

УДК 004.738
doi:10.21685/2307-5538-2022-1-2

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ГОРОДСКОГО УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ IOT-ПЛАТФОРМЫ

М. С. Никитин¹, А. Ю. Тычков²

^{1,2} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ nikitin-m.s@mail.ru, ²tychkov-a@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Система управления освещением в городской среде направлена на повышение энергоэффективности осветительных приборов. Применение подобных систем позволит значительно сократить расходы на электроэнергию в городской среде. Целью исследования является нахождение и разработка оптимального решения для контроля уровня освещенности городских осветительных приборов в зависимости от активности движения транспортных средств и населения. *Материалы и методы.* Для исследования интеллектуальных городских систем управления освещением использовались методы анализа и синтеза аналогичных систем и методы моделирования и визуализации разработанного решения. *Результаты и выводы.* Исследована система интеллектуального городского освещения, способная регулировать интенсивность света в зависимости от активности движения на территории мониторинга. Предлагаемая система рассматривается как инструмент решения задач энергосбережения и основа для проектирования умного города.

Ключевые слова: умный город, умный свет, детектор движения, световая точка, интеллектуальное уличное освещение, IOT-платформа, ZigBee коммуникация, энергосбережение

Для цитирования: Никитин М. С., Тычков А. Ю. Система интеллектуального городского уличного освещения на основе IOT-платформы // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 1. С. 13–20. doi:10.21685/2307-5538-2022-1-2

SMART CITY STREET LIGHTING SYSTEM BASED ON IOT PLATFORM

M.S. Nikitin¹, A.Yu. Tychkov²

^{1,2} Penza State University, Penza, Russia

¹ nikitin-m.s@mail.ru, ²tychkov-a@mail.ru

Abstract. *Background.* Lighting control systems in urban environments aim to improve the energy efficiency of lighting systems. The introduction of such technologies will significantly reduce energy costs in the urban environment. The aim of the study is to find and develop an optimal solution for controlling the illumination level of urban lighting devices, depending on the traffic activity of vehicles and the population. *Materials and methods.* To study intelligent urban lighting control systems, methods of analysis and synthesis of similar systems, and methods of modeling and visualization of the developed solution were used. *Results and conclusions.* An intelligent urban lighting system capable of adjusting the light intensity depending on traffic activity in the monitoring area has been investigated. The proposed system is considered as a tool for solving energy conservation problems and the basis for designing a smart city.

Keywords: smart city, smart light, motion detector, light point, intelligent street lighting, IOT platform, ZigBee communication, energy saving

For citation: Nikitin M.S., Tychkov A.Yu. Smart city street lighting system based on IOT platform. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(1):13–20. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-1-2

Введение

В настоящее время рынок интеллектуальных систем управления освещением в городской среде активно развивается. По данным аналитических агентств [1], до 2025 г. в направлении «умный город» в мире будет инвестировано более 57 млрд долл. для обеспечения светодиодных уличных фонарей и 12,6 млрд долл. для интеллектуальных платформ управления.

По разным оценкам, внедрение интеллектуальных систем управления уличным освещением позволит снизить расходы на электроснабжение почти на 60 % [1]. В связи с этим по всему миру производится замена традиционных источников света (лампы накаливания, ртутные, натриевые лампы) на светодиодное освещение. Наиболее популярным становится объединение уличных фонарей в единую сеть и создание умных городских осветительных сетей как ключевого элемента «умного города».

Тенденция развития «умного города»

«Умный город» – это инфраструктура, которая использует технологии Интернета вещей, искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности (VR/AR), BigData для повышения уровня жизни граждан и удовлетворения их потребностей в экономических, социальных и культурных сферах [2].

Для создания умного города необходима основа, на которой строится система функционально связанных решений, способных к взаимодействию между собой. Современные города уже обладают необходимой инфраструктурой, что не потребует дополнительных вложений в развитие отрасли. Имеющееся уличное городское освещение создает важные предпосылки для создания интеллектуальной городской инфраструктуры. Световые точки в стандартных системах освещения работают в ночное время и лишены интеллектуальных модулей управления, что не энергоэффективно и не безопасно, особенно в условиях ограниченной видимости. Внедрение технологий IoT (Интернета вещей) в интеллектуальные системы управления позволит реализовать следующие функции «умного города»:

- автоматическое уведомление о неисправностях и отключениях в режиме реального времени;
- моделирование осветительной карты особо опасных участков городской местности (например, подъемы и спуски с поворотами автодороги);
- функция смены работы уличного освещения день-ночь с помощью GPS-датчиков (для автомобильных дорог с большой пропускной способностью потока);
- функция контроля освещения при неожиданном снижении уровня естественного света (в условиях недостаточной видимости) с помощью датчиков освещенности;
- дистанционное управление каждой отдельной световой точкой; группой точек или индивидуальные сценарии освещенности. С помощью индивидуального управления можно регулировать яркость осветительных приборов не линейными способами, а также контролировать каждое устройство в цепи, не отключая при этом всю линию;
- функция диммирования светильника с помощью датчиков движения.

Вышепредставленные функции умного городского освещения позволят реализовать новые городские возможности [3]:

- интенсивности движения;
- мониторинг и управление загруженностью автостоянок;
- управление отходами;
- измерение видимости на городских дорогах;
- контроль общественной безопасности;
- измерение концентрации вредных веществ (таких как аллергены или выбросы) в воздухе и т.д.

В концепции умного города световые точки могут быть преобразованы в узлы для измерения, приема и передачи данных в режиме реального времени. Сбор и передача данных могут осуществляться с помощью стандартизированных аппаратных средств и систем BigData или путем агрегирования приложений и систем, способных взаимодействовать друг с другом через API [4]. В результате будет создаваться структурированная база данных, которая может помочь в решении конкретной проблемы, возникшей в условиях городской среды. Это причина, по которой уличное освещение создает идеальные условия для создания инфраструктуры умного города с помощью умного света [5].

Эффективная взаимосвязь всех функций приведет к открытой платформе умного города, которая позволит интегрировать огромное количество систем и приложений.

Концепция умного городского освещения на основе IoT-платформы

Для создания умного города необходим мощный инструмент, каким является IoT-платформа. Интернет вещей [6] – это множество физических объектов, подключенных к Интернету для обмена данными в режиме реального времени как напрямую, так и через онлайн-серверы.

Концепция умного городского освещения на основе IoT-платформы предусматривает создание системы для мониторинга и управления освещением, используя технические возможности сетей Wi-Fi, GSM, ZigBee, LoRaWAN. Платформа должна быть основана на взаимосвязи конечных устройств, данные которых можно получать для обработки и анализа, и передавать в системы пользовательского интерфейса, включающие веб- или мобильные приложения. Она позволит использовать передовые функциональные возможности беспроводных сетей, что с точки зрения инфраструктуры является важной предпосылкой для «умного города» [7].

В настоящей статье представлено исследование городской системы интеллектуального управления освещением (ГСИУО) [8], способной регулировать интенсивность освещения в зависимости от активности движения на территории мониторинга. ГСИУО посредством исполнительных механизмов и коммуникационных узлов детектирует движение объектов, вычисляет скорость объекта и передает оператору информацию через единую сеть (рис. 1). Дополнительным назначением ГСИУО является контроль общественной безопасности, сбор данных о городском трафике, измерение концентрации вредных веществ в воздухе, автоматическое уведомление о неисправностях и отключениях в режиме реального времени и т.д.

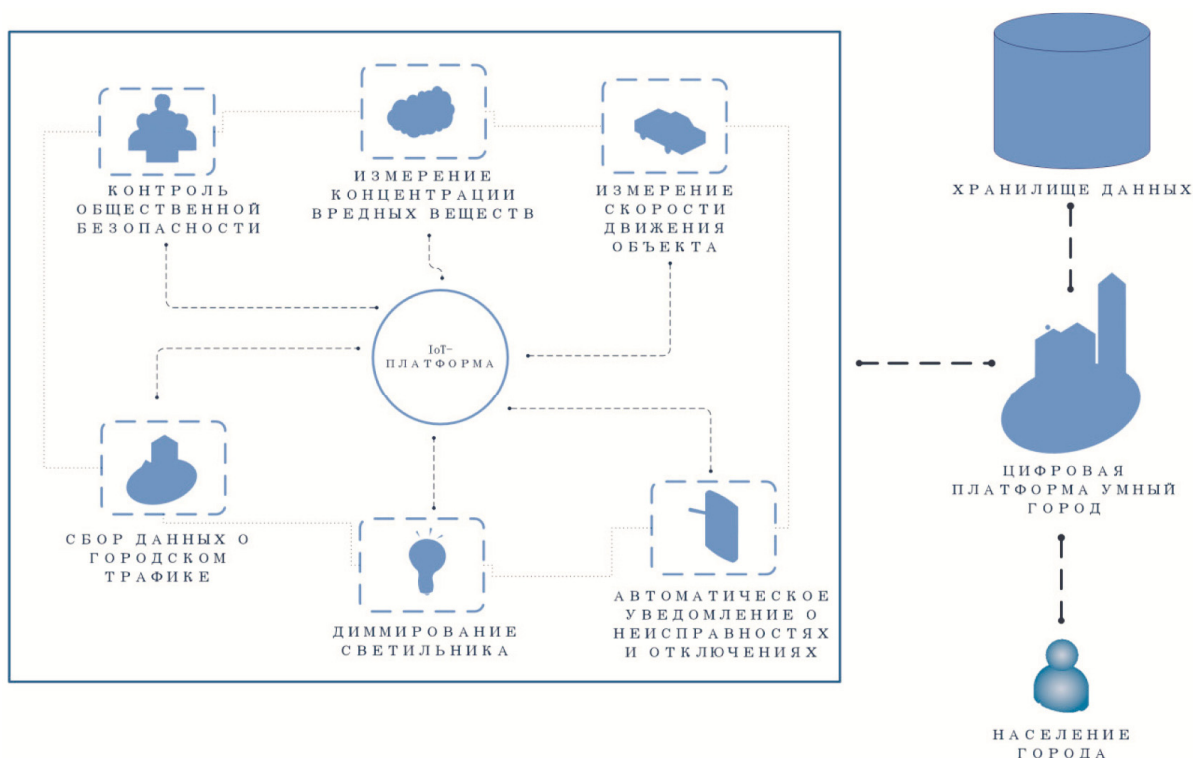


Рис. 1. Схема ГСИУО в умном городе

Каждая световая точка системы умного городского уличного освещения – это подсистема со своим уникальным порядковым номером. Подсистема состоит из микроконтроллера, микроволнового детектора движения, светильника и интерфейсного модуля.

Схема узлов одной световой точки системы интеллектуального городского уличного освещения показана на рис. 2.

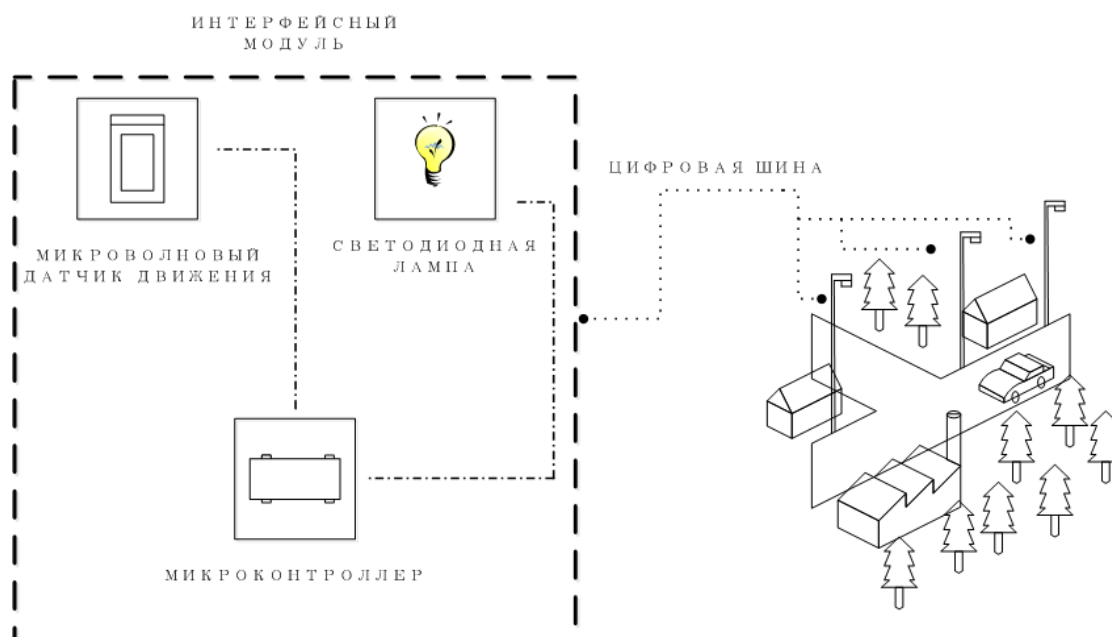


Рис. 2. Схема одной световой точки ГСИУО

Представленная система работает следующим образом. В отсутствии движения светильники работают на 20 % своей мощности. Если в зоне действия одной световой точки появляется движущийся объект (человек, транспортное средство и др.), срабатывает микроволновый датчик движения, который фиксирует информацию о его присутствии и измеряет параметры для расчета скорости движения объекта. Далее информация подается на микроконтроллер, где согласно полученным данным определяется скорость движения объекта, время за которое объект достигнет следующей световой точки, количество световых точек и их порядковые номера. Установленные по ходу движения объекта светильники будут плавно переключаться в режим повышенной мощности (100 %). Вся информация через цифровую шину передается микроконтроллером на интерфейсный модуль вместе с информацией порядкового номера другим световым точкам. По мере удаления объекта от световой точки светильник плавно гаснет до режима пониженного энергосбережения.

Главным аспектом при создании ГСИУО в умном городе является определение протоколов Интернета вещей для IoT-устройств, т.е. способов их подключения и взаимосвязи.

Протоколы передачи данных для умного города

К основным способам беспроводной передачи данных можно отнести WiFi 802.11ac (WiFi 5), 802.11ax (WiFi 6), сети поколений 4G и 5G (архитектура идентична WiFi 6), для параметрических данных Bluetooth, ZigBee и ранние версии WiFi (например, WiFi 4) (табл. 1) [9].

Таблица 1

Сравнительная характеристика беспроводных технологий

Показатели	Bluetooth	ZigBee	WiFi 4
Стандарт IEEE	802.15.1	802.15.4	802.11n
Частота	2.4 GHz	900 MHz/ 2.4 GHz	2.4GHz/ 5.1 – 5.8 GHz
Max bit rate, Mbit/s	1 Mbit/s	250 Kbit/s	450 Mbit/s
Ном. Диапазон, м	10	100	100
Количество радиоканалов	79	16	24
Максимальное количество узлов в сети	7	2 ⁶⁴	32
Время работы батареи, дней	1–7	100–1000	1–5

Протоколы беспроводной передачи данных, такие как Wi-Fi, GSM или Bluetooth, являются неподходящими для использования в системе интеллектуального уличного городского

освещения, где в условиях длительной работы требуется невысокая скорость передачи данных и высокий показатель энергоэффективности [10].

ZigBee – это открытый протокол верхнего уровня, который является оптимальным техническим решением для создания умного городского освещения. Связь в сети ZigBee осуществляется посредством передачи пакетов данных между координатором, маршрутизаторами и конечными устройствами [9]. Сеть имеет ячеистую систему, в случае выхода из строя одного из компонентов сети, пакеты данных отправляются на другой, т.е. сохраняется непрерывность информационного канала во времени.

Конечные устройства (узлы, функция которых детектировать информацию) умного городского освещения между собой не связаны, поэтому умный город большую часть времени находится в режиме энергосбережения (спящий режим). Протокол ZigBee выделяет под адрес устройства 16 бит информации, предоставляя возможность подключаться к сети до 65536 конечных устройств [11].

На рис. 3 представлена архитектура системы интеллектуального управления освещением, основанная на протоколе ZigBee [12].

При создании ГСИУО в умном городе следует обратить внимание на то, что каждая световая точка должна быть оснащена детектором для обнаружения движения. В настоящее время известно несколько типов подобных датчиков, различающихся по методам получения информации.

Типы обнаружения движения

Детекторы движения по принципу действия можно разделить на два типа [13]: пассивные и активные.

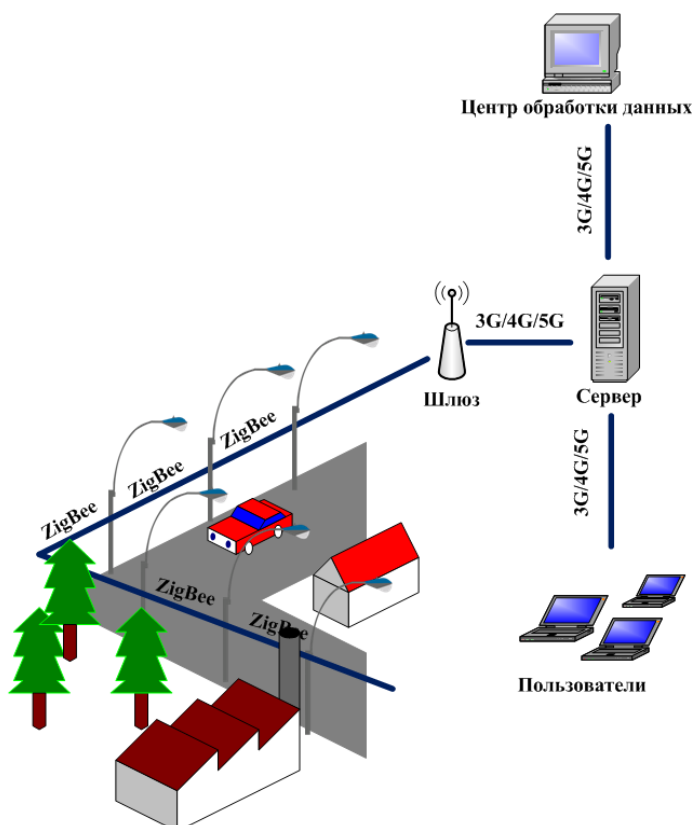


Рис. 3. Архитектура сети ГСИУО, основанная на протоколе ZigBee

Пассивные датчики движения не нуждаются в дополнительном источнике энергии. Пассивные ИК чувствительные элементы (чаще всего применяются пироэлектрические элементы, а датчики на их основе – PIR-датчики) реагируют на излучения дальнего и среднего ИК спектрального диапазона с длинами волн в интервале 4 ... 20 мкм (тело среднего здорового чело-

века излучает в диапазоне около 9 мкм). Принцип действия основан на детектировании излучений, исходящих от поверхности движущегося объекта в окружающую среду, причем имеющих более высокие температуры по сравнению с окружающей средой для формирования оптическим устройством на поверхности сенсора оптического контраста [14].

Активный датчик движения для своей работы требует источник внешней дополнительной энергии. Принцип их работы основан на приеме отраженных электромагнитных волн. Основными типами активных датчиков движения являются: радары, основанные на эффекте Доплера (микроволновые), и ультразвуковые датчики.

Радары, основанные на эффекте Доплера, – это детекторы, которые передают эталонный сигнал и принимают отраженный. Энергия может передаваться в виде любого излучения – электромагнитные волны ультразвукового или микроволнового диапазонов. При столкновении любых волн с объектом часть их энергии отражается. Когда объект движется по направлению к антенне или от нее, частота отраженного излучения меняется. При движении объекта от антенны частота отраженного сигнала уменьшается, а при приближении объекта – возрастает [15]. В момент времени, когда объект приближается к детектору под некоторым углом θ , частоту Доплера можно рассчитать по следующей формуле:

$$\Delta f = \frac{v}{\lambda_0} \cos \theta,$$

где v – скорость объекта; λ_0 – длина передаваемой волны; θ – угол между фактическим направлением движения и соединительной линией.

В доплеровских радарх частота линейно пропорциональна скорости движения объекта. В таких датчиках для определения скорости необходимо вычислить частоту Доплера и фазу направления смещения, при условии, что радиопередатчик будет вырабатывать высокочастотный радиосигнал не непрерывно, а короткими импульсами [16]. Таким образом, приемник получает сигнал только в строго заданном интервале времени с временной задержкой, пропорциональной расстоянию от антенны до объекта:

$$t_d = \frac{2D}{c},$$

где c – скорость света.

На рис. 4 показана схема микроволнового детектора движения.

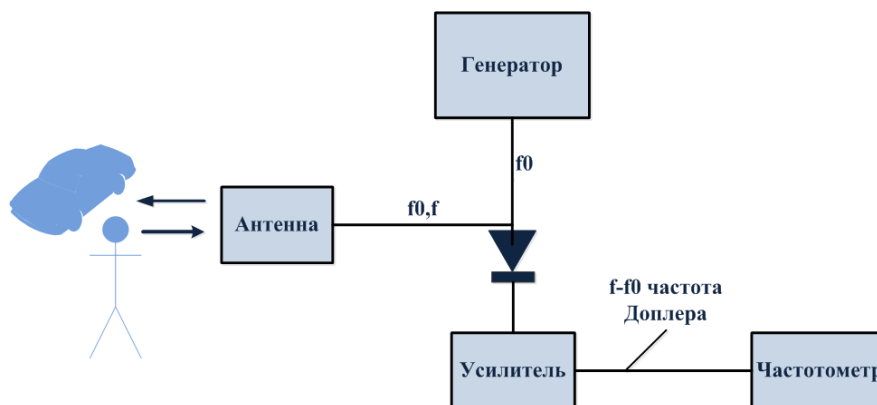


Рис. 4. Схема микроволнового детектора движения

Микроволновый радар, основанный на эффекте Доплера, является оптимальным решением для городской системы интеллектуального управления освещением, так как он [17]:

- не несет в себе оптических компонентов и может встроиться в систему без изменения внешнего вида светильника;
- имеет широкий температурный диапазон работы;
- не чувствителен к влиянию внешних погодных условий и препятствий;
- может определить скорость объекта и его наличие в зоне покрытия детектора.

Заклучение

Рассмотренная система направлена на интеллектуальное управление уличным освещением, способная регулировать интенсивность освещения в зависимости от активности движения на территории мониторинга.

Интеллектуальная система управления городским освещением разработана на основе концепции умного города и Интернета вещей (IoT) и предназначена для регулировки интенсивности освещения в зависимости от активности движения на территории мониторинга.

Список литературы

1. Iot.ru Новости интернета вещей – Управление уличным освещением. URL: <https://iot.ru/gorodskaya-sreda/upravlenie-ulichnym-osveshcheniem-kogda-v-rossii-stanet-svetlo-po-umnomu> (дата обращения: 07.09.2021).
2. Умный (Smart) свет в умном городе. URL: <https://www.intelvision.ru/blog/infrastruktura-v-umnom-gorode> (дата обращения: 08.09.2021).
3. Умный свет, как инфраструктура умного города. URL: <https://intelvision-ru.turbopages.org/intelvision.ru/s/blog/infrastruktura-v-umnom-gorode> (дата обращения: 19.09.2021).
4. Tetervenoks O., Avotiņš A., Fedorjana N. [et al.]. Potential Role of Street Lighting System for Safety Enhancement on the Roads in Future // IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2019). 2019. P. 349–353.
5. Кузьмин А. С., Шевченко К. Д., Азаров А. А., Широков И. Б. Интеллектуальное освещение улиц и дорог // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ-2017»: материалы 13-й Междунар. молодежной науч.-техн. конф. Севастополь, 2017. С. 116.
6. Что такое IoT и что о нем следует знать. URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/549550/> (дата обращения: 01.10.2021).
7. Как светодиоды сделают город умным. URL: <https://abclight.ru/blog/smart-city/> (дата обращения: 26.09.2021).
8. Марончук И. И., Шевченко К. Д., Широков И. Б., Мирончук В. И. Система интеллектуального светодиодного освещения // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 5. С. 440–450.
9. Ковалева А. А., Ковалева А. А., Ковалева Д. А. [и др.]. Протокол ZigBee беспроводной передачи данных // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 5-1. С. 206–210.
10. Кузяшев А. Н., Смолин А. Е. Интернет вещей, умный дом и умные города // Эпоха науки. 2021. № 25. С. 174–176.
11. Строева А. Р., Хлебужарова П. М. Интернет вещей: умный город // Цифровая парадигма развития общества: взгляд из будущего: сб. науч. тр. по итогам студ. науч.-практ. конф. Саратов, 2019. С. 117–118.
12. Водовозов А. М., Бурцев А. В. Интеллектуальная система уличного освещения на основе парадигмы Интернета вещей // Вестник Череповецкого государственного университета. 2021. № 3. С. 7–17.
13. Tetervenoks, O., Suskis, P., Stegura, J. Integration of Microwave Sensor into Low Cost Indoor LED Lamp – Element of Smart Lighting System // 5th IEEE Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering AIEEE. 2017. P. 64–67.
14. IoT в городе: сегодня и завтра. URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/549550/> (дата обращения: 01.11.2021).
15. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. С. 592.
16. Грачева А. А., Русанова Е. А. «УМНЫЙ ГОРОД» («SMART CITY»): Инновационное развитие территорий и цифровая трансформация экономики страны // Вектор экономики. 2018. № 10. С. 59.
17. Электротехнический форум Электро 51 – системы управления освещением по технологии LORAWan. URL: <https://forum.electro51.ru/index.php?topic=1373.0> (дата обращения: 01.11.2021).

References

1. Iot.ru Internet of Things News – Street Lighting management. (In Russ.). Available at: <https://iot.ru/gorodskaya-sreda/upravlenie-ulichnym-osveshcheniem-kogda-v-rossii-stanet-svetlo-po-umnomu> (accessed 07.09.2021).
2. Smart light in a smart city. (In Russ.). Available at: <https://www.intelvision.ru/blog/infrastruktura-v-umnom-gorode> (accessed: 08.09.2021).
3. Smart light as the infrastructure of a smart city. (In Russ.). Available at: <https://intelvision-ru.turbopages.org/intelvision.ru/s/blog/infrastruktura-v-umnom-gorode> (accessed 19.09.2021).
4. Tetervenoks O., Avotiņš A., Fedorjana N. [et al.]. Potential Role of Street Lighting System for Safety Enhancement on the Roads in Future. *IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2019)*. 2019:349–353.

5. Kuz'min A.S., Shevchenko K.D., Azarov A.A., Shirokov I.B. Intelligent lighting of streets and roads. *Sovremennye problemy radioelektroniki i telekommunikatsiy «RT-2017»: materialy 13-y Mezhdunar. molodezhnoy nauch.-tekhn. konf. = Modern problems of radio electronics and telecommunications "RT-2017" : materials 13th International. youth science and technology. conf. . Sevastopol, 2017:116. (In Russ.)*
6. What is IoT and what you should know about it. (In Russ.). Available at: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/549550/> (accessed 01.10.2021).
7. How LEDs will make the city smart. (In Russ.). Available at: <https://abclight.ru/blog/smart-city/> (accessed 26.09.2021).
8. Maronchuk I.I., Shevchenko K.D., Shirokov I.B., Mironchuk V.I. Intelligent LED lighting system. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob"edineniy SNG = Proceedings of higher educational institutions and energy associations of the CIS. 2018;61(5):440–450. (In Russ.)*
9. Kovaleva A.A., Kovaleva A.A., Kovaleva D.A. [et al.]. ZigBee wireless data transmission protocol. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018;(5-1):206–210. (In Russ.)*
10. Kuzyashev A.N., Smolin A.E. Internet of things, smart home and smart cities. *Epokha nauki = Epoch of Science. 2021;(25):174–176. (In Russ.)*
11. Stroeveva A.R., Khlebozharova P.M. Internet of things: smart city. *Tsifrovaya paradigma razvitiya obshchestva: vzglyad iz budushchego: sb. nauch. tr. po itogam stud. nauch.-prakt. konf. = Digital paradigm of society development: a view from the future : collection of scientific tr. based on the results of the student scientific and practical conference. Saratov, 2019:117–118. (In Russ.)*
12. Vodovozov A.M., Burtsev A.V. Intelligent street lighting system based on the Internet of Things paradigm. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Cherepovets State University. 2021;(3):7–17. (In Russ.)*
13. Tetervenoks, O., Suskis, P., Stegura, J. Integration of Microwave Sensor into Low Cost Indoor LED Lamp – Element of Smart Lighting System. *5th IEEE Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering AIEEE. 2017:64–67.*
14. IoT in the city: today and tomorrow. (In Russ.). Available at: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/549550/> (accessed 01.11.2021).
15. Frayden Dzh. *Sovremennye datchiki. Spravochnik = Modern sensors. Reference book. Moscow: Tekhnosfera, 2005:592. (In Russ.)*
16. Gracheva A.A., Rusanova E.A. "SMART CITY": Innovative development of territories and digital transformation of the country's economy. *Vektor ekonomiki = Vector of Economics. 2018;(10):59. (In Russ.)*
17. Electrotechnical Forum Electro 51 – lighting control systems using LoRaWAN technology. (In Russ.). Available at: <https://forum.electro51.ru/index.php?topic = 1373.0> (accessed 01.11.2021).

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Сергеевич Никитин

студент,

Пензенский государственный университет

(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: nikitin-m.s@mail.ru

Michael S. Nikitin

Student,

Penza State University

(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Александр Юрьевич Тычков

доктор технических наук,

профессор кафедры радиотехники

и радиоэлектронных систем,

Пензенский государственный университет

(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: tychkov-a@mail.ru

Alexander Yu. Tychkov

Doctor of technical sciences,

professor of the sub-department of radioengineering

and radioelectronic systems,

Penza State University

(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 17.06.2021

Поступила после рецензирования/Revised 24.06.2021

Принята к публикации/Accepted 29.09.2021