

© Александр Михайлович Водовозов^{1✉},
Александр Владимирович Бурцев², 2021

¹Вологодский государственный университет,
Вологда, Россия,

¹am.vodovozov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4900-2029>

²ООО «Системы и технологии»,
Вологда, Россия,

²burtsev35@yandex.ru

© Alexandr M. Vodovozov^{1✉}, Alexandr V. Burtsev², 2021

¹Vologda State University,
Vologda, Russia,

¹am.vodovozov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4900-2029>

²ООО “Sistemy i tekhnologii” (“Systems and Technologies”),
Vologda, Russia,

²burtsev35@yandex.ru

Интеллектуальная система уличного освещения на основе парадигмы Интернета вещей

Аннотация. В статье представлены результаты завершеного научно-исследовательского проекта, направленного на разработку аппаратных и программных компонентов городской архитектуры интеллектуального освещения на основе парадигмы Интернета вещей. Предлагаемая система способна регулировать яркость уличных светильников, используя данные анализа транспортных и пешеходных потоков на определенных сегментах дорог, за счет чего эффективно решается задача энергосбережения. В проекте системы освещения каждый светильник является элементом расширяемой компьютерной сети. Архитектура объединяет в себе различные подсистемы (локальные контроллеры, датчики движения, видеокамеры, погодные датчики) и электронные устройства, отвечающие за выполнение определенных операций: удаленное управление освещением, обработку видео, обнаружение движения, беспроводной обмен данными, анализ энергопотребления и оценку трафика. В более общем плане предлагаемую инфраструктуру уличного освещения, разработанную на основе парадигмы Интернета вещей, предлагается рассматривать как основу для создания единой городской широкотехнологичной архитектуры, направленной на предоставление целого ряда новых услуг.

Ключевые слова: интеллектуальное уличное освещение, Интернет вещей, сетевые технологии, ZigBee коммуникация, анализ транспортных потоков, энергосбережение.

Благодарность. Статья подготовлена при финансовой поддержке проекта НИОКР АААА-Б20-220111190033-5 «Патентно-информационное обеспечение НИОКР по интеллектуальной системе уличного освещения на базе Интернета вещей» с привлечением средств субсидии, выделенной администрацией Вологодской области ООО «Системы и технологии» для выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по проекту «Разработка интеллектуальной системы уличного освещения на базе Интернета вещей».

Intelligent street lighting system based on the IoT paradigm

Abstract. The article presents the results of a completed research project aimed at developing hardware and software components for urban architecture of smart lighting based on the IoT paradigm. The proposed system is capable of adjusting the brightness of street lamps based on the analysis of traffic and pedestrian flows on certain road segments, thereby effectively solving the problem of energy saving. In a lighting system design, each street-light luminaire is a part of an expandable computer network. The architecture combines various subsystems (local controllers, motion sensors, video cameras, weather sensors) and electronic devices responsible for performing certain operations: remote lighting control, video processing, motion detection, wireless data exchange, energy analysis and traffic estimation. Generally, the proposed street lighting infrastructure based on the IoT paradigm is considered to be a framework for developing unified urban high-tech architecture aimed at providing a whole range of new services.

Keywords: intelligent street lighting, Internet of things, network technologies, ZigBee communication, traffic analysis, energy saving.

Acknowledgement: The article was prepared with the financial support of the R&D project АААА-В20-220111190033-5 “Patent and information support for R&D on an intelligent street lighting system based on the Internet of Things” with the help of a subsidy allocated by the administration of Vologda Region to ООО “Sistemy i tekhnologii” (“Systems and Technologies”) for the implementation of research and development work on the project “Development of an intelligent street lighting system based on the Internet of Things”

Введение

По разным оценкам, до 40 % энергозатрат городов приходится на уличное освещение. По этой причине вопросы энергосбережения становятся ключевым моментом в проектировании систем уличного освещения, а интеллектуальные системы управления освещением, использующие Интернет вещей (IoT), в последнее время начали играть важную роль в новых проектах¹. Парадигма IoT предполагает, что в технической системе большинство устройств имеет встроенные датчики, программное обеспечение и коммуникационные технологии, такие как Wi-Fi, GSM, ZigBee. При этом центральное место в проектировании системы занимает выбор коммуникационных технологий, который, в свою очередь, тесно связан с конкретными приложениями.

Переход на светодиодное освещение стал первым этапом борьбы за энергосбережение в городах. Дальнейшего снижения энергопотребления можно добиться только в том случае, если управлять яркостью светодиодных светильников, собирая текущую информацию о дорожном движении и погоде, рассчитывая освещение «по требованию» для определенных сегментов территории. Основная идея заключается в

¹ Ахтямов Р. Ф., Капитанова А. А., Бурсов В. В. Системы уличного освещения в умных городах // Экономика и социум. – 2018. – № 11 (54). – С. 118–121; Pasolini G., Toppan P., Zabini F., De Castro C., Andrisano O. Design, Deployment and Evolution of Heterogeneous Smart Public Lighting Systems // Applied Sciences. – 2019. – № 9 (16). – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/16/3281> (дата обращения: 10.12.2020); Эннс О. Интеллектуальные системы уличного освещения // Энергосбережение. – 2008. – № 1. – С. 58–62.

поддержании освещенности на минимальном уровне, соответствующем стандартам безопасности для автомобильного и пешеходного движения¹.

Интеллектуальная система освещения в настоящее время рассматривается как ключевой инструмент сокращения потерь энергии². В статье представлена концепция разработки городской системы уличного освещения, способной регулировать интенсивность освещения в зависимости от активности движения в контролируемой зоне, естественного света и погодных условий. В то же время работа направлена на создание инфраструктуры системы, в которой каждый светильник может выполнять дополнительные функции. В общем плане новую инфраструктуру освещения предполагается рассматривать как основу более широкой технологической архитектуры, нацеленной на предоставление ряда услуг (управление энергопотреблением, мониторинг окружающей среды, мониторинг и управление движением и т. д.) для перспективного развития территории.

Основная часть

Адаптивная интеллектуальная архитектура уличного освещения

Предлагаемая система ориентирована на создание системы уличного освещения общего пользования, инфраструктура которой может обеспечить удаленное управление всеми объектами и «умное» регулирование освещенности территории в зависи-

¹ Burtsev A., Kolesnichenko D., Vodovozov A., Akhmetov T. R. Wireless sensor network for street lighting control // DEFIN '20: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (Saint Petersburg, 19–20 March 2020). – New York, USA: Association for Computing Machinery, 2020. – P. 1–3. <https://doi.org/10.1145/3388984.3390875>; Водовозов А. М., Лучников Я. А., Мурзаков Э. А. Интеллектуальная система уличного освещения на основе беспроводной сенсорной сети // Интеллектуальные информационные системы: теория и практика: сборник научных статей по материалам I Всероссийской конференции (Курск, 26–28 октября 2020 г.) / под редакцией Е. А. Бабкина. – Курск: Курский государственный университет, 2020. – Ч. 2. – С. 71–79; Бурцев А. В., Водовозов А. М. Адаптивная система управления уличным освещением // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XI Международной научно-технической конференции (Вологда, 22–23 марта 2016 г.). – Вологда: ВоГУ, 2016. – С. 42–47.

² Зотин О. «Умный» свет в «умном» городе. Часть I. Принципы // Полупроводниковая светотехника. – 2017. – № 4 (48). – С. 66–71; Kee K. K., Simon L. B. Y., Mohamad H. A., Lee K. Ch. An Energy-efficient Smart Street Lighting System with Adaptive Control based on Environment // Borneo Journal of Sciences and Technology. – 2020. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 48–57. <https://doi.org/10.35370/bjost.2020.2.1-09>; Андреев А. Н., Бурцев А. В., Водовозов А. М., Колесниченко Д. А. Адаптивная система управления уличной светоцветовой средой // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XII Международной научно-технической конференции (Вологда, 21 марта 2017 г.) / под редакцией В. А. Ракова. – Вологда: ВоГУ, 2017. – С. 23–26; Оразтаева М. А. Проектирование беспроводной сенсорной сети на протоколе ZigBee // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT–2016): сборник статей VI международной заочной научно-технической конференции / под редакцией Л. И. Ерохиной. – Тольятти: ПВГУС, 2016. – Ч. 2. – С. 129–135.

мости от времени суток, присутствия транспортных средств и пешеходов (с учетом погодных условий).

На рис. 1 изображена концепция предлагаемой инфраструктуры, предоставляющая следующие услуги: управление уличными фонарями; мониторинг дорожных и аварийных условий; оценку энергопотребления; дистанционное управление для настройки ежедневного графика освещения и мониторинга тревог; удаленную связь между светильниками, веб-приложением и мобильными приложениями на основе 3G / 4G / Wi-Fi соединения.

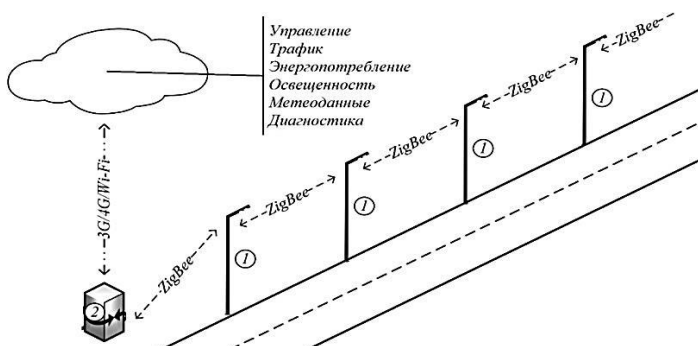


Рис. 1. Концепция интеллектуального уличного освещения
1 – интеллектуальные светильники; 2 – шлюз

Инфраструктура сети основана на спецификациях IEEE 802.15.4 и реализована протоколом связи высокого уровня ZigBee. Она предполагает наличие интеллектуальных светильников, содержащих устройства локального управления, видекамеры с блоком обработки видео, датчики погоды, устройства связи и светодиодные излучатели. Светильники могут обмениваться данными между собой и через шлюз с помощью веб-приложения, доступны для удаленного управления. Режимы работы умного светильника можно резюмировать следующим образом:

- в дневное время – включены функции мониторинга трафика: все данные о трафике извлекаются в режиме реального времени посредством обработки видео;
- в ночное время – все интеллектуальные функции включены, освещение территории осуществляется на основании данных о присутствии транспортных средств или пешеходов; интенсивность света поддерживается на минимальном значении, предписанном правилами;
- аварийное состояние по умолчанию – активируется для обеспечения общественной безопасности¹ при потере связи или повреждении компонентов системы. В этом режиме все интеллектуальные функции отключены, система работает как традиционная автономная система освещения.

Интеллектуальность инфраструктуры достигается за счет следующих основных элементов: обнаружения присутствия транспортных средств и пешеходов на контро-

¹ Веденева Л. М., Носков В. В., Попов А. П. Влияние уличного освещения на безопасность города // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Безопасность и управление рисками. – 2016. – № 5. – С. 150–161.

лируемой территории; диммирования светильника в зависимости от текущего времени, движения и погодных условий; обеспечения достаточного уровня яркости в соответствии с требованиями безопасности; обмена информацией и оповещения удаленного центра управления и контроля.

В различных сценариях могут быть использованы два вида умных светильников: мастер-светильник, оснащенный детектором движения, метеостанцией и диммирующими драйверами, или ведомый светильник, оборудованный только диммирующими схемами.

Мастер сохраняет текущую настройку освещения до тех пор, пока не изменится уровень освещенности окружения или погодные условия, либо пока не будут обнаружены новые условия движения.

Сетевая инфраструктура

Архитектура системы (см. рис. 2) использует локальные и удаленные каналы связи. Локальный канал позволяет обмениваться данными между светильниками, удаленный канал – между светильниками и удаленным сервером. Кроме того, удаленный канал дает возможность централизованно просматривать собранные данные (энергопотребление, состояние дорожного движения, погодные условия и т. д.).

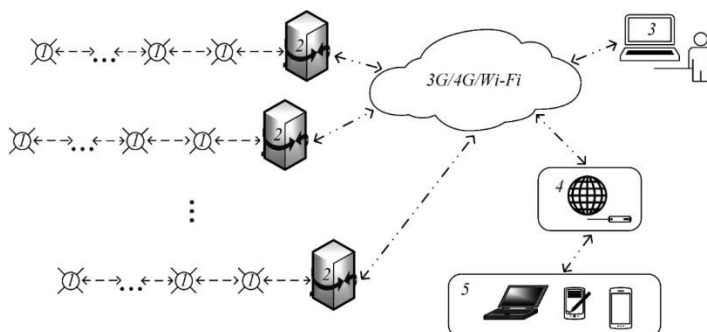


Рис. 2. Архитектура системы:

1 – светильники; 2 – шлюзы; 3 – центр управления; 4 – веб-сервер; 5 – пользователи

Связь между светильниками основана на беспроводной сети 802.15.4 IEEE ZigBee, протокол которой является открытым. Одно из основных преимуществ использования устройств ZigBee заключается в том, что они легко интегрируются в приложения IoT через шлюзы ZigBee¹. Еще один важный аспект использования такого протокола состоит в следующем: 802.15.4 стандарт IEEE предоставляет MAC-

¹ Князев Н. С., Четчин В. А., Летавин Д. А. Сравнительный анализ стандартов беспроводных сетей LPWAN // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2017. – Т. 8. – № 2. – С. 109–112; Довбня В. Г., Фролов С. Н., Сулима К. П., Щитов А. Н. Специфика реализаций комплексов управления на базе технологии LoRaWAN // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т. 14. – № 9. – С. 24–30. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-9-24; Zhang X., Zhang M., Meng F., Qiao Y., Xu S., Hour S. A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa // IEEE Internet of Things Journal. – 2019. – Vol. 6. – Iss. 1. – P. 590–598. <https://doi.org/10.1109/IJOT.2018.2847702>.

уровень стека протоколов ZigBee, который обеспечивает базовые услуги безопасности и совместимость устройств. Базовые услуги безопасности позволяют вести список контроля доступа и применять симметричный алгоритм шифрования для защиты данных¹. В ZigBee сети устройства можно настроить следующим образом:

- как координатор / шлюз, отвечающий за формирование сети и маршрутизацию трафика на другие устройства; в каждой сети должен быть только один координатор;
- как маршрутизатор, имеющий возможность перенаправлять трафик на другие устройства;
- как конечное устройство, не обладающее функцией отправления трафика на другие устройства.

Такая архитектура системы обеспечивает возможность настройки нескольких локальных сетей и управление каждой локальной сетью через свой шлюз.

Электронные устройства (например, плата обработки видео, плата управления освещением и иные средства, установленные в системе), характерные для любой локальной сети, также оснащены радиомодулем ZigBee и организованы в топологию ячеистой сети, где все узлы подключаются к сигналу и передают его следующему устройству.

С теоретической точки зрения у протокола ZigBee есть возможность обработки до 65000 устройств в сети. Однако в реальном приложении из-за наличия препятствий размер сети может варьироваться на основе как прикладного, так и экологического контекста.

В рассмотренной архитектуре у сети есть доступ к использованию различных политик маршрутизации для обмена командами и информационными запросами между светильниками.

Система управления освещением

Система управления освещением отвечает за регулировку яркости светодиодов на основе анализа интенсивности движения транспорта и пешеходов. Для контроля можно использовать сетевую видеокамеру, реализующую алгоритм обнаружения движущихся объектов в контролируемой зоне². При фиксации движения генерируется команда, которая передается всем светильникам на наблюдаемом участке улицы. Если не происходит «обнаружение движения», контроллер переключает светильники на минимальные значения освещенности. Контроллер управления освещением также отвечает за регулировку уровня освещения в зависимости от условий окружающей среды; обнаружение аномального поведения в сети при повреждении светильников.

¹ Аносов В. Д. Использование обобщенных фильтрующих генераторов при построении симметричных алгоритмов шифрования // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. – 2015. – № 24. – С. 134.

² Райт М., Зотин О. «Умные» видеокамеры и датчики на опорах уличного светодиодного освещения в Сан-Диего // Полупроводниковая светотехника. – 2019. – № 2 (58). – С. 64–71; Лебеядцев Е. С., Максимова Е. А., Садовникова Н. П. Решение задачи распознавания движущихся объектов в системах управления уличным освещением // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2017. – № 4. – С. 21–27.

При аномальных условиях генерируется событие, которое передается на удаленное веб-приложение и включает аварийный режим работы по умолчанию.

Удаленное управление и контроль через веб-приложение и мобильное приложение

Важным аспектом интеллектуальной системы освещения является удобство взаимодействия системных администраторов с инфраструктурой. Для этого система имеет веб-приложение и мобильное приложение, которые предоставляют следующие услуги: управление учетной записью; контроль и управление системами освещения; обнаружение аномальных условий; мониторинг дорожной и метеоинформации; оценка энергопотребления. Удаленное веб-приложение обеспечивает доступ к настройкам системы освещения. Например, можно установить профиль освещения для каждого уличного фонаря отдельно или для группы из них, диапазон изменения уровня освещенности. Кроме того, пользователь может оценить информацию, относящуюся к текущему / среднему потреблению энергии, интенсивности движения, погодным условиям, сигналам тревоги. Удаленное веб-приложение в дополнение к обычному управлению использует протокол HTTPS и обеспечивает шифрованную связь и безопасное соединение между удаленными пользователями и веб-сервером.

Мобильное приложение включает в себя все функции, предоставляемые веб-приложением, и в то же время позволяет авторизованным пользователям управлять уровнями освещения определенных ламп. Благодаря этой опции в случае чрезвычайной ситуации на улице пользователь с предоставленным доступом может взаимодействовать с системой и выполнять соответствующие действия для улучшения общей видимости.

Экспериментальная деятельность, которая берет свое начало в 2020 г. и продолжается до сих пор, продемонстрировала преимущества предлагаемой интеллектуальной системы освещения на базе IoT в сравнении с традиционными светодиодными системами.

Выводы

Предлагаемая система управления освещением разработана на основе парадигмы IoT таким образом, чтобы в будущем ее можно было использовать как городскую инфраструктуру, в которой каждый светильник сыграл бы роль активного элемента для добавления новой городской услуги (например, управление энергопотреблением, мониторинг окружающей среды, снижение светового загрязнения и др.). Общая архитектура системы масштабируема, допускает увеличение ее функциональности за счет подключения новых интеллектуальных устройств IoT. Сеть способна обеспечить значительную экономию энергии по сравнению с традиционными системами уличных светильников. Благодаря возможности расширения функционала инвестиции в интеллектуальные системы освещения могут окупиться за короткий период, и это представляет собой дополнительное преимущество использования в системах уличного освещения технологий IoT.

Список литературы

Андреев А. Н., Бурцев А. В., Водовозов А. М., Колесниченко Д. А. Адаптивная система управления уличной светоцветовой средой // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XII Международной научно-технической конференции (Вологда, 21 марта 2017 г.) / под редакцией В. А. Ракова. – Вологда: ВоГУ, 2017. – С. 23–26.

Аносов В. Д. Использование обобщенных фильтрующих генераторов при построении симметричных алгоритмов шифрования // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. – 2015. – № 24. – С. 134.

Ахтямов Р. Ф., Капитанова А. А., Бурусов В. В. Системы уличного освещения в умных городах // Экономика и социум. – 2018. – № 11 (54). – С. 118–121.

Бурцев А. В., Водовозов А. М. Адаптивная система управления уличным освещением // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XI Международной научно-технической конференции (Вологда, 22–23 марта 2016 г.). – Вологда: ВоГУ, 2016. – С. 42–47.

Валиуллин К. Р., Семенова Н. Г. Алгоритмы энергоэффективного управления установками уличного освещения со светодиодными светильниками // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2020. – Т. 63. – № 2–3. – С. 100–107. <https://doi.org/10.17213/0136-3360-2020-2-3-100-107>.

Веденеева Л. М., Носков В. В., Попов А. П. Влияние уличного освещения на безопасность города // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Безопасность и управление рисками. – 2016. – № 5. – С. 150–161.

Водовозов А. М., Лучников Я. А., Мурзаков Э. А. Интеллектуальная система уличного освещения на основе беспроводной сенсорной сети // Интеллектуальные информационные системы: теория и практика: сборник научных статей по материалам I Всероссийской конференции (Курск, 26–28 октября 2020 г.) / под редакцией Е. А. Бабкина. – Курск: Курский государственный университет, 2020. – Ч. 2. – С. 71–79.

Довбня В. Г., Фролов С. Н., Сулима К. П., Щитов А. Н. Специфика реализаций комплексов управления на базе технологии LoRaWAN // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т. 14. – № 9. – С. 24–30. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-9-24.

Зотин О. «Умный» свет в «умном» городе. Часть I. Принципы // Полупроводниковая светотехника. – 2017. – № 4 (48). – С. 66–71.

Князев Н. С., Четчин В. А., Летавин Д. А. Сравнительный анализ стандартов беспроводных сетей LPWAN // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2017. – Т. 8. – № 2. – С. 109–112.

Лебединцев Е. С., Максимова Е. А., Садовникова Н. П. Решение задачи распознавания движущихся объектов в системах управления уличным освещением // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2017. – № 4. – С. 21–27.

Оразтаева М. А. Проектирование беспроводной сенсорной сети на протоколе ZigBee // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT–2016): сборник статей VI международной заочной научно-технической конференции / под редакцией Л. И. Ерохиной. – Тольятти: ПВГУС, 2016. – Ч. 2. – С. 129–135.

Райт М., Зотин О. «Умные» видекамеры и датчики на опорах уличного светодиодного освещения в Сан-Диего // Полупроводниковая светотехника. – 2019. – № 2 (58). – С. 64–71.

Эннс О. Интеллектуальные системы уличного освещения // Энергосбережение. – 2008. – № 1. – С. 58–62.

Burtsev A., Kolesnichenko D., Vodovozov A., Akhmetov T. R. Wireless sensor network for

street lighting control // DEFIN '20: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (Saint Petersburg, 19–20 March 2020). – New York, USA: Association for Computing Machinery, 2020. – P. 1–3. <https://doi.org/10.1145/3388984.3390875>.

Kee K. K., Simon L. B. Y., Mohamad H. A., Lee K. Ch. An Energy-efficient Smart Street Lighting System with Adaptive Control based on Environment // Borneo Journal of Sciences and Technology. – 2020. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 48–57. <https://doi.org/10.35370/bjost.2020.2.1-09>.

Pasolini G., Toppan P., Zabini F., De Castro C., Andrisano O. Design, Deployment and Evolution of Heterogeneous Smart Public Lighting Systems // Applied Sciences. – 2019. – № 9 (16). – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/16/3281> (дата обращения: 10.12.2020).

Zhang X., Zhang M., Meng F., Qiao Y., Xu S., Hour S. A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa // IEEE Internet of Things Journal. – 2019. – Vol. 6. – Iss. 1. – P. 590–598. <https://doi.org/10.1109/IIOT.2018.2847702>.

References

Andreev A. N., Burtsev A. V., Vodovozov A. M., Kolesnichenko D. A. Adaptivnaia sistema upravleniia ulichnoi svetotsvetovoi sredoi [Adaptive street light-color control system]. *Avtomatizatsiia i energosberezhenie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstv, tekhnologii i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniia: materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Vologda, 21 marta 2017 g.)* [Automation and energy saving of machine-building and metallurgical industries, technology and reliability of machines, devices and equipment: proceedings of the XII International scientific and technical conference (Vologda, March 21, 2017); ed. by V. A. Rukov]. Vologda: VoGU, 2017, pp. 23–26.

Anosov V. D. Ispol'zovanie obobshchennykh fil'truishchikh generatorov pri postroenii simmetrichnykh algoritmov shifrovaniia [Using generalized filter generators in the construction of symmetric encryption algorithms]. *Metody i tekhnicheskie sredstva obespecheniia bezopasnosti informatsii* [Methods and technical means of ensuring information security], 2015, no. 24, pp. 134.

Akhiamov R. F., Kapitanova A. A., Burusov V. V. Sistemy ulichnogo osveshcheniia v umnykh gorodakh [Street lighting systems in smart cities]. *Ekonomika i sotsium* [Economy and society], 2018, no. 11 (54), pp. 118–121.

Burtsev A. V., Vodovozov A. M. Adaptivnaia sistema upravleniia ulichnym osveshcheniem [Adaptive street lighting management system]. *Avtomatizatsiia i energosberezhenie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstv, tekhnologii i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniia: materialy XI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Vologda, 22–23 marta 2016 g.)* [Automation and energy saving of machine-building and metallurgical industries, technology and reliability of machines, devices and equipment: proceedings of the XI International scientific and technical conference (Vologda, March 22–23, 2016)]. Vologda: VoGU, 2016, pp. 42–47.

Valiullin K. R., Semenova N. G. Algoritmy energoeffektivnogo upravleniia ustanovkami ulichnogo osveshcheniia so svetodiodnymi svetil'nikami [Algorithms of energy efficient control of led street lighting installations]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika* [Russian Electromechanics], 2020, vol. 63, no. 2–3, pp. 100–107. <https://doi.org/10.17213/0136-3360-2020-2-3-100-107>.

Vedeneva L. M., Noskov V. V., Popov A. P. Vliianie ulichnogo osveshcheniia na bezopasnost' goroda [The impact of street lighting on the city safety]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Bezopasnost' i upravlenie riskami* [Bulletin of the Perm national research polytechnic university. Safety and risk management], 2016, no. 5, pp. 150–161.

Vodovozov A. M., Luchnikov Ia. A., Murzakov E. A. Intellektual'naiia sistema ulichnogo osveshcheniia na osnove besprovodnoi sensornoi seti [Intelligent street lighting system based on wireless

sensor network]. *Intellektual'nye informatsionnye sistemy: teoriia i praktika: sbornik nauchnykh statei po materialam I Vserossiiskoi konferentsii (Kursk, 26–28 oktiabria 2020 g.)* [Intelligent information systems: theory and practice: a collection of scientific papers by the materials of the I All-Russian conference (Kursk, October 26–28, 2020); ed. by E. A. Babkin]. Kursk: Kurskii gosudarstvennyi universitet, 2020, part 2, pp. 71–79.

Dovbnia V. G., Frolov S. N., Sulima K. P., Shchitov A. N. Spetsifika realizatsii kompleksov upravleniia na baze tekhnologii LoRaWAN [Specifics of implementation of control systems based on LoRaWAN technology]. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport* [T-Comm], 2020, vol. 14, no. 9, pp. 24–30. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-9-24.

Zotin O. “Umnyi” svet v “umnom” gorode. Chast' I. Printsipy [“Smart” light in a “smart” city. Part I. Principles]. *Poluprovodnikovaia svetotekhnika* [Semiconductor lighting], 2017, no. 4 (48), pp. 66–71.

Kniazev N. S., Chechetkin V. A., Letavin D. A. Sravnitel'nyi analiz standartov besprovodnykh setei LPWAN [Comparative analysis of standards for wireless networks LPWAN]. *Sistemy sinkhronizatsii, formirovaniia i obrabotki signalov* [Signal synchronization, generation and processing systems], 2017, vol. 8, no. 2, pp. 109–112.

Lebediantsev E. S., Maksimova E. A., Sadovnikova N. P. Reshenie zadachi raspoznavaniia dvizhushchikhsia ob'ektov v sistemakh upravleniia ulichnym osveshcheniem [Solving the moving object recognition problem in street lighting control systems]. *Promyshlennye ASU i kontroliery* [Industrial automatic control systems and controllers], 2017, no. 4, pp. 21–27.

Oraztaeva M. A. Proektirovanie besprovodnoi sensornoi seti na protokole ZigBee [Designing a wireless sensor network based on the protocol ZigBee]. *Informatsionnye tekhnologii. Radioelektronika. Telekommunikatsii (ITRT–2016): sbornik statei VI mezhdunarodnoi zaochnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Information technologies. Radio electronics. Telecommunications (ITRT–2016): a collection of papers of the VI international correspondence scientific and technical conference; ed. by L. I. Erokhina]. Tol'iaty: PVGUS, 2016, part 2, pp. 129–135.

Rait M., Zotin O. “Umnye” videokamery i datchiki na oporakh ulichnogo svetodiodnogo osveshcheniia v San-Diego [“Smart” video cameras and sensors on street LED lighting supports in San Diego]. *Poluprovodnikovaia svetotekhnika* [Semiconductor lighting], 2019, no. 2 (58), pp. 64–71.

Enns O. Intellektual'nye sistemy ulichnogo osveshcheniia [Intelligent street lighting systems]. *Energosberezhenie* [Energy Conservation Journal], 2008, no. 1, pp. 58–62.

Burtsev A., Kolesnichenko D., Vodovozov A., Akhmetov T. R. Wireless sensor network for street lighting control. *DEFIN '20: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (Saint Petersburg, 19–20 March 2020)*. New York, USA: Association for Computing Machinery, 2020, pp 1–3. <https://doi.org/10.1145/3388984.3390875>.

Kee K. K., Simon L. B. Y., Mohamad H. A., Lee K. Ch. An Energy-efficient Smart Street Lighting System with Adaptive Control based on Environment. *Borneo Journal of Sciences and Technology*, 2020, vol. 2, iss. 1, pp. 48–57. <https://doi.org/10.35370/bjost.2020.2.1-09>.

Pasolini G., Toppan P., Zabini F., De Castro C., Andrisano O. Design, Deployment and Evolution of Heterogeneous Smart Public Lighting Systems. *Applied Sciences*, 2019, no. 9 (16). Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/16/3281> (accessed: 10.12.2020).

Zhang X., Zhang M., Meng F., Qiao Y., Xu S., Hour S. A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa. *IEEE Internet of Things Journal*, 2019, vol. 6, iss. 1, pp. 590–598. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2847702>.

Для цитирования: Водовозов А. М., Бурцев А. В. Интеллектуальная система уличного освещения на основе парадигмы Интернета вещей // Вестник Череповецкого государственного

университета. – 2021. – № 3 (102). – С. 7–17. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2021-3-102-1>

For citation: Vodovozov A. M., Burtsev A. V. Intelligent street lighting system based on the IoT paradigm. *Cherepovets State University Bulletin*, 2021, no. 3 (102), pp. 7–17. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2021-3-102-1>

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Сведения об авторах

Александр Михайлович
Водовозов /
Alexandr M. Vodovozov

Кандидат технических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0002-4900-2029>, am.vodovozov@gmail.com, Вологодский государственный университет (д. 5, Ленина ул., 160000 Вологда, Россия) / Candidate of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-4900-2029>, am.vodovozov@gmail.com, Vologda State University (5, Lenin st., 160000 Vologda, Russia).

Александр Владимирович
Бурцев /
Alexandr V. Burtsev

Директор, burtsev35@yandex.ru, ООО «Системы и технологии» (д. 64А, Можайского ул., 160025 Вологда, Россия) / Director, burtsev35@yandex.ru, ООО “Sistemy i tekhnologii” (“Systems and Technologies”) (64A, ul. Mozhaiskogo, 160025 Vologda, Russia).

Статья поступила в редакцию 01.03.2021; Одобрена после рецензирования 24.03.2021; Принята к публикации 30.03.2021.

The article was submitted 01.03.2021; Approved after reviewing 24.03.2021; Accepted for publication 30.03.2021.