



АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL

DOI 10.51885/1561-4212_2023_4_102
MPHTI 50.47.02

А.Б. Болатова¹, С.В. Григорьева¹, G. Gyorok², Е.А. Григорьев¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: bolatova.anar@mail.ru

E-mail: Sgrigorieva@ektu.edu.kz*

E-mail: egor1993grigoriev@gmail.com

²Обуда университет, г. Секешфехервар, Венгрия

E-mail: gyorok.gyorgy@amk.uni-obuda.hu

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОФИСНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ТОЧЕЧНОЙ НАСТРОЙКИ

НАҚТЫЛЫ БАПТАУ МҮМКІНДІГІ БАР КЕҢСЕНІ ЖАРЫҚТАНДЫРУДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ҰЙЫМДАСТЫРУ

ORGANIZATION OF AN OFFICE LIGHTING CONTROL SYSTEM WITH THE POSSIBILITY OF SPOT ADJUSTMENT

Аннотация. В данной статье описывается собственный подход при организации искусственной световой среды офисного помещения с общим пространством. Приводятся основные критерии современных систем освещения, которые необходимо учитывать при проектировании. Предлагается для создания энергоэффективной системы с большими функциональными возможностями интегрировать в существующую систему модуль управления освещением, который включает в себя светодиодные лампы со встроенными микроконтроллерами. Для управления уровнем освещенности и цветовым спектром, излучаемым светодиодным осветительным устройством в реальном времени, предлагается использовать портативный малогабаритный датчик. Система мониторинга и управления параметрами освещения построена с использованием беспроводной технологии передачи данных Wi-Fi. Система управления позволит осуществлять точечную индивидуальную настройку с учетом заданных рабочих параметров и требований пользователей.

Ключевые слова: интеллектуальная система, светодиодное освещение, беспроводная технология, встроенные системы.

Аңдатпа. Бұл мақалада жалпы кеңістігі бар кеңсе бөлмесінің жасанды жарық ортасын ұйымдастырудың өзіндік тәсілі сипатталған. Қазіргі заманғы жарықтандыру жүйелерінің негізгі критерийлері келтірілген, оларды жобалау кезінде ескеру қажет. Үлкен функционалдығы бар энергияны үнемдейтін жүйені құру үшін микроконтроллерлері бар жарықдиодты шамдарды қамтитын жарықты басқару модулін қолданыстағы жүйеге біріктіру ұсынылады. Нақты уақыттағы жарықдиодты жарықтандыру құрылғысы шығаратын жарық деңгейін және түс спектрін басқару үшін портативті шағын өлшемді сенсорды пайдалану ұсынылады. Жарықтандыру параметрлерін бақылау және басқару жүйесі Wi-Fi сымсыз деректер технологиясын қолдану арқылы жасалған. Басқару жүйесі берілген жұмыс параметрлері мен пайдаланушылардың талаптарын ескере отырып, нүктелік жеке баптауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: ақылды жүйе, жарықдиодты жарықтандыру, сымсыз технологиялар, кіріктірілген жүйелер.

Abstract. *This article describes a specific approach to organizing the artificial light environment of an office space with a common space. The main criteria of modern lighting systems are given, which must be taken into account when designing. It is proposed to create an energy-efficient system with great functionality to integrate a lighting control module into the existing system, which includes LED lamps with built-in microcontrollers. To control the level of illumination and the color spectrum emitted by the LED lighting device in real time, it is proposed to use a portable small-sized sensor. The system for monitoring and controlling lighting parameters is built using Wi-Fi wireless data transmission technology. The control system will make it possible to carry out point individual adjustment, taking into account the specified operating parameters and user requirements.*

Keywords: *smart system, LED lighting, wireless technology, embedded systems.*

Введение. Интерес к проектированию и продвижению интеллектуальных систем освещения базируется на развитии электронных устройств обработки информации, инфокоммуникационных технологий, а также стимулируется программами энергосбережения международного и республиканского уровнях [1, 2].

Статистические данные показывают рост производства и потребления электроэнергии в Казахстане. Ежегодно на нужды освещения расходуется почти 10 миллиардов кВт/ч., что составляет 12-14 % от всей производимой электроэнергии в стране [3]. Стоит отметить, что в Казахстане данный показатель расхода меньше мирового, который составляет 19 % [4]. Однако это связано не с использованием энергоэффективных осветительных приборов и внедрением современных систем управления освещением, а с высоким потреблением энергоресурсов в промышленности и самой энергетической отрасли.

Совокупный потенциал по снижению энергопотребления для Казахстана оценивается на уровне 30 % [5]. Сфера освещения относится к числу направлений с большим потенциалом энергосбережения. Доля потребления электроэнергии осветительными приборами в общественных и жилых зданиях в Казахстане составляет 40 %-60 %, что намного превышает показатель в европейских странах. Затраты на эти ключевые ресурсы постоянно растут и необходимо понимание того как эти ресурсы расходуются. Для этого необходимо управлять ими и оптимизировать их использование. При этом одна из возможностей «взять» ресурсы под контроль связана с системами освещения, которые можно сделать не только гораздо более экономичными, но и превратить в интеллектуальную инфраструктуру. Поэтому одним из приоритетных направлений по снижению энергопотребления является снижение энергозатрат на освещение в данном секторе.

Экономия потребления электроэнергии на освещение может быть достигнута за счет использования энергосберегающих осветительных ламп, а также за счет внедрения интеллектуальных систем управления.

Развитие полупроводниковой светотехники позволило использовать светодиоды в осветительных приборах для систем освещения. Мощные белые светодиоды, используемые в качестве источников света, отличаются длительным сроком эксплуатации, большим световым потоком при низком энергопотреблении, высоким качеством освещения, возможностью управления световым потоком без снижения технико-эксплуатационных характеристик. Высокая стоимость светодиодов освещения, которая сначала являлась отрицательным показателем и сильно влияла на пользовательский спрос, постоянно снижается. В сочетании с улучшением показателей надежности и бесперебойной работы, решением эксплуатационных проблем по подключению и монтажу, а также реальной экономии финансов за счет снижения энергопотребления фактор цены отходит на второй план. Энергосберегающие светодиодные светильники применяются для решения задач по освещению рабочего пространства в офисе. Они обеспечивают требуемый уровень освещенности, необходимую цветопередачу и контрастность для комфортной работы на протяжении всего заявленного срока эксплуатации.

От 40 % до 70 % электроэнергии затрачиваемой на освещение можно сэкономить за счет учета естественного освещения, отключения нагрузки без непосредственного присутствия людей в помещении и планирования различных сценариев световой среды [6-8]. Благодаря своим технико-эксплуатационным характеристикам светодиодные источники света предоставляют возможность проектировать интеллектуальные системы управления освещением рабочего пространства.

Основные критерии современных систем освещения, которые необходимо учитывать при проектировании заключаются в экономии электроэнергии и удовлетворении требований пользователей. Открытые офисные планировки – наиболее используемый тип офисного пространства, где освещенность каждой рабочей зоны является результатом совместного освещения от нескольких потолочных светильников. Существующие коммерческие проекты систем освещения для офисных помещений нацелены на снижение затрат потребляемой энергии и показывают хорошие результаты за счет использования различных подходов в системах управления [9-12]. Стоит отметить, что создание комфортной световой среды с учетом специфики работы и предпочтений пользователей, чаще всего упускается из виду или вообще не рассматривается. Кроме того, установка системы управления в существующих зданиях со сложившейся инженерной инфраструктурой требует больших финансовых вложений из-за необходимости глобальной модернизации.

Алгоритм интеллектуальной оптимизации освещения формулирует управление освещением как задачу линейного программирования, т.е. свести к минимуму потребление энергии и удовлетворить предпочтения пользователей. В настоящее время индивидуальному визуальному комфорту уделяется гораздо меньше внимания, чем энергосбережению. Исследования, проведенные в стандартных офисных помещениях, показывают положительную корреляцию между удовлетворенностью качеством световой среды и производительностью сотрудников. Приводятся данные о различиях в требованиях к освещению для реализации задач отличающихся по функциональному признаку [13, 14].

Чаще всего удовлетворение личного визуального комфорта рассматривается как противовес экономии энергии. Однако если пользователю предоставить возможность самостоятельно устанавливать настройки световой среды в соответствии с его предпочтениями дополнительно к существующей системе управления сценариями освещения, то можно повысить удовлетворенность пользователей без увеличения энергозатрат.

Организация индивидуальной комфортной световой среды является актуальной при проектировании систем управления освещением в офисе, поскольку осветительные приборы обычно подключаются и группируются в зоны, в которых обеспечивается одинаковое равномерное освещение. Повсеместное развитие и внедрение в эксплуатацию встроенных систем на основе микроконтроллеров позволяет внедрять современные методы автоматизации и управления для решения данной задачи [15]. Используя универсальность беспроводных сетевых технологий, встроенных в современные датчики и исполнительные механизмы можно создать интеллектуальную систему управления освещением, которая одновременно максимизирует удовлетворенность пользователей и экономит электроэнергию в офисах.

В данной работе авторами описывается собственный подход при проектировании интеллектуальной системы управления светодиодным освещением в офисном помещении с общим пространством. Предлагается использовать беспроводную технологию передачи данных для управления уровнем освещенности и цветовым спектром на основе встроенных систем для решения задачи эффективного управления электроэнергией и пространством одновременно.

Материалы и методы исследования. Основой для исследований и реализации собст-

венного подхода при проектировании интеллектуальной системы освещения офисного помещения с общим пространством явилась учебная лаборатория «Интеллектуальные системы управления жизнеобеспечением» разработанная на базе ВКТУ имени Д. Серикбаева. Внешний вид представлен на рис. 1.



Рисунок 1. Учебная лаборатория: 1 – Контроллер Siemens; 2 – Сенсорная панель;
3 – Светодиодный светильник

Управление всеми модулями системы осуществляется контроллером Siemens Simatic S7-400. Программное обеспечение позволяет осуществлять контроль и мониторинг параметров в помещении. Ресурсы программы расположены на веб-сервере и позволяют подключаться к системе удаленно. Предусмотрены уровни администрирования. Для визуализации и удобства управления система оснащена сенсорной панелью. При переходе в ручное управление возможно изменение сценария, задание новых настроек.

Данная система имеет следующие основные модули (рис. 2):

- модуль управления водоснабжением – контролирует отсутствие протечки в системе водоснабжения и водоотведения;
- модуль управления доступом – управляет доступом в помещение, а также осуществляет слежение за движением и присутствием людей в помещении для выполнения разработанных сценариев;
- модуль управления температурой – контролирует температурный режим в помещении и управляет задвижками нагревательной системы;
- модуль управления освещением – контролирует уровень освещения в комнате в зависимости от времени суток, управляет уровнем светового потока светодиодных ламп с учетом естественного освещения, а также в зависимости от информации полученной от модуля управления доступом в помещении включает/выключает все лампы в комнате.

Рассмотрим подробнее подсистему управления освещением. Подсистема работает на основе данных полученных с датчиков движения, установленных на дверных проемах и датчиков освещенности, установленных в середине потолка помещения. Алгоритм управления учитывает следующие параметры:

- датчики движения считают количество присутствующих людей в помещении. При входе в помещение автоматически включаются осветительные устройства. При отсутствии людей в заданный период времени происходит отключение освещения.

– датчики освещенности учитывают естественное освещение и регулируют уровень освещения в помещении в соответствии с заданным.

Такой подход является классическим при проектировании системы управления освещением.



Рисунок 2. Модули комплекса «Умный дом»

Результаты и их обсуждения. Большинство существующих проектов в системе «Умный дом» внедряют модули управления ориентированные на использование мощных контроллеров. Преимущества таких систем заключаются в больших вычислительных возможностях управления параметрами и интеграции большого количества устройств для организации комфортной среды. Однако отрицательным является большая цена, не полностью задействованные функционал и мощность такой системы, сложность интеграция в существующую инженерную и информационную инфраструктуру.

Нами предлагается для создания энергоэффективной системы с большими функциональными возможностями интегрировать в существующую систему модуль управления освещением, который включает в себя светодиодные лампы со встроенными микроконтроллерами, портативный датчик.

Встроенная система в целом представляет собой компьютерную систему, выполняющую определенную функцию как часть более сложной электрической или механической системы. В этом заключается отличие от персонального компьютера, который представляет собой вычислительное устройство общего назначения, которое можно использовать для множества различных приложений. Встроенные системы в основном выполняют очень простую задачу. Во многих случаях недорогой микроконтроллер можно использовать для приложений, не требующих больших вычислительных мощностей.

Область применения встроенных систем простирается от потребительских приложений до промышленных решений с возможностью хранения данных. Примеры применения встроенных систем – это могут быть базовые станции сотовой связи, системы управления полетом самолета, системы управления технологическими процессами и многие другие. Некоторые примеры промышленных хранилищ реализованных по данной технологии: регистрация данных, системы видеозахвата, наружная информационная вывеска, мониторы сердечного ритма, дефибрилляторы, системы центрального офиса [16].

Независимо от конкретного приложения, выполняемого встроенной системой, тщательный анализ системы определяет требования к устройствам хранения данных. Устройства флэш-памяти являются наиболее распространенными для этих приложений. На рынке есть много продуктов, которые могут удовлетворить требования. Эти устройства поставляются с широким спектром интерфейсов, потребляемой мощности (3,3-12 В) и используемых протоколов связи.

Основные элементы предлагаемой интеллектуальной системы освещения, построенной на базе встроенных систем, представлены на рисунке 3.

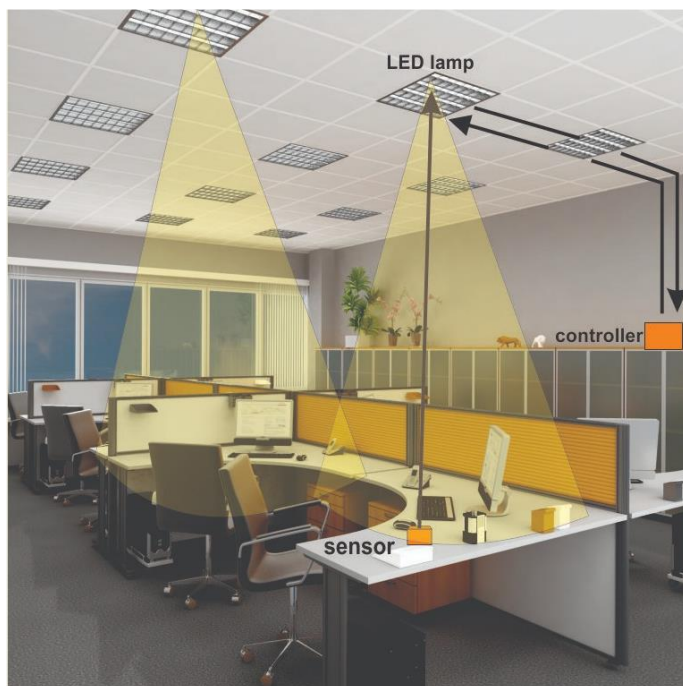


Рисунок 3. Управление светодиодной лампой со встроенным микроконтроллером

Опишем общий подход при проектировании системы.

Основные вычислительные мощности берет на себя мастер-контроллер. Предлагается использовать одноплатный компьютер Raspberry Pi, который на порядок дешевле промышленных контроллеров. Для удобства управления пользователем и визуализации работы системы дополнительно можно установить сенсорный монитор.

Ведомым устройством будут выступать светодиодные потолочные светильники. В данном случае целесообразно использовать от двух и более светильников.

Для мониторинга и управления используется собственный портативный малогабаритный датчик уровня освещенности и цветового спектра с низким энергопотреблением.

Для передачи данных и управляющих сигналов между элементами системы освещения используется беспроводная технология Wi-Fi. При таком подходе возможна как внутренняя (индивидуальная) настройка системы, так и подключение к общей сети с возможностью удаленного управления.

Современная микропроцессорная электроника позволяет разработать дешевый интеллектуальный осветительный прибор с возможностью управления и передачи данных по беспроводной технологии. Для реализации нами предлагается использовать микроконтроллер на чипе ESP8266 компании Espressif. Данный микроконтроллер зарекомендовал себя в настоящее время из-за низкой стоимости, а также предоставляемой возможностью по разработке устройств с поддержкой концепции «Интернет вещей» на основе передачи данных по сети Wi-Fi. Дополнительным преимуществом при выборе микроконтроллера является наличие отладочной платы NodeMCU.

Компанией Espressif предлагается новая линейка микроконтроллеров на чипе ESP32 с поддержкой беспроводной передачи данных по двум каналам связи Wi-Fi или Bluetooth, обладающей значительной вычислительной мощностью и обеспечением защиты передачи данных [17].

Оба чипа стали лидерами рынка концепции «Интернета вещей» в своих сегментах, обеспечивая подключение огромному количеству устройств по всему миру. Однако в нашем проекте нет необходимости переплачивать за большую функциональность, которая не будет использоваться.

По аналогии с осветительным прибором разрабатываемый нами портативный датчик будет оснащен таким же микроконтроллером ESP8266. Преимуществом выбранного микроконтроллера в конструкции датчика является его низкое энергопотребление, а также возможность работы в различных энергосберегающих режимах. Данный параметр очень важен в условиях портативного исполнения датчика. В разрабатываемом устройстве предлагается использовать два чувствительных фотоэлемента. Один из них будет реагировать на внешний уровень освещенности в помещении, а второй анализировать видимый спектр света. Оба параметра будут считываться в режиме реального времени.

Опишем алгоритм работы системы управления.

Пользователь устанавливает портативный датчик на рабочей поверхности. Для начала работы требуется его активировать. Процесс активации подтвердится световой индикацией на портативном датчике и на сенсорном экране мастер-контроллера. Следующий этап – это задание параметров. Это возможно как для группы датчиков, так и для каждого датчика в отдельности. Система может работать в двух режимах - пользовательском и автоматизированном. В пользовательском режиме человек находящийся в помещении параметризует систему самостоятельно в соответствии с его требованиями и предпочтениями. С помощью сенсорного экрана, связанного с

мастер-контроллером, пользователь может задать требуемые параметры освещенности рабочего места. Для снижения энергозатрат и установки оптимальных характеристик рабочей поверхности предусмотрен автоматизированный вариант освещения помещения.

После активации портативного датчика системе требуется определить его в пространстве помещения и произвести привязку к светодиодной лампе. Для этих целей система передает бинарную последовательность каждого осветительного прибора при помощи технологии связи на основе видимого света (Visible Light Communication). Фотоэлемент датчика считывает сигнал и передает мастер контроллеру. Происходит привязка осветительного устройства и измерительного прибора. Дальнейший алгоритм заключается в сравнении измеренных данных с заданными значениями и регулированию.

Заключение. Предлагаемая система управления освещением позволит в режиме реального времени регулировать оптимальный или заданный пользователем уровень освещенности рабочей поверхности. Используя простоту интеграции беспроводной сети с существующим осветительным оборудованием, светильники подключаются к портативному малогабаритному датчику по каналу Wi-Fi для обеспечения индивидуального переключения и регулировки яркости. Предложенный подход к организации системы управления светодиодным освещением позволит снизить вычислительные мощности в системе, избежать установки системы стационарных датчиков, а также обеспечить точечные и индивидуальные настройки с учетом заданных параметров работы.

Список литературы

1. «Об утверждении Концепции развития сферы энергосбережения и повышения энергоэффективности Республики Казахстан на 2023 - 2029 годы». Постановление Правительства Республики Казахстан № 790от 29.11.2017 г.
2. Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года от 26.09.2022.
3. Бабко А.Н., Инютин С.П. Энергетический и световой аудит в зданиях, сооружениях и уличном освещении. Астана: Издат-во «Nomad Trading», 2014. – 174 с.
4. International Energy Agency. Light's Labour's lost. Policies for Energy-efficient Lighting, OECD/IEA, 2006. – 516 p.
5. Grigoryeva S., Baklanov A., Titov D., Sayun V., Grigoryev E. Analysis energy efficiency of automated control system of LED lighting // International Siberian Conference on Control and Communications(SIBCON), Astana. – 2017. doi:10.1109/sibcon.2017.7998488.
6. Aussata Y., Rosmanisa A., Keshav S. A power-efficient selfcalibrating smart lighting system // Energy and Buildings. – 2022. – Vol. 259. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111874>.
7. Laborda M., Acosta I., Domínguez S., Lovillo R. Dynamic analysis of office lighting smart controls management based on user requirements // Automation in Construction. – 2022. – 133(3):104021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104021>.
8. Bouzid S., Mbarki M., Dridi C., Omri M.N. Smart Adaptable Indoor Lighting System (SAILS) // International Conference on Design & Test of Integrated Micro & Nano-Systems (DTS), Gammarth, Tunisia. – 2019. – Pp. 1-6. doi: 10.1109/DTSS.2019.8915261.
9. Bunjongjit S., Ananwattanaporn S., Ngaopitakkul A., Jettanasen Ch., Patcharoen T. Design and Application of Daylight-Based Lighting Controller on LED Luminaire // Appl. Sci. – 2020. doi:10.3390/app10103415.
10. Wagiman K.R., Abdullah M.N., Hassan M.Y., Radzi N.H.M. A new metric for optimal visual comfort and energy efficiency of building lighting system considering daylight using multi-objective particle swarm optimization // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 43. doi:10.1016/j.jobbe.2021.102525.
11. Suna F., Yua J. Indoor intelligent lighting control method based on distributed multi-agent framework // Optik. – 2020 – Vol. 213. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.164816>.
12. Kalani M.J., Kalani M. Energy cost control of LEDs considering the price of electricity and the

- desired lighting levels to meet the requirements of smart grids, smart cities, and unregulated energy markets // *Optik*. – 2022. – Vol. 258:168926. doi:10.1016/j.ijleo.2022.168926
13. Doulos L.T., Tsangrassoulis A. etc. Examining the Impact of Daylighting and the Corresponding Lighting Controls to the Users of Office Buildings // *Energies*. 2020. – Vol. 13(15). doi:10.3390/en13154024.
 14. Zarindast A., Sharma A., Wood J. Application of text mining in smart lighting literature - an analysis of existing literature and a research agenda // *International Journal of Information Management Data Insights*. – 2021. – vol. 1(2). 100032. doi:10.1016/j.ijime.2021.100032.
 15. Górecki K., Ptak P., Wnuczko S. The Embedded System to Control the Illuminance of an Office Workplace with LED Light Sources // *Energies*. – 2022. – 15(7):2406. doi:10.3390/en15072406.
 16. Gyorok G., Beszedes B. Highly reliable data logging in embedded systems // *16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*. – 2018. doi:10.1109/sami.2018.8323985.
 17. Announcing ESP32-C6: a Wi-Fi 6 + Bluetooth 5 (LE) SoC. Available online: https://www.espressif.com/en/news/ESP32_C6, 9.04.2021.

References

1. «Ob utverzhdenii Konceptcii razvitiya sfery energosberezheniya i povysheniya energoeffektivnosti Respubliki Kazahstan na 2023 - 2029 gody». Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan № 790ot 29.11.2017 g.
2. Konceptsiya razvitiya elektroenergeticheskoy otrasli Respubliki Kazahstan do 2035 goda ot 26.09.2022.
3. Babko A.N., Inyutin S.P. Energeticheskij i svetovoj audit v zdaniyah, sooruzheniyah i ulichnom osveshchenii. Astana: Izdat-vo «Nomad Trading», 2014. – 174 s.
4. International Energy Agency. Light's Labour's lost. Policies for Energy-efficient Lighting, OECD/IEA, 2006. – 516 p.
5. Grigoryeva S., Baklanov A., Titov D., Sayun V., Grigoryev E. Analysis energy efficiency of automated control system of LED lighting // *International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, Astana. – 2017. doi:10.1109/sibcon.2017.7998488.
6. Aussata Y., Rosmanisa A., Keshav S. A power-efficient selfcalibrating smart lighting system // *Energy and Buildings*. – 2022. – Vol. 259. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111874>.
7. Laborda M., Acosta I., Domínguez S., Lovillo R. Dynamic analysis of office lighting smart controls management based on user requirements // *Automation in Construction*. – 2022. – 133(3):104021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104021>.
8. Bouzid S., Mbarki M., Dridi C., Omri M.N. Smart Adaptable Indoor Lighting System (SAILS) // *International Conference on Design & Test of Integrated Micro & Nano-Systems (DTS)*, Gammarth, Tunisia. – 2019. – Pp. 1-6. doi: 10.1109/DTSS.2019.8915261.
9. Bunjongjit S., Ananwattanaporn S., Ngaopitakkul A., Jettanasen Ch., Patcharoen T. Design and Application of Daylight-Based Lighting Controller on LED Luminaire // *Appl. Sci*. – 2020. doi:10.3390/app10103415.
10. Wagiman K.R., Abdullah M.N., Hassan M.Y., Radzi N.H.M. A new metric for optimal visual comfort and energy efficiency of building lighting system considering daylight using multi-objective particle swarm optimization // *Journal of Building Engineering*. – 2021. – Vol. 43. doi:10.1016/j.jobbe.2021.102525.
11. Suna F., Yua J. Indoor intelligent lighting control method based on distributed multi-agent framework // *Optik*. – 2020. – Vol.213. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.164816>.
12. Kalani M.J., Kalani M. Energy cost control of LEDs considering the price of electricity and the desired lighting levels to meet the requirements of smart grids, smart cities, and unregulated energy markets // *Optik*. – 2022. – Vol. 258:168926. doi:10.1016/j.ijleo.2022.168926
13. Doulos L.T., Tsangrassoulis A. etc. Examining the Impact of Daylighting and the Corresponding Lighting Controls to the Users of Office Buildings // *Energies*. 2020. – Vol. 13(15). doi:10.3390/en13154024.
14. Zarindast A., Sharma A., Wood J. Application of text mining in smart lighting literature – an analysis of existing literature and a research agenda // *International Journal of Information Management Data Insights*. – 2021. – Vol. 1(2). 100032. doi:10.1016/j.ijime.2021.100032.
15. Górecki K., Ptak P., Wnuczko S. The Embedded System to Control the Illuminance of an Office Workplace with LED Light Sources // *Energies*. – 2022. – 15(7):2406. doi:10.3390/en15072406.
16. Gyorok G., Beszedes B. Highly reliable data logging in embedded systems // *16th World*

Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI). – 2018.
doi:10.1109/sami.2018.8323985.

17. Announcing ESP32-C6: a Wi-Fi 6 + Bluetooth 5 (LE) SoC. Available online:
https://www.espressif.com/en/news/ESP32_C6, 9.04.2021.
-
-