока (регулировать уровень освещенности от светильников в зависимости от естественного освещения и контролировать световой поток);
- базовой и индивидуальной настройкой каждого светильника (задать сценарий работы светильника или целой охватываемой зоны).

Для выполнения цели ВКР определен объект и предмет исследования. Разработка будет включать в себя план расположения оборудования на объекте, схемы щита управления и подключения цифровых устройств (графическая часть), электротехнический расчет освещенности, выбор и описание принципа работы цифрового оборудования.

1 Характеристика объекта выпускной квалификационной работы

Общеобразовательная школа в районе ул. Школьная микрорайона "Крутые ключи" Красноглинского внутригородского района городского округа Самара находится на этапе проектирования. Этажность школы 1 – 3 этажей и один подземный этаж (подвал).

На рисунке 1 представлен план расположения проектируемого объекта.

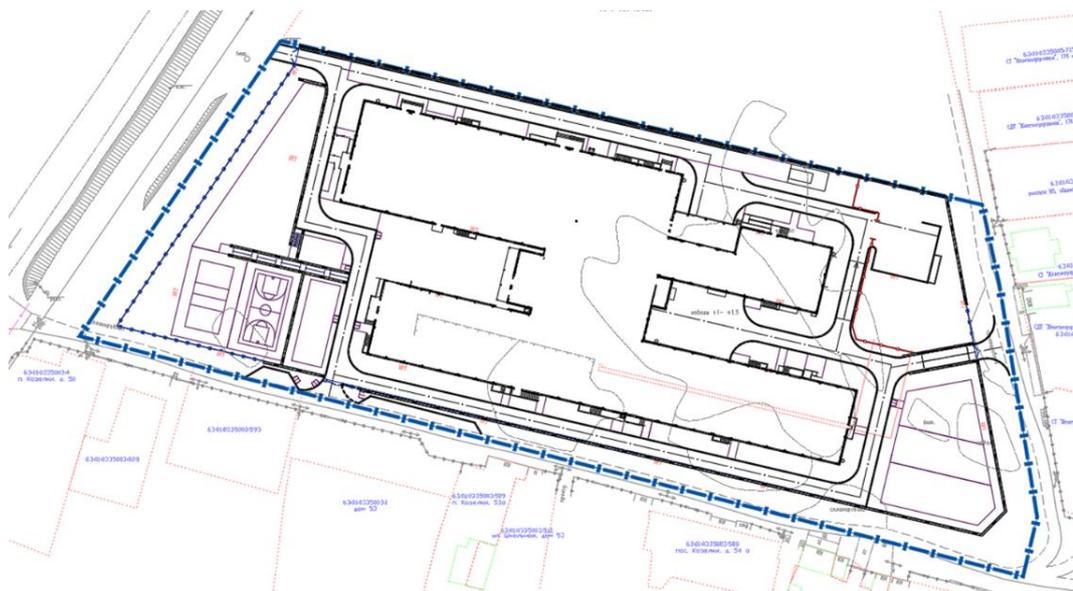


Рисунок 1 – План расположения проектируемой объекта на ул. Школьная

Данная школа рассчитана на 425 человек. Площадь объекта составляет 6710,6 м², а весь строительный объем (включая всю территорию школы) равен 77001,92 м². Также объект обладает собственной котельной, площадь которого равняется 66,9 м² и аккумуляторным резервуаром объемом 120 м³ по 3 шт. [7]

В состав территории общеобразовательной школы входит:

а) физкультурно-спортивная зона:

- 1) волейбольная площадка;
- 2) баскетбольная площадка;
- 3) площадка для подвижных игр и общеразвивающих упражнений;
- 4) универсальная площадка для общефизической подготовки;

5) площадка для прыжков в длину;

6) прямая беговая дорожка.

б) зона отдыха

1) площадка для отдыха обучающихся 1-х классов;

2) площадка для отдыха обучающихся 2-4-х классов;

3) площадка для отдыха обучающихся 5-9-х классов;

4) площадка для устройства общешкольных линеек.

Здание общеобразовательной школы подразделяется на шесть блоков: 1А, 2А, 3А, 4А, 5А, 1Б. План школы отражен на рисунке 2. [7]

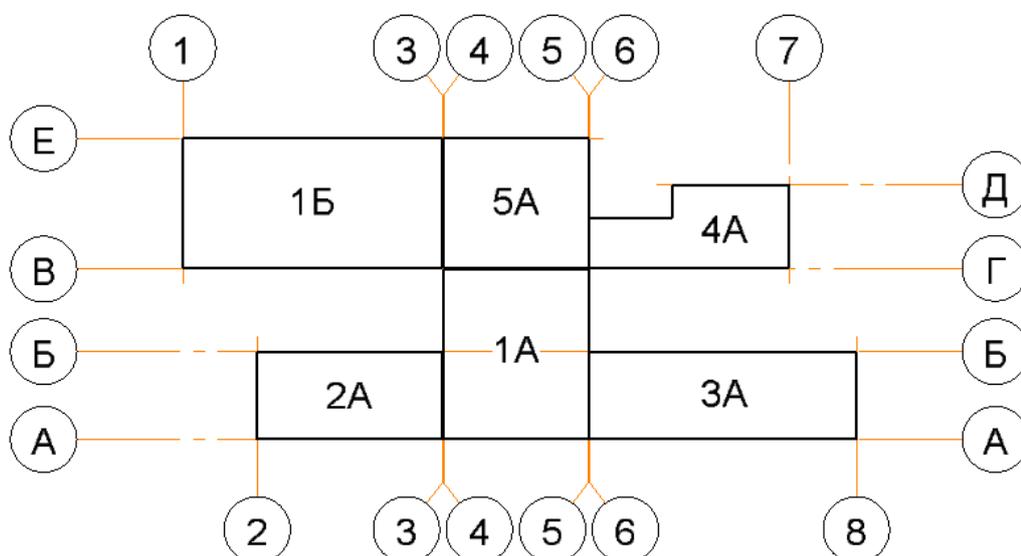


Рисунок 2 – План школы

Каждый из этих блоков имеет необходимые помещения, удовлетворяющие требованиям при проектировании общеобразовательного учреждения.

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) будут рассмотрены блоки 1А, 2А, 3А с отметкой 0.000 (1 этаж), поскольку выбранные блоки в своем составе имеют большое количество помещений, где можно наглядно отразить тему данной ВКР.

Экспликация помещений блоков (номер помещения на чертеже):

а) блок 1А:

- 1) вестибюль начальной школы (101);
- 2) санузел для персонала (102);
- 3) лестничная клетка (103);
- 4) лифтовый холл с пожаробезопасной зоной (104);
- 5) коридор (105),
- 6) гардероб для МГН начальной школы (106);
- 7) гардероб преподавателей начальной школы (107);
- 8) гардероб начальной школы 1-4 классы (108);
- 9) пост охраны (109);
- 10) гардероб средней школы 5-9 классы (110);
- 11) гардероб старшей школы 10-11 классы (111);
- 12) гардероб для МГН средней школы (112);
- 13) санузел для мальчиков (113);
- 14) санузел для девочек (114);
- 15) помещение уборочного инвентаря (115);
- 16) санузел для МГН (116);
- 17) комната личной гигиены девочек (117);
- 18) гардероб для преподавателей средней и старшей школы (118);
- 19) коридор (119),
- 20) вестибюль средней и старшей школы (120);
- 21) зона коворкинг (121);
- 22) тамбур (123, 124),
- 23) пожарный пост (126);
- 24) лестничная клетка (127);
- 25) комната ожидания для родителей (128).

б) блок 2А:

- 1) коридор (101),
- 2) рекреация (102),

- 3) учебный кабинет для 1 класса (103);
- 4) комната труда, моделирования и технической игрушки, изобразительного искусства, природы (104);
- 5) методический кабинет (105);
- 6) кабинет заместителя директора по УВР (106);
- 7) универсальное помещение для групп продленного дня 2 класса (107);
- 8) коридор при санузлах (108);
- 9) помещение уборочного инвентаря (109);
- 10) лестничная клетка (110);
- 11) санузел для мальчиков (111);
- 12) санузел для девочек (112);
- 13) санузел для МГН (113);
- 14) санузел для преподавателей (114);
- 15) ресурсный центр (115);
- 16) универсальное помещение для группы продленного дня с игровой и спальней на 15 человек 1 класс (116).

в) блок 3А:

- 1) коридор (101);
- 2) рекреация (102, 124);
- 3) лаборантская (103);
- 4) кабинет информатики и ИКТ (104);
- 5) лифтовый холл с пожаробезопасной зоной (105);
- 6) кабинет географии (106);
- 7) кабинет биологии (107);
- 8) кабинет истории (108);
- 9) кабинет русского языка (109, 110);
- 10) помещения для проектной, лабораторно-практической деятельности (111);
- 11) санузел для девочек (112);

- 12) санузел для мальчиков (113);
- 13) санузел для МГН (114);
- 14) комната личной гигиены преподавателей (115);
- 15) помещение уборочного инвентаря (116);
- 16) лаборантская (117);
- 17) рекреация (118);
- 18) тамбур-шлюз (119);
- 19) балкон-пожаробезопасная зона (120);
- 20) лестничная клетка (121, 122);
- 21) коридор (123).

Таким образом, помещения школы соответствуют санитарным нормам, а также соблюдаются стандарты по проектированию общеобразовательного учреждения. Общеобразовательная школа поддерживает установку и дополнительную разработку систем, которые обеспечивают автоматизацию используемого оборудования. Проектом предусмотрена система технического учета электроэнергии. Используются счетчики «Меркурий 234 ARTM-03 (D)PBR F04 с LoRa», которые имеют возможность подключения к системе сбора и передачи данных, поскольку данный объект потребляет 157 800 кВт·ч/год (согласно расчетам). [7]

1.1 Характеристика источников электроснабжения общеобразовательной школы в микрорайоне «Крутые ключи»

Источником электроснабжения для объекта Общеобразовательная школа в районе ул. Школьная микрорайона "Крутые ключи" Красноглинского внутригородского района городского округа Самара является РУ-0,4 кВ проектируемой ТП 6/0,4 кВ. Точками подключения к сетям электроснабжения являются:

- ВРУ-0,4 кВ проектируемой общеобразовательной школы (ввод 1, ввод 2);

– ВРУ-0,4 кВ проектируемой котельной (ввод 1, ввод 2).

Основной и резервный источник электроснабжения Ф-13 и Ф-20 ЦП ПС «Салют». [7]

Проектирование и строительство питающей сети внешнего электроснабжения и присоединение объектов к электрическим сетям осуществляет ООО «Самараэлектросеть».

Электроснабжение силового электрооборудования и электроосвещения объекта осуществляется от проектируемого ВРУ, состоящего из одной панели вводного (ВРУ) и двух панелей распределительного (ГРЩ) щитов, расположенных в помещении электрощитовой (блок 1А, отметка -3.600 м). Для питания потребителей I категории надежности согласно ПУЭ установлена панель на два ввода с автоматическим переключением (ШАВР). Для питания электроприемников СПЗ (I категория) устанавливается отдельная панель ПЭСПЗ, имеющая сертификат на использование в системе питания систем противопожарной защиты. [7]

Схема электроснабжения – радиальная, питающая сеть трёхфазная пятипроводная (TN-S) с разделением рабочего и защитного проводника. Режим работы нейтрали – глухозаземлённая. Питающие кабели от электрощитовой до силовых групповых щитков проложены по кабельнесущей системе из перфорированных лотков, смонтированной в подвальном этаже. Подъём кабелей распределительной сети на этажи выполнен по кабельным стоякам в строительных нишах. [7]

Однофазные электроприёмники распределены по фазам по возможности равномерно для исключения (минимизации) перекоса напряжений и снижения тока в N-проводнике. В панели ГРЩ предусмотрены резервные автоматические выключатели для подключения дополнительных электроприёмников. [7]

Для работы электроприёмников I категории предусмотрены панели с автоматическим переключением между основным и резервным источником электроснабжения (АВР). Кабели распределительной сети от АВР проложены

отдельно от остальных кабелей. Для электроприёмников, не допускающих даже кратковременного перерыва питания (персональные компьютеры охранной системы, серверы обработки данных) предусмотрены индивидуальные источники бесперебойного питания. Данные устройства учтены в разделе технологических решений. [7]

Основным потребителем электроэнергии здания общеобразовательной школы являются:

- персональные компьютеры;
- светильники системы рабочего и аварийного освещения;
- наружное освещение территории;
- сценическое оборудование актового зала;
- технологическое оборудование пищеблока;
- оборудование учебных кабинетов.

Основным потребителем электроэнергии инженерных систем здания являются:

- электрооборудование насосной и ИТП;
- лифтовые установки;
- тепловая завеса, электроконвекторы;
- приборы автоматической пожарной сигнализации, видеонаблюдения и СКУД;
- общеобменная и противодымная вентиляция.

Электроснабжение осуществляется от вводной панели ВРУ. Мощность по распределительным щитам (силовым, освещения, аварийного освещения, АВР) указана на однолинейной схеме распределительной сети.

Напряжение электроприёмников 0,23/0,4 кВ согласно ГОСТ 29322-2014 «Напряжения стандартные», частота 50 Гц. [7]

1.2 Характеристика аппаратов защиты общеобразовательной школы в микрорайоне «Крутые ключи»

Защита групповых линий от сверхтоков КЗ и перегрузок осуществляется комбинированными расцепителями автоматических выключателей. Характеристика расцепителей принята типа «С». Электроприёмники противодымной вентиляции защищены автоматическими выключателями типа МА без тепловых расцепителей с характеристикой типа «D». Розеточная сеть защищена от токов утечки дифференциальными автоматами с уставкой по дифференциальному току 30 мА. [7]

Защита групповых линий от дугового пробоя (искрения) осуществляется при помощи устройств защиты от дугового пробоя УЗДП. [7]

1.3 Сведения системы освещения общеобразовательной школы в микрорайоне «Крутые ключи»

В системе освещения помещений пищеблока, санузлов, душевых, подсобных помещений проектом предусмотрена система автоматического управления освещением на основе микроволновых датчиков движения и освещённости, встроенных в светильники. Включение светильников осуществляется индивидуально. При обнаружении датчиком движения в диапазоне 0,6-1,5 м/с происходит сравнение фактической освещённости в помещении с заданным значением. Если фактическая освещённость ниже заданной, осуществляется включение светильника. Время задержки работы при отсутствии движения задаётся вручную в диапазоне от 30 сек. до 5 мин. [7]

Аварийное освещение здания школы выполняет следующие функции:

- в нормальном режиме является охранным освещением;

- при нарушении работы системы рабочего освещения является освещением путей эвакуации, освещением зон повышенной опасности, а также антипаническим;
- при возникновении пожара является эвакуационным. [7]

В нормальном режиме работа аварийного освещения в ночное время (с 23.00 до 7.00) не требуется ввиду отсутствия в здании школы людей.

Управление включением аварийного освещения осуществляется посредством контакторов в щитах ЩАО. Сигналом на включение освещения является снятие напряжения с катушки контактора. Данное решение позволяет исключить невыдачу сигнала на включение при неисправности контрольного кабеля управления. Управление осуществляется со щита ЩУАО путём размыкания нормально закрытых сухих контактов по следующим сигналам:

- сигнал от фотореле о снижении уровня естественной освещённости (позволяет в светлое время суток экономить электроэнергию и не расходовать ресурс светильников)
- сигнал от таймера для отключения в ночное время независимо от сигнала фотореле;
- сигнал на включение с поста охраны независимо от времени и освещённости;
- сигнал от блока сигнально-пусковой системы АПС (включение при пожаре). [12]

Щит ЩУАО оснащён сигнализацией выдачи сигналов на включение аварийного освещения (сигнальные лампы на лицевой панели щита). Так же предусмотрена возможность управления аварийным освещением в ручном режиме, игнорируя сигналы фотореле и таймера.» [7]

Вывод по разделу:

Рассмотрены характеристики и сведения объекта ВКР:

- конструкции и состав здания (произведен выбор блоков школы для разработки системы освещения);

- аппаратов защит (данные сведения необходимы для защиты щитов освещения и шкафов управления);
- системы освещения (для реализации автоматизированной системы освещения требуются сведения по нормальному режиму работы светильников и о внедренных функциях на объекте).

В данном случае разработка будет включать только рабочее освещение, поскольку аварийное на данном этапе проектирования объекта уже включает в себя функции автоматизации и мониторинга. Для рабочего освещения предусмотрены светильники с уже встроенными датчиками движения в санузлах, душевых и пищеблоков, но в коридорах, учебных кабинетах и других зон используются традиционный метод освещения. В рассматриваемых блоках (1А, 2А и 3А) количество помещений с рабочим освещением имеется большое количество, что приводит в первую очередь к крупным затратам на электроэнергию. Чтобы осуществить систему управления рабочего освещения для такого количества используемых помещений, необходимо использовать открытый и доступный протокол передачи данных DALI. Выбранный протокол позволяет снизить затраты на электроэнергию, повысить надежность рабочего освещения, а также обеспечить контроль и мониторинг.

2 Цифровой протокол передачи данных DALI

Протокол передачи данных DALI (англ. Digital Addressable Lighting Interface рус. цифровой адресный интерфейс освещения). Данный протокол управления (ПУ) является цифровой адаптацией устаревшего протокола 0/1 – 10 В. [24]

Данный протокол является открытым и имеет обязательный сертификат, который позволяет совмещать устройства между собой, несмотря на производителя (то есть устройства будут работать с различными датчиками, контроллерами, драйверами, которые имеют сертификат DALI, что дает возможность использования от разных производителей).

ПУ DALI соответствует международной стандартизации IEC 62386-103. Также для оборудования, которое совмещено с протоколом, имеются отдельные стандарты. [23]

Для функционирования ПУ DALI применяются дополнительные исполнительные, управляющие и системные устройства. К исполнительным относятся диммеры, драйверы, светильники (допускается соединение 64 устройств в одном сегменте шины). К управляющим относятся контроллеры, которые подают команды на исполнительные устройства. К системным относятся шлюзы, усилители и блоки питания (могут быть встроенными в контроллеры). [22]

2.1 Устройства DALI

Протокол управления системой освещения (СО) DALI состоит из следующих компонентов: блок питания (для шины и проводки), устройств управления, ввода, шины, контроллера. На рисунке 3 показана схема работы ПУ СО DALI.

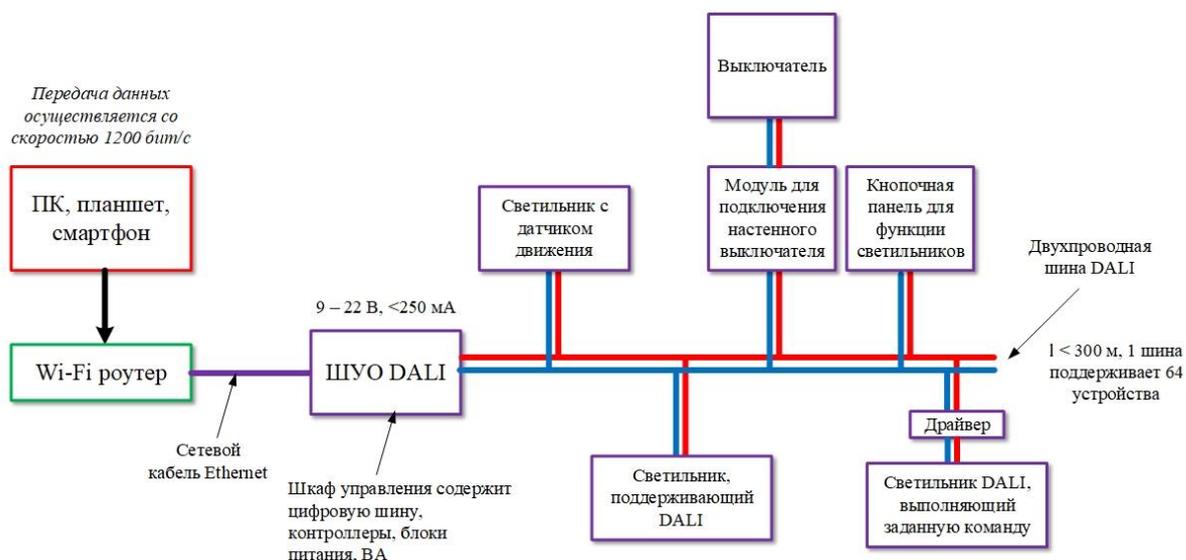


Рисунок 3 – Схема работы ПУ DALI

Электропитание системы осуществляется с помощью блоков питания (БП). БП может быть расположен отдельно в шкафу управления, либо быть встроенным в контроллер.

Драйвер необходим для адресации инструкций устройству, чтобы управлять им, а также изменять электрические параметры (ток и напряжение).

Контроллер отправляет команды и инструкции непосредственно самим устройствам, которые подключены к одной цифровой шине.

Мастер – это главная часть ПУ CO DALI. Мастер имеет параллельное подключение к цифровой шине. Задача мастера отправлять инструкции устройствам для их управления. Для получения информации мастер (концентратор) использует устройства управления, ввода, прикладные контроллеры или другие внешние устройства. Также мастер (концентратор) поддерживает возможность управления одним приложением или несколькими (то есть один или несколько пользователей могут управлять мастером). [4]

К исполнительным устройствам DALI относятся следующие виды:

- DT6 – обеспечивает контролирование яркости в светодиодных светильниках;
- DT7 – основывается на управлении реле: включение и отключение;

- DT8 – позволяет изменять цвет и температуру светодиодных светильников. [4]

2.2 Команды для управления системой освещения DALI

Протокол управления имеет определенные команды, от которых зависит работа устройств. Команды подразделяются на следующие виды:

- Широковещательные,
- Групповые,
- Индивидуальные.

Широковещательные команды выполняются устройствами, которые подключены к одной шине и имеют одинаковую задачу, то есть одну цифровую шину можно настроить, как одно устройство.

Групповые команды могут выполняться устройствами, которые определены к какой-либо группе, то есть в одной цифровой шине присутствует возможность сделать группу устройств, которые будут работать, как одно.

Индивидуальные команды соответственно выполняются отдельным единичным устройством, то есть, к примеру, только одному конкретному светильнику.

Помимо данных подразделений команд имеется возможность создавать свои сценарии освещения, в которых устанавливаются заданные параметры яркости, температуры, затухания светильников и так далее. Все это осуществляется с помощью программного обеспечения (ПО) на персональном компьютере (ПК). [4]

2.3 Принцип работы и способ передачи данных DALI

Команды с ПК (называются «Команды действий») передаются и обрабатываются управляющими устройствами через шину. Все это должно

происходить с требуемыми алгоритмами и стандартами ПУ, которые отражены в ИЕС 62386-101, 102, 103. Таким образом, при запуске системы необходимо, чтобы архитектура управляющих устройств (контроллеров) должна осуществлять совместимый режим с другими контроллерами и приложениями (чтобы избегать и устранять конфликты при получении команд), поскольку система является не статичной. [3]

При оптимальной системе обеспечивается связь между устройствами для ввода данных и контроллерами. Для это существует FF (*англ. Forward Frame*) и BF (*англ. Backward Frame*), что переводится как прямой и обратный кадр. Прямой FF и обратный BF кадр передают информацию с помощью манчестерского кодирования. Данный метод кодирования представлен на рисунках 4 и 5. [3]

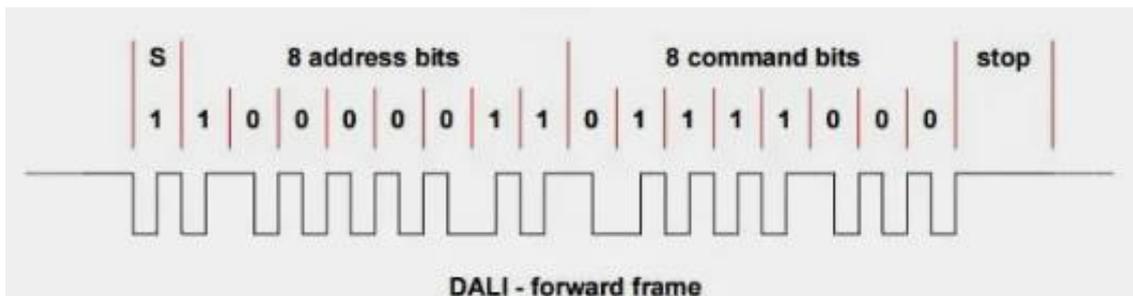


Рисунок 4 – Манчестерский код DALI FF

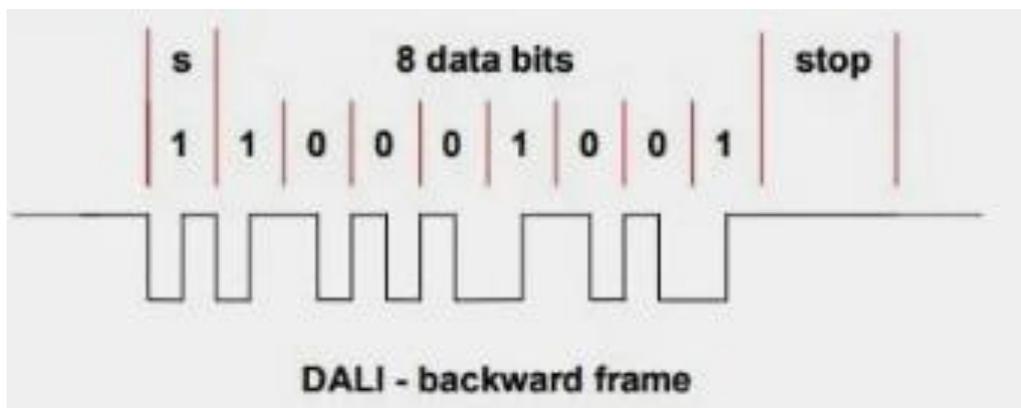


Рисунок 5 – Манчестерский код DALI BF

Манчестерское кодирование – это кодирование сигнала, в котором импульсы находятся в необходимых конкретных границах (пределах) для работы протокола. Рисунок 6 показывает границы импульсов для работы ПУ DALI.

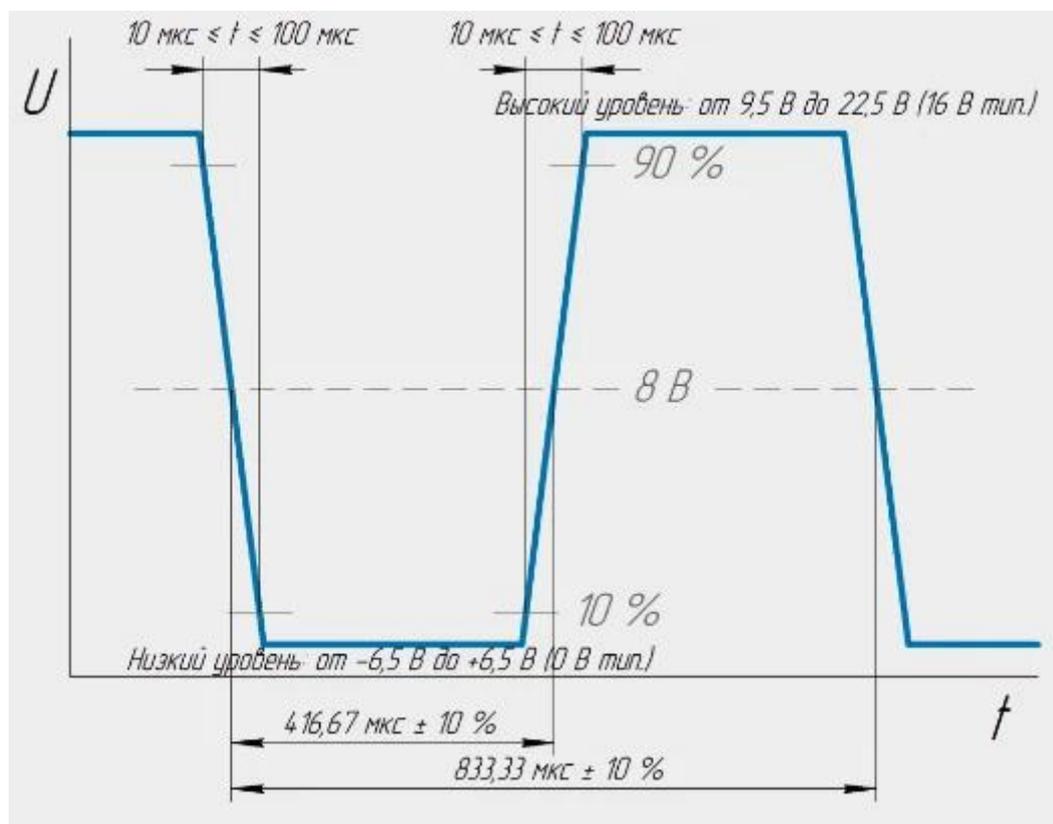


Рисунок 6 – Границы (пределы) импульсов работы ПУ DALI

Заданные пределы необходимы, чтобы обеспечить интерпретацию между устройствами ПУ и гарантированную обработку данных для принятия информации в протоколе.

Соответственно, FF и BF создают так называемые фреймы связи, где главная задача FF – это отправлять информацию (команды размером 2 байта) на устройства, а BF – возвращать ответную информацию (обратная связь размером 1 байт) на контроллер. Таким образом, обеспечивается двунаправленный метод связи. [3]

2.4 Архитектура протокола передачи данных DALI

Архитектура ПУ DALI строится на двухпроводной шине, по которой устройства обмениваются стандартизированными сообщениями. Для работы ПУ DALI необходимо на шине (контроллере) 16 В постоянного тока. Протокол не попадает в категорию безопасного сверхнизкого напряжения SELV, в связи с отсутствием гальванического разделения. Каждое устройство DALI потребляет ток, не превышающий 250 мА. Данные по шине передаются со скоростью 1200 бит/с (длина сообщения 1-3 байта), что обеспечивает высокую помехозащищенность и низкие требования к соединению проводов. Для прокладки шины используется медный двухжильный кабель сечением до 1,5 мм² и длиной 150-300 м (но в зависимости от длины, материала необходимо другое сечение). В таблице 1 приведены допустимые сечения в зависимости от расстояния при комнатной температуре. [21]

Таблица 1 – Допустимые расстояния в зависимости от сечения и материала

Материал	Диаметр шнура (мм ²)	Максимальное расстояние (м)	Материал	Диаметр шнура (мм ²)	Максимальное расстояние (м)
Медь	0,14	31	Алюминий	0,14	19
Медь	0,5	112	Алюминий	0,5	68
Медь	0,75	168	Алюминий	0,75	102
Медь	1	224	Алюминий	1	136
Медь	1,5	300	Алюминий	1,5	205
Медь	2	300	Алюминий	2	273
Медь	2,5	300	Алюминий	2,5	300

Из-за высокой помехозащищенности допускается размещение проводов управления совместно с питанием ~220В. «При этом могут применяться пятижильные кабели. При превышении длины >300 м необходимо использовать усилители и повторители сигналов. Управление режимом СО обеспечивается через специализированное программное обеспечение (ПО), устанавливаемое на персональном компьютере (ПК). Исполнительные

команды принимаются и выполняются управляющим устройством через шину. Отправка и получение информации осуществляются по соответствующими правилами последовательности.» [4] Отразим технические параметры в таблицу 2.

Таблица 2 – Технические параметры DALI

Параметр	Значение	Описание
Максимальное количество адресов	64	Максимальное количество отправки команд на устройства
Максимальное количество групп	16	Максимальное количество группировки устройств
Максимальное количество сцен	16	Максимальное количество сцен, которые можно задать
Напряжение шины	9,5 – 22,5 В (=16 В)	Рабочее значение напряжения 16 В постоянного тока (но не БСНН из-за отсутствия гальванической развязки)
Ток источника питания	8 мА – 250 мА	8 мА – 250 мА учитывает сопротивление линии. Максимальный ток обычно составляет 200 мА.
Максимальное допустимое падение напряжение	= 2 В	Падение напряжения происходит между любыми двумя узлами
Скорость передачи данных	1200 бит/с	Такая скорость хорошо защищает от помех
Длина кабеля	≤ 300 м	Максимальное расстояние между узлами

2.5 Преимущества протокола передачи данных DALI

Протокол управления DALI широко распространен и используется в городских сферах. Таким образом, можно выделить расширенные преимущества данного протокола.

Преимущества DALI для городских предприятий:

– экономия электроэнергии (за счет исполняющих устройств);

- возможность дистанционного управления (за счет мониторинга и подключения к персональному компьютеру через сетевой интерфейс Ethernet.);
- соответствует требованиям качества электроэнергии A+, A, A1, A2.

Преимущества интеграции DALI:

- открытый протокол (свободный доступ);
- разнообразные производители;
- различные виды устройств;
- свободная топология (соединение исполнительных устройств между собой.);

Преимущества при монтаже кабелей и шкафов управления DALI:

- совместная прокладка кабелей (слаботочную линию можно прокладывать вместе с силовой.);
- простые требования к подключению (Нет необходимости устанавливать на концах шины терминальные резисторы и строгое соблюдение полярностей у устройств.);
- простая настройка устройств к работе в приложении на компьютере.

На рисунке 7 отражена топология протокола DALI.

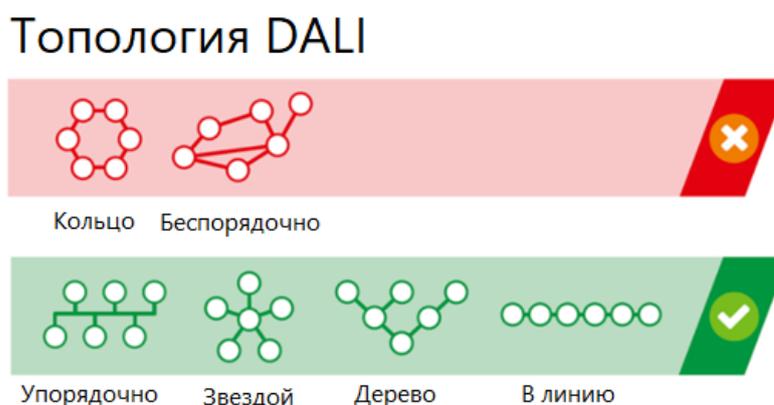


Рисунок 7 – Топология протокола DALI

Вывод по разделу:

Рассмотрен протокол передачи данных DALI. Данный протокол обладает расширенным функционалом, позволяющий гибко настраивать систему освещения под нужды каждого используемого помещения, и высокой помехозащищенностью. Открытость протокола играет роль в выборе необходимых исполняющих, системных и контролирующих устройств, так как имеется возможность совмещать различные комплектующие от разных разработчиков. Прокладка кабеля и монтаж исполняющих устройств не имеет сложную топологию, что упрощает проектирование данной системы с уже проложенными кабелями питания. При совместной прокладке кабелей управления и питания необходимо уже выбрать один пятижильный или же два кабеля одной марки (находящиеся в одной трубе), в которых будет фазовый, нулевой, заземляющий проводник переменного тока, а также два проводника DA+, DA- постоянного тока (данное решение принимается при утверждении объекта и монтаже).

3 Расчет искусственного и комбинированного освещения школы

Предварительно выбираем светильники, в которые внедрены модули DALI: UNI/R OPTIMA (595x595) 30W OPL 840 WH DALI (для установки в коридорах, холлах и рекреациях – L19); OPTIMA.OPL ECO LED 595 (50) HFD 4000K DALI (для установки в учебных кабинетах и различных аудиториях – L23). [12, 13]

При расчете освещения необходимо разбить блок общеобразовательного учреждения на две группы: искусственное и комбинированное освещение.

Выполнение светотехнического расчета осуществляется с помощью метода коэффициента использования. Данный метод позволяет произвести расчет равномерного освещения горизонтальных поверхностей с учетом различных типов светильников. Также необходимо принять нормированную освещенность в коридорах, рекреациях, учебных классах и зонах коворкинга согласно своду правил СП 2.4.3648-20 (пункт 2.8.5). Таким образом, в учебных классах принимаем 400 Лк, рекреациях – 200 Лк, зонах коворкинга – 150 Лк, коридорах – 75 Лк. Принимаем высоту потолков 3,3 м и рабочей поверхности 0,75 м по нормам СП 118.13330.2012. [14, 15]

3.1 Расчет искусственного освещения

Перейдем к расчету искусственного освещения в блоках 3А, 2А и 1А. Найдем индекс помещения, учитывая площадь помещения и его габаритные размеры, по следующему выражению.

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

где S – площадь помещения (м^2);

h – высота потолка (м);

A – длина помещения (м);

B – ширина помещения (м).

Данный коэффициент позволяет охарактеризовать использование светильника в применяемом помещении. Для расчета количества светильников необходимо определить коэффициент использования выбранного светильника с учетом коэффициентов отражения стен, пола и потолка. [10]

Коэффициенты отражения равны 80, 55, 45 и найдем коэффициент использования в справочной технической информации выбранных светильников. [12, 13]

Далее необходимо рассчитать количество светильников (формула 2).

$$N = \frac{E_{\text{норм}} \cdot S \cdot K_z}{K_u \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (2)$$

где $E_{\text{норм}}$ – нормируемая освещенность помещения (Лк);

K_z – коэффициент запаса (принимается 2);

K_u – коэффициент использования выбранного светильника;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток выбранного светильника (Лм).

Произведем расчет мощностей для каждого помещения. Суммарная активная мощность определяется по формуле 3.

$$P_{\text{сум}} = N \cdot P \quad (3)$$

где P – активная мощность светильника (Вт).

Для светодиодных светильников принимаем коэффициент мощности 0,95, а значит, что коэффициент реактивной мощности равен 0,329. Следовательно, найдем реактивную мощность светильников по следующей формуле. [10]

$$Q_{\text{сум}} = P_{\text{сум}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (4)$$

где $\text{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности светильника.

Определим полную мощность по следующей формуле.

$$S_{\text{сум}} = \sqrt{P_{\text{сум}}^2 + Q_{\text{сум}}^2} \quad (5)$$

Расчетная освещенность выполняется по формуле 6.

$$E_{\text{расч}} = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N}{S} \quad (6)$$

Расчетные параметры указаны при условии работы всех светильников без учета датчиков. Таким образом, расчеты активной, реактивной и полной мощности показывают максимальное потребление осветительных устройств (в том числе расчетную освещенность). Следовательно, сведем полученные результаты в таблицы 3 – 5.

Таблица 3 – Результаты расчетов искусственного освещения школы блока 3А

Блок 3А: (номер – название помещения, светильник)	Площадь помещения S , м ²	Индекс помещения i	Количество светильников N , шт.	Сумм. активная мощность $P_{сум}$, Вт	Сумм. реактивная мощность $Q_{сум}$, вар	Сумм. Полная мощность $S_{сум}$, ВА	Расчетная освещенность, $E_{расч}$, Лк
101 – коридор, L19	99,36	1,10	5	150,55	1,65	150,55	166,67
123- коридор, L19	142,07	1,23	8	227,92	2,50	227,93	176,47
105 – лифт. холл, L19	18,76	0,31	1	30,10	0,33	30,10	175,91
115 – комната преподавателей, L19	11,5	0,48	1	18,45	0,20	18,45	286,96

Таблица 4 – Результаты расчетов искусственного освещения школы блока 2А

Блок 2А: (номер – название помещения, светильник)	Площадь помещения S , м ²	Индекс помещения i	Количество светильников N , шт.	Сумм. активная мощность $P_{сум}$, Вт	Сумм. реактивная мощность $Q_{сум}$, вар	Сумм. Полная мощность $S_{сум}$, ВА	Расчетная освещенность, $E_{расч}$, Лк
101 – коридор, L19	179,04	1,26	9	271,27	2,97	271,29	166,67
115- ресурсный центр, L19	9,52	0,59	1	34,62	0,38	34,62	400,00
115 – вход в ресурсный центр, L19	11,48	0,50	1	37,95	0,42	37,95	287,46
108 – коридор в санузел, L19	16,48	0,53	1	22,47	0,25	22,47	200,24

Таблица 5 – Результаты расчетов искусственного освещения школы блока 1А

Блок 1А: (номер – название помещения, светильник)	Площадь помещения S , м ²	Индекс помещения i	Количество светильников N , шт.	Сумм. активная мощность $P_{сум}$, Вт	Сумм. реактивная мощность $Q_{сум}$, вар	Сумм. Полная мощность $S_{сум}$, ВА	Расчетная освещенность, $E_{расч}$, Лк
101 – вестибюль начальной школы, L19	116,48	1,43	7	201,06	2,20	201,07	189,87
	20,9	0,68	2	58,16	0,64	58,17	306,12
105- коридор, L19	79,3	1,29	5	156,72	1,72	156,73	217,39
	20,9	0,68	2	58,16	0,64	58,17	306,12
120 – вестибюль средней и старшей школы, L19	171,1	1,47	10	295,34	3,24	295,36	189,87
	18,6	0,70	2	51,76	0,57	51,77	311,96
	11,2	0,51	1	31,17	0,34	31,17	306,42
	19,6	0,65	2	54,55	0,60	54,55	306,42
	11,55	0,51	1	32,14	0,35	32,14	305,71
119 – коридор, L19	154,77	1,33	10	301,50	3,31	301,52	214,29
104 – лифтовой холл, L19	20,31	0,63	1	56,52	0,62	56,52	306,12

3.2 Расчет комбинированного освещения

Комбинированным называется освещение, которое включает в себя искусственный и естественный свет.

Для его выполнения используем те же формулы, которые были использованы при расчете искусственного освещения, но также добавляется коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Коэффициент естественной освещенности представляет собой отношение освещенности внутри помещения к наружной освещенности, получаемая от естественного света.

Данный коэффициент нормируется в СП 23-102-2003. «В силу большого разнообразия условий дневного освещения на территории РФ при одном и том же значении КЕО в разных географических пунктах внутри помещений одного функционального назначения будут разные уровни естественной освещенности. Для учета светового климата в разных регионах территория России разбита на группы административных районов по ресурсам светового климата» [16]

Самарская область относится к 2 группе ресурсам светового климата.

Для нахождения нормируемого значения КЕО в различных помещениях школы воспользуемся следующей формулой:

$$e_N = e_H \cdot m_N \quad (7)$$

где e_H – нормируемое значение КЕО для помещений (по СНИП 23-05-95);

m_N – коэффициент светового климата (принимается 0,9).

Полученные результаты сведем в таблицы 6 – 8.

Таблица 6 – Результаты расчетов комбинированного освещения школы блока 3А

Блок 3А: (номер – название помещения, светильник)	Площадь помещения $S, \text{ м}^2$	Индекс помещения i	Количество светильников $N, \text{ шт.}$	Сумм. активная мощность $P_{\text{сум}}, \text{ Вт}$	Сумм. реактивная мощность $Q_{\text{сум}}, \text{ вар}$	Сумм. Полная мощность $S_{\text{сум}}, \text{ ВА}$	Расчетная освещенность, $E_{\text{расч}}, \text{ Лк}$	Нормированное значение КЕО $E_n, \%$
103 – лаборантская, L23	17,66	0,71	4	156,22	1,12	156,23	1000,00	1,08
104 – каб. ИКТ, L23	85,24	1,77	14	641,74	4,59	641,76	851,06	1,08
102 – рекреация, L19	36,21	0,90	5	224,33	1,60	224,34	444,44	0,45
	31,62	0,83	5	207,42	1,48	207,42	470,59	0,45
118 – рекреация, L19	35,41	0,92	5	232,28	1,66	232,29	470,59	0,45
111 – лаб. Деятельность, L23	70,99	1,64	12	558,21	3,99	558,23	888,89	1,08
106 – каб. Географии, L23	67,91	1,61	11	533,99	3,82	534,01	888,89	1,35

Продолжение таблицы 6

Блок ЗА: (номер – название помещения, светильник)	Площадь помещения $S, \text{ м}^2$	Индекс помещения i	Количество светильников $N, \text{ шт.}$	Сумм. активная мощность $P_{\text{сум}}, \text{ Вт}$	Сумм. реактивная мощность $Q_{\text{сум}}, \text{ вар}$	Сумм. Полная мощность $S_{\text{сум}}, \text{ ВА}$	Расчетная освещенность, $E_{\text{расч}}, \text{ Лк}$	Нормированное значение КЕО $E_n, \%$
117 – лаборантская, L23	17,66	0,71	4	255,06	1,82	255,06	1632,65	1,08
107 – каб. Биологии, L23	88,37	1,79	15	694,88	4,97	694,89	888,89	1,35
108 – каб. Истории, L23	69,01	1,62	12	574,56	4,11	574,58	941,18	1,08
109 – каб. Русского языка, L23	69	1,62	12	574,48	4,11	574,49	941,18	1,35
110 – каб. Русского языка, L23	71,84	1,65	12	598,12	4,28	598,14	941,18	1,35

Таблица 7 – Результаты расчетов комбинированного освещения школы блока 2А

Блок 2А: (номер – название помещения, светильник)	Площадь помещения S , м ²	Индекс помещения i	Количество светильников N , шт.	Сумм. активная мощность $P_{сум}$, Вт	Сумм. реактивная мощность $Q_{сум}$, вар	Сумм. полная мощность $S_{сум}$, ВА	Расчетная освещенность, $E_{расч}$, Лк	Нормированное значение КЕО E_n , %
102 – рекреация, L19	101,64	1,45	8	377,81	2,70	377,82	266,67	0,45
107 – помещение для 2 класса, L23	69,73	1,63	12	548,30	3,92	548,32	888,91	1,35
103 – учебный каб. Для 1 класса, L23	70,92	1,64	12	557,66	3,99	557,68	888,66	1,35
116 – универсальное помещение, L23	67,39	1,60	12	529,90	3,79	529,92	888,91	0,9
104 – комната труда, L23	91,44	1,84	15	688,42	4,92	688,44	851,06	1,35
105 – учительская, L23	30,62	1,05	6	314,05	2,25	314,06	1159,42	0,9
108 – каб. УВР, L23	16,69	0,69	4	241,05	1,72	241,05	1632,65	0,9

Таблица 8 – Результаты расчетов комбинированного освещения школы блока 1А

Блок 1А: (номер – название помещения, светильник)	Площадь помещения S , м ²	Индекс помещения i	Количество светильников N , шт.	Сумм. активная мощность $P_{сум}$, Вт	Сумм. реактивная мощность $Q_{сум}$, вар	Сумм. полная мощность $S_{сум}$, ВА	Расчетная освещенность, $E_{расч}$, Лк	Нормированное значение КЕО E_n , %
101 – вестибюль начальной школы, L19	74,55	1,66	8	350,29	2,51	350,29	337,08	1,08
121– зона коворкинга, L23	88,46	1,79	9	411,03	2,94	411,04	333,33	1,08

Результаты расчета освещенности в указанных помещений соответствует требуемым стандартам.

Вывод по разделу.

Произведен светотехнический расчет методом коэффициента использования по предварительно выбранным светильникам с модулем DALI и с уже встроенными в проект. Светильники выбраны с каталога «Световые технологии». Посчитаны индексы помещения с учетом площади, а также расчетное количество светильников и освещенность. Результаты показывают, что обеспечивается требуемая освещенность во всех помещениях при искусственном и комбинированном освещении. При расчете комбинированного освещения учитывалось расположение школы, а также тип помещения для определения КЕО. Определена суммарная активная мощность всех светильников. Таким образом, мощность во всех трех блоках составляет 11,360 кВт. Самый большой блок по активной мощности является 3А – 5,678 кВт. Блок 2А является средним по мощности – 3,623 кВт. Соответственно, блок 1А – 2,058 кВт.

4 Расчет щита рабочего освещения и выбор силового кабеля

4.1 Расчет щита рабочего освещения

Щит освещения (ЩО) включает в себя следующие функции: распределение электроэнергии к осветительному оборудованию; защита устройств от токов перегрузки и коротких замыканий; коммутация присоединенных линий. [19]

В данном разделе рассчитывается щит рабочего освещения для светильников с модулем DALI и других принятых осветительных устройств в проекте школы.

Для расчета необходимо учитывать количество и мощность всех светильников, которые используются в рассматриваемых блоках школы: 1А, 2А и 3А. Для распределения электроэнергии, защиты оборудования и обеспечения коммутации в ЩО создаются группы отходящих линий. Также необходимо рассчитать ток для выбора кабелей по следующей формуле:

$$I_p = \frac{P_{\text{сум}}}{0,23 \cdot \cos\varphi} \quad (8)$$

где $\cos\varphi$ – коэффициент мощности для светодиодных светильников (принимается 0,95).

После распределения светильников по группам рассчитывается установленная и расчетная мощность щита.

Установленная мощность – это суммарная мощность всех групп электроприемников, входящие в ЩО, которая определяется по данному выражению. [19]

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{гр.1}} + P_{\text{гр.n}} \quad (9)$$

где $P_{\text{гр.n}}$ – коэффициент мощности для светодиодных светильников

Расчетная мощность оборудования определяется, как мощность, используемая оборудованием в момент времени. Для получения расчетной мощности необходимо учитывать коэффициент спроса. Коэффициентом спроса является отношение расчетной мощности к установленной.

$$P_p = P_{уст} \cdot K_c \quad (10)$$

где K_c – коэффициент спроса.

Для рабочего освещения данный коэффициент принимают равным 0,9 – 1,0 в зависимости от типа здания и мощности оборудования по СП 31-110-2003 (пункт 6.14) [17].

Последним этапом является расчет итогового тока щита рабочего освещения. Данный ток выполняется по формуле 11.

$$I_{щ0} = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot \cos\varphi} \quad (11)$$

Аварийные светильники не входят в данный расчет. Для них используется отдельный аварийный щит освещения (ЩАО), который уже посчитан в проекте общеобразовательного учреждения.

Отразим расчетные значения в таблицах 9 – 10.

Таблица 9 – Результаты расчетов щита рабочего освещения блока 3А

Светильники в блоке 3А			L19 UNI/R OPTIMA (595x595) 30W OPL 840 WH DALI	L23 OPTIMA.OPL ECO LED 595 (50) HFD 4000K DALI –	L7 CD LED 27 MS 4000K (крепление на потолок)	L3 ARCTIC.OPL ECO LED 1200 TH (+ms) 4000K	L10 OWP OPTIMA LED 300 IP54 4000K mat (+ms)
<i>P_{ном}</i> , кВт			0,03	0,046	0,022	0,034	0,016
ЩО – 3.2			Количество, шт				
<i>N</i> _э	<i>P_p</i> , кВт	<i>I_p</i> , А					
1	0,48	2,2	16	-	-	-	-
2	0,39	1,78	13	-	-	-	-
3	0,83	3,8	-	18	-	-	-
4	0,51	2,33	-	11	-	-	-
5	0,87	3,98	-	19	-	-	-
6	0,51	2,33	-	11	-	-	-
7	0,51	2,33	-	11	-	-	-
8	0,51	2,33	-	11	-	-	-
9	0,51	2,33	-	11	-	-	-
10	0,27	1,24	-	18	6	3	2

Таблица 10 – Результаты расчетов щита рабочего освещения блока 1А и 2А

Светильники в блоках 1А и 2А			L19 UNI/R OPTIMA (595x595) 30W OPL 840 WH DALI	L21 UNI/R OPTIMA OPL 940 WH	L23 OPTIMA.OPL ECO LED 595 (50) HFD 4000K DALI	L7 CD LED 27 MS 4000K (крепление на потолок)	L3 ARCTIC.OPL ECO LED 1200 TH (+ms) 4000K	L10 OWP OPTIMA LED 300 IP54 4000K mat (+ms)	L16 SLICK.OPL LED 50 with drive box 4000K	L17 SLICK.OPL LED 50 with drive box 4000K (+ms)
<i>P_{ном}</i> , кВт			0,03	0,04	0,046	0,022	0,034	0,016	0,05	0,05
ЩО – 5.1			Количество, шт							
<i>N</i>	<i>P_p</i> , кВт	<i>I_p</i> , А								
1	0,57	2,61	19	-	-	-	-	-	-	-
2	0,54	2,47	18	-	-	-	-	-	-	-
3	0,75	3,43	25	-	-	-	-	-	-	-
4	0,48	2,2	16	-	-	-	-	-	-	-
5	0,92	4,21	-	23	-	-	-	-	-	-
6	1,01	4,62	-	-	22	-	-	-	-	-
7	0,64	2,93	-	-	14	-	-	-	-	-
8	0,41	1,88	-	-	9	-	-	-	-	-
9	0,51	2,33	-	-	11	-	-	-	-	-
10	0,46	2,11	8	3	-	-	-	-	2	-
11	0,23	1,05	-	-	-	9	-	2	-	-
12	0,21	0,96	-	-	-	4	2	-	-	1

Следовательно, для ЩО – 3.2 установленная мощность $P_{уст} = 5,39$ кВт. С учетом коэффициента спроса 0,9 для данного щита расчетная мощность P_p равняется 4,85 кВт. Итоговый ток $I_{щ0} = 7,37$ А.

Для ЩО – 5.1 установленная мощность $P_{уст} = 6,73$ кВт. Коэффициент спроса приравнивается 1,0, поэтому расчетная мощность P_p приравнивается к установленной. Итоговый ток $I_{щ0} = 10,23$ А.

Защита оборудования осуществляется автоматическими выключателями с характеристиками «С» 10 А.

4.2 Выбор силового кабеля для рабочего освещения

Выбор силового кабеля является важным параметром для качественного и безопасного электроснабжения. Необходимо учитывать следующие параметры: мощность устройства, силу тока, напряжение сети, а также требуемую длину, тип здания и его функцию. Поэтому после выбора сечения и марки кабеля, следует обратиться в ГОСТ 31565-2012 для обеспечения пожаробезопасности.

Согласно расчетам мощности и тока для ЩО, которые указаны в таблицах 9 – 10, выбирается трехжильный кабель сечением 1,5 мм². Такое сечение удовлетворяет требованиям для мощностей осветительных нагрузок для блоков 1А, 2А и 3А.

В данной ВКР объектом является детское общеобразовательное учреждение, следовательно, нужно обеспечить повышенную безопасность, поэтому по данному ГОСТу (пункт 6, таблица 2) используем нг(А) – НФЛТх с маркой ППГ. Такой тип исполнения кабельного изделия используется «Для прокладки, с учетом объема горючей нагрузки кабелей, в зданиях детских дошкольных и образовательных учреждений, специализированных домах престарелых и инвалидов, больницах, в спальнях корпусах образовательных учреждений интернатного типа и детских учреждений» [1]

Вывод по разделу:

Произведен расчет щита рабочего освещения с последующим выбором кабеля питания светильников. В данном расчете учитывались блоки 1А, 2А и 3А, где ЩО - 5.1 отвечает за питание сразу двух блоков: 1А и 2А; ЩО - 3.2 питает только блок 3А. В соответствии с проектом школы посчитано количество светильников в каждом блоке. Все перечисленные светильники в таблицах 9 – 10 отражены в графической части ВКР. Также на чертежах выполнено подключение данных светильников на плане блоков помещений 1А, 2А и 3А с отмеченными щитами освещения. По результатам расчетов мощностей и токов выбран кабель питания светильников. К объекту ВКР предъявляется повышенное требование к безопасности, следовательно, обязательно необходимо, чтобы кабель не выделял при возгорании коррозионной-активные газообразные вещества и имел низкое выделение токсичных продуктов. Данным требованиям подходит трехжильный кабель ППГнг(А) – HFLTx сечением 1,5 мм².

5 Выбор и проверка исполняющих устройств DALI

Для осуществления работы системы управления DALI в блоках общеобразовательного учреждения 1А, 2А, 3А необходимо предварительно выбрать исполняющие устройства, а затем осуществить проверку: по току (не более 250 мА, но также нужно учесть запас 15% от максимального значения, то есть приблизительно 212,5 мА), количеству аппаратов на одну шину и групп. Всего протокол DALI поддерживает 64 устройства на одну шину, а также 16 групп (шин) для регулирования и отправки команд. Стоит отметить, что также важным параметром для проверки является длина кабеля (до 300 м), поскольку невыполнения данного условия приведет к дополнительным затратам на аппаратуру (установка усилителя сигнала DALI), но в рассматриваемых блоках при проектировании прокладки трасс требуемое условие выполнялось. [5, 6]

В блоках 1А, 2А и 3А применяются следующие исполняющие устройства DALI: датчики движения и освещенности, кнопочные панели, настенные модули для подключения. В коридорах без окон устанавливаются только датчики движения, а в тех местах, где имеются окна, применяются совмещенные устройства, то есть датчики движения и освещенности одновременно. В аудиториях, учебных кабинетах используются только датчики освещенности, кнопочные панели с настенными модулями, позволяющие настроить и регулировать освещение в помещении.

5.1 Выбор исполняющих устройств DALI

Предварительно выбираем следующее оборудование для осуществления системы освещения DALI в школе:

- датчик движения/освещенности инфракрасный «DALI Addressable MH-DN-IR (MSD-Da(b)1(r)1(c)1(a)8-1BPC)»;
- датчик движения «DALI MH-RDB-IR (MSD-Da(b)1(r)1(c)28-1BPC)»;

- датчик освещенности «DALI В.Е.Г. CdS-DALI/DSI-SM»;
- кнопочная панель с 8 клавишами «ME6 DALI 8K-DIM-1G-4S»;
- модуль подключения настенного выключателя «DA2-BTN».

Внешний вид выбранного оборудования отразим на рисунках 8 – 12.



Рисунок 8 – Датчик движения/освещенности MSD-Da(b)1(r)1(c)1(a)8-1BPC



Рисунок 9 – Датчик движения MSD-Da(b)1(r)1(c)28-1BPC



Рисунок 10 – Датчик освещенности В.Е.Г. CdS-DALI/DSI-SM



Рисунок 11 – Панель кнопочная ME6 DALI 8K-DIM-1G-4S



Рисунок 12 – Модуль DA2-BTN

Данный вид устройств контролируется системными и управляющим оборудованием, которое установлено в самом шкафу DALI. [12, 13]

5.2 Проверка исполняющих устройств DALI

Проверка оборудования заключается в соответствии с критериями работы протокола. Необходимо посчитать количество светильников, датчиков, модулей, кнопочных панелей и получить суммарное количество устройств на шину; групп на линию. Затем определить ток на шине. При расчете силы тока нужно учитывать ток потребления датчиков, драйверов у светильников, модулей, кнопочных панелей. Перечислим потребляемый ток у исполняющих устройств:

- драйверы светильников DALI – 2 мА;
- датчики движения/освещенности – 8 мА;
- модули для подключения – 2 мА;
- кнопочные панели – 4 мА.

Таким образом, ток на шине рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{DA} = \sum(N_{Ки.у} \cdot I_{Ки.у}) \quad (12)$$

где $N_{Ки.у}$ – количество определенного исполняющего устройства;

$I_{Ки.у}$ – ток потребления определенного исполняющего устройства.

Далее отразим полученные результаты расчетов шкафов управления освещением (ШУО) для блоков школы в таблицу 11 – 12.

Таблица 11 – Результаты расчетов ШУО DALI 2 блока 3А

Блок 3А (ШУО DALI 2)	Шина DALI 2.1	Шина DALI 2.2	Шина DALI 2.3
Светильники, шт.	35	42	33
Датчики, шт.	9	11	8
Модули, шт.	2	2	3
Кнопочные панели, шт.	2	2	3
Всего устройств, шт.	48	57	47
Ток шины, мА	154	184	148

Таблица 12 – Результаты расчетов ШУО DALI 1 блоков 1А и 2А

Блоки 1А и 2А (ШУО DALI 1)	Шина DALI 1.1	Шина DALI 1.2	Шина DALI 1.3	Шина DALI 1.4
Светильники, шт.	39	30	38	37
Датчики, шт.	12	8	13	15
Модули, шт.	2	3	-	-

Продолжение таблицы 12

Блоки 1А и 2А (ШУО DALI 1)	Шина DALI 1.1	Шина DALI 1.2	Шина DALI 1.3	Шина DALI 1.4
Кнопочные панели, шт.	2	3	-	-
Всего устройств, шт.	55	44	51	52
Ток шины, мА	186	142	180	194

Таким образом, все ШУО DALI в блоках школы удовлетворяют перечисленным критериям проверки. [5, 6]

Вывод по разделу:

Выбраны исполняющие устройства системы DALI с последующей проверкой данного оборудования: датчики, модули для подключения, кнопочные панели. Все устройства подобраны с каталога «Световые технологии». Также в проверку входили светильники DALI, поскольку они тоже относятся к исполняющему оборудованию. Проверка осуществлялась по количеству устройств на одной шине, групп, току и длине линии. Таким образом, по результатам проверок, которые указаны в таблицах 11 – 12, все условия выполняются. Проверка условия по максимальной длине шины DALI производилась на плане, так как на чертежах обозначены действительные размеры коридоров и помещений, следовательно, дополнительное оборудование для усиления сигнала не требуется.

6 Выбор комплектующих и кабеля для шкафа управления DALI

Выбор системных и управляющих устройств для ШУО представляет собой предварительный подбор оборудования, подходящее по совместимости с протоколом DALI. Немало важным фактором является то, что выбранные аппараты должны быть доступны на отечественном рынке. Затем к выбранному оборудованию необходимо определить мощность блока питания. Мощность блока питания определяется по мощности используемых комплектующих.

6.1 Выбор комплектующих для шкафа управления DALI

Предварительно выбираем коммутатор EDS-205A для подключения устройств с помощью интерфейса Ethernet. Данное устройство показано на рисунке 13.



Рисунок 13 – Коммутатор EDS-205A

Далее необходимо подобрать системное устройство, являющееся головным пунктом интеллектуальной системы DALI. Предварительно выбираем контроллер центральный «Ольхон» NC-2 (рисунок 14). [12, 13]



Рисунок 14 – Контроллер центральный модульный «Ольхон» NC-2 NCC-013-2-BW

К данному контроллеру необходимы модули расширения для инициализации шины DALI. Количество шин равняется количеству модулей в шкафу управления. Соответственно, используем модуль расширения «Ольхон» DALI EMC-Da33-1, способствующий работе и расширению и функций выбранного контроллера: организация работы устройств DALI, внедрение дополнительных устройств, измерение электрических значений в сети, а также осуществлять коммутацию различных нагрузок. Данный модуль отражен на рисунке 15. [12, 13]



Рисунок 15 – Модуль расширения «Ольхон» DALI EMC-Da33-1

Перейдем к выбору мощности блока питания. Сначала необходимо определить суммарное потребление активной мощности устройств ШУО DALI 1 (таблица 13).

Таблица 13 – Потребляемая мощность устройств в ШУО DALI 1

ШУО DALI 1	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт	Суммарная мощность, Вт
Коммутатор EDS-205A	3	1	3
Контроллер центральный модульный «Ольхон» NC-2	12	1	12
Модуль расширения «Ольхон» DALI EMC-Da33-1	5	4	20

Следовательно, для ШУО DALI 1 выбираем блок питания MDR-100-24 с мощностью 100 Вт, поскольку суммарная потребляемая мощность составляет 55 Вт.

Аналогичным способом определим для ШУО DALI 2 (таблица 14).

Таблица 14 – Потребляемая мощность устройств в ШУО DALI 2

ШУО DALI 2	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт	Суммарная мощность, Вт
Коммутатор EDS-205A	3	1	3
Контроллер центральный модульный «Ольхон» NC-2	12	1	12
Модуль расширения «Ольхон» DALI EMC-Da33-1	5	3	15

Таким образом, для ШУО DALI 2 выбираем тот же блок питания, поскольку суммарная потребляемая мощность составляет 30 Вт. Выбранный блок питания отражен на рисунке 16.



Рисунок 16 – Блок питания MDR-100-24

Защита выбранного оборудования производится с помощью вводного автоматического выключателя с характеристикой «С» 10 А. Для коммутации оборудования будет также использоваться автоматический выключатель с характеристикой «С» 6 А.

6.2 Выбор кабеля и описание работы системы управления

Для протокола DALI предъявляются те же требования, что и для кабелей электроснабжения. Соответственно, кабель управления выбирается по требованиям пожаробезопасности в общеобразовательных учреждениях (ГОСТ 31565-2012). Выбираем двухжильный кабель управления ППГнг(А) – HFLTx с сечением 1,5 мм². [1]

Перейдем к описанию работы разработанной системы управления освещением. Управление системой осуществляется с помощью ПК или смартфона, на которых установлено программное обеспечение (можно разработать свое приложение, либо использовать уже готовые в открытом доступе варианты: Simple DALI Configurator и Simple DALI Monitor). В данных ПО настраиваются группы, сценарии, устройства для коммутации светильников (используются порядковые номера, адреса для передачи команд к нужному ШУО. Например LS 1.2.3, где LS название исполняющего устройства (датчик освещенности); первая цифра является номером ШУО; вторая цифра – номер шины в шкафу; третья цифра – это порядковый номер устройства), а также контролируются параметры датчиков (фиксированное значение освещенности и автоматическое изменение в нужном диапазоне, порог дальности срабатывания, количество контролируемых светильников и другие) и производится мониторинг электрических параметров ШУО, состояние шин. Подключение к ПК реализуется с помощью сетевого кабеля Ethernet к роутеру/сетевому коммутатору, а затем к самому центральному контроллеру, установленному в ШУО.

Шкаф управления запитывается от блока MDR-100-24, который в свою очередь подключается к однофазной сети 230 В от щита освещения. Данный блок питания преобразует переменное напряжение в постоянное 24 В, а также ток до 4 А. Затем обеспечивает питанием коммутатор EDS-205A и центральный модульный контролер «Ольхон» NC-2 NCC-013-2-BW. Контроллер обеспечивает интеграцию оборудования в систему и работает

совместно с модулями расширения «Ольхон» DALI EMC-Da33-1, подключенные через шину IntraBUS (CAN). Центральный контроллер соединяется с программным обеспечением у пользователя и работает под его управлением, но еще имеет автономность (самостоятельное принятие решений в зависимости от настройки, либо при потере связи с пользователем). Измеряемые параметры контроллером остаются в памяти (так как имеет слот SD-Card и сохраняются в виде файла отчета). При восстановлении связи с пользователем контроллер обновляет измеряемые параметры без потерь. Модуль расширения принимает команды от контроллера и передает через шину DALI команды к исполняющим устройствам. Данный модуль имеет индикаторы, которые показывают состояние подключенных шин, и кнопки коммутации.

Все исполняющие устройства DALI подключены параллельно друг к другу. Топология прокладки шин в блоках школы происходит упорядочено, а также методом «Дерево» для удобства определения зон ответственности шин. На чертежах используются следующие обозначения устройств DALI:

- ШУО DALI X – шкаф управления освещением DALI, где X – номер шкафа;
- LS – датчик освещенности;
- MS – датчик движения;
- CS – датчик движения и освещенности;
- SW – кнопочная панель;
- BT – модуль настенный для подключения кнопочной панели.

Датчики движения установлены только в коридорах и холлах, которые с определенной настройкой или автоматически реагируют на шаги человека в пределах до 8 метров (то есть могут включаться моментально, либо производить плавное включение и выключение, а также изменять яркость по мере нахождения человека от датчика без выключения). Датчики движения расставлены так, чтобы брать под свой контроль от 2 до 4 светильников. В холлах установлены датчики, одновременно учитывающие изменение

освещенности от естественного света (алгоритм по движению тот же, что и в коридорах, и также имеется контроль освещенности в зависимости от времени суток). Соответственно, в аудиториях и учебных кабинетах установлены только датчики освещенности, которые можно применять для автоматического регулирования освещенности в зависимости от типа кабинета, но также имеются кнопочные панели совмещенные с настенными модулями для ручной настройки освещенности в различных местах кабинета, либо задать готовый вариант сценария освещения в помещении. Таким образом, в кабинетах учебный персонал может самостоятельно производить настройку освещенности, а для больших зон рекомендуется использовать ПО.

Вывод по разделу:

Осуществлен выбор комплектующих для шкафа управления DALI. Перечисленные устройства также взяты с каталога «Световые технологии». Выбраны системные и управляющие устройства. К системным относятся центральный контроллер, обрабатывающий и подающий команды. Управляющие оборудование представляет собой модули расширения, служащие для коммутации шин, измерений. По результатам проверок устанавливаются два шкафа управления в используемых блоках. Первый шкаф контролирует 1А и 2А, а второй только 3А. Выполнена проверка комплектующих по мощности для выбора необходимого блока питания. Определен двухжильный кабель управления DALI: ППГнг(А) – HFLTx с сечением 1,5 мм². Также приведено описание работы системы управления освещением.

Заключение

Цель выпускной квалификационной работы заключается в улучшении эффективности управления рабочей осветительной нагрузки общеобразовательной школы в микрорайоне "Крутые ключи" города Самары. Для достижения цели разработана система управления освещением.

Для начала рассмотрены характеристики и сведения об объекте ВКР. Выбраны блоки помещений (1А, 2А, 3А с отметкой 0.000 - 1 этаж) с большим количеством светильников, функция которых является обеспечение рабочего освещения в коридорах, холлах, учебных аудиториях и других зонах.

Изучены источники электроснабжения школы, сведения об освещении и аппаратах защит. Источником электроснабжения объекта является РУ 0,4 кВ проектируемой ТП 6/0,4 кВ. Основной точкой подключения к сетям электроснабжения является ВРУ-0,4 кВ проектируемой общеобразовательной школы. Используется радиальная схема электроснабжения школы, где питание обеспечивается трехфазной пятипроводной сетью (система заземления TN-S), глухозаземленная нейтраль. Для защиты групповых линий используются автоматические выключатели с характеристикой расцепителя «С» и устройствами защиты от дугового пробоя, а для вентиляции применяют без тепловых расцепителей (характеристика типа D). Розеточная группа защищена дифференциальными автоматами (уставка по току утечки 30 мА). Аварийное освещение обладает функциями автоматизации, а рабочее только частично, поэтому разработка велась только для рабочего освещения.

Для улучшения эффективности управления, повышении качества, расширения функционала, мониторинга рабочего освещения выбран протокол передачи данных DALI. Данный протокол используется для широкого управления освещением в административных, городских, а также промышленных типов зданий. Рассмотрена архитектура, принцип работы, команды, устройства и преимущества выбранного протокола.

Выбраны светильники с модулем DALI. При выполнении электротехнического расчета освещенности методом коэффициента использования учитывались те помещения, где используются светильники DALI. Определены зоны помещений, в которых применяется искусственное и комбинированное освещение. Данный расчет показал расчетную освещенность, необходимое количество светильников в каждом помещении (в соответствии с площадью помещения), расчетную суммарную активную мощность и нормированное значение КЕО. Результаты электротехнического расчета отражены в таблицах 3 – 8.

Рассчитаны токи и мощности щитов рабочего освещения в используемых блоках школы. ЩО – 3.2 (блок 3А), ЩО – 5.1 (блоки 1А, 2А), а также выбран кабель питания освещения. При вычислении использовались светильники с модулем DALI, а также уже внедренные в проект школы (с частичной автоматизацией). Для объекта ВКР используется кабель питания ППГнг(А) – HFLTx (3x1,5). Результаты вычислений сведены в таблицах 9 – 10.

Выбраны исполняющие устройства DALI: датчики, модули, кнопочные панели. Исполняющие устройства удовлетворяют условиям проверки для работоспособности линии DALI. По результатам проверки нет необходимости добавления устройств усиления сигналов. Исполняющие устройства показаны на рисунках 8 – 12, а результаты проверки в таблицах 11 – 12.

Определены комплектующие для шкафов управления DALI. Используются два шкафа управления: ШУО DALI 1 – 1А, 2А; ШУО DALI 2 – 3А. Выбран центральный контроллер, модуль расширения, коммутатор, а также блок питания. Используется кабель питания ППГнг(А) – HFLTx (2x1,5). Разрешается совместное прокладка кабелей управления DALI и питания, поскольку протокол обеспечивает высокую помехозащищенность.

Список используемой литературы и используемых источников

1. ГОСТ 31565-2012 Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. МГС., 2012, 9 с.
2. Естественное освещение [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/3622438/page:3/> (дата обращения 23.02.25)
3. Описания и отличие протоколов DALI от DALI 2 [Электронный ресурс] // Сайт компании KNX24 URL: <https://knx24.com/news/basics/dali/> (дата обращения 30.04.25)
4. Полное руководство по DALI [Электронный ресурс] // Сайт компании uPowerTek Store URL: <https://www.upowertek.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B5-%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D0%BE-dali/> (дата обращения 5.05.25)
5. Проектирование системы управления освещением AWADA на базе протокола DALI 2. Часть 1. [Электронный ресурс] // Сайт компании AWADA SYSTEMS URL: <https://awada.ru/proektirovanie-sistemy-upravleniya-osveshheniem-awada-na-baze-protokola-dali-2-chast-1/> (дата обращения 25.04.25)
6. Проектирование системы управления освещением AWADA на базе протокола DALI 2. Часть 2. [Электронный ресурс] // Сайт компании AWADA SYSTEMS URL: <https://awada.ru/proektirovanie-sistemy-upravleniya-osveshheniem-awada-na-baze-protokola-dali-2-chast-2/> (дата обращения 25.04.25)
7. Проектная документация «Общеобразовательная школа в районе ул. Школьная микрорайона “Крутые ключи” Красноглинского внутригородского района городского округа Самара» 007.1810/22-ИОС1
8. Расчет и проектирование естественного освещения помещений [Электронный ресурс] URL: <https://marhi.ru/kafedra/techno/physics/KEO.pdf> (дата обращения 23.02.25)

9. Расчет комбинированного освещения. Методическое пособие [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/9603439/page:27/> (дата обращения 23.02.25)

10. Самолина О.В., Вахнина В.В. Проектирование осветительных установок: электронное учебное пособие – Тольятти: издательство ТГУ, 2015 – 52 с.

11. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», М., 2021, 702 с.

12. Световые технологии основной каталог 2024 [Электронный ресурс] // Сайт компании ООО «МГК «Световые технологии» URL: <https://apibeta.ltcompany.com/upload/iblock/cd3/vdomq254s5gyljityzmimwwc2j20qhg9.pdf> (дата обращения 10.04.25)

13. Световые технологии основной каталог 2025/2026 [Электронный ресурс] // Сайт компании ООО «МГК «Световые технологии» URL: <https://apibeta.ltcompany.com/upload/iblock/610/59nkwp1v807qk3m9tnp3yka15g4fci5.pdf> (дата обращения 10.04.25)

14. Свод правил СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009. М., 2014, 13 с.

15. Свод правил СП 2.4.3648-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи. М., 2020, 22 с.

16. Свод правил СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий. М., 2005, 1 с.

17. Свод правил СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. М., 2004, 2 с.

18. Свод правил СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. М., 2011, 74 с.

19. Сибикин М.Ю., Сибикин Ю.Д., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2022. 250 с.

20. A Guide to Digital Addressable Lighting Interface [Электронный ресурс] URL: <https://www.na.mytechnology.portal.signify.com/dam/jcr:a3ed174c-d29a-4ee5-8b24-dfd142ec6368/ABC's%20of%20DALI%20Guide.pdf> (дата обращения 13.04.25)

21. DALI specification guide [Электронный ресурс] URL: <https://www.merihalektrik.com.tr/katalog/15.pdf> (дата обращения 13.04.25)

22. Digital Addressable Lighting Interface Wikipedia [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Addressable_Lighting_Interface (дата обращения 15.04.25)

23. Introducing DALI/DALI 2 [Электронный ресурс] URL: <https://www.dali-alliance.org/dali/> (дата обращения 13.04.25)

24. Lighting know-how DALI Manual [Электронный ресурс] URL: https://resources.tridonic.com/PDB/Ressource/Web_TR/brochures/es/DALI-manual.pdf (дата обращения 16.04.25)