Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering https://t-s.today

2024, Том 11, № 2 / 2024, Vol. 11, Iss. 2 https://t-s.today/issue-2-2024.html

URL: https://t-s.today/PDF/11SATS224.pdf

DOI: 10.15862/11SATS224 (https://doi.org/10.15862/11SATS224)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

УДК 628.9

Исследование равномерности светораспределения в зависимости от расстояния между опорами освещения на участке автомагистрали М4 «Дон»

Бережной Я.А., Иванова В.Р.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия

Автор, ответственный за переписку: Бережной Ярослав Анатольевич, e-mail: berezhnoy96@list.ru

Аннотация. Обеспечение необходимого уровня освещенности дорожного полотна является условием безопасности всех участников транспортного движения. Проблематика особо актуальна, так как с развитием технологий освещение дорог переживает революцию, преимущественно за счет внедрения светодиодных светильников. В статье обсуждается влияние различных факторов на освещенность автомобильных дорог и магистралей. В их число входят высота расположения осветительных приборов и интервал между опорами. Рассмотрены преимущества, которые дает использование светильников разного типа. Выяснено, что замена дуговых ртутных ламп на светодиодные позволит снизить затраты на освещение дорог благодаря возможности их более высокого расположения на опорах, увеличения расстояния между опорами, а также повышения освещенности. Также в тексте уделяется значительное внимание к выбору опор и использованию программ моделирования для оптимизации освещения дорог и автомагистралей. Эта статья посвящена исследованию влияния современных технологий, таких как светодиодные светильники, на эффективность и энергоэффективность освещения автомагистралей, а также сравнению с традиционными типами светильников. Учитывая значимость освещения для безопасности дорожного движения, продолжительные исследования в этой области необходимы для оптимального использования современных технологий и обеспечения безопасности на дорогах в будущем.

Ключевые слова: светотехника; LED-светильники; дорожное освещение; осветительные приборы; столбы освещения; автомагистраль; горизонтальная освещенность

Even light distribution research depending on the distance between illumination poles on a section of the M4 «Don» motorway

Yaroslav A. Berezhnoy, Viliya R. Ivanova

Kazan State Energy University, Kazan, Russia

Corresponding author: Yaroslav A. Berezhnoy, e-mail: berezhnoy96@list.ru

Abstract. Provision of the necessary illumination level of the roadway is a condition of all participants safety of transport traffic. The problematics is especially urgent, as with the development of technologies road lighting is undergoing a revolution, mainly due to the introduction of LED lighting fixtures. The paper discusses the influence of various factors on the motorways and highways illumination. These include the lighting fixtures elevation and the spacing between poles. The benefits of using different types of lighting fixtures are discussed. It is found that replacing mercury arc lamps with LED lamps will reduce the cost of road lighting due to the possibility of their higher positioning on poles, increased spacing between poles, and increased illuminance. The text also pays considerable attention to the poles selection and the use of modelling software to optimise road and highway lighting. This paper investigates the impact of modern technologies, such as LED lighting fixtures, on the efficiency and energy efficiency of motorway lighting, as well as a comparison with traditional types of lighting fixtures. Given the importance of lighting for road safety, continued research in this area is necessary to optimise the use of modern technology and ensure future road safety.

Keywords: lighting technology; LED lighting fixtures; motorway; lighting fixtures; lighting poles; road lighting; horizontal illuminance

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License

Введение

Introduction

Основными критериями комфортного дорожного освещения для безопасности являются качество осветительных устройств, надежность и длительный срок эксплуатации осветительной установки, обеспечение нормируемой освещенности и яркости дорожного покрытия. Последнее особенно актуально в период плохой видимости из-за возможности ошибочного восприятия дорожной ситуации (сумеречное и ночное время суток). Поэтому при проектировании дорожного освещения также важным становится регламентирование следующих факторов: высоты установки источников света, места установки, выбор необходимого типа осветительного устройства, удобства его эксплуатации. Все эти факторы направлены на решение главной задачи — правильное светораспределение на рабочей поверхности. Светораспределение является основной характеристикой, определяющей светотехническую эффективность применения светового устройства в заданных условиях. Сложность ее определения связана в первую очередь с различным восприятием света у всех людей. Для ее оценки используется большое количество статистических данных, полученных с помощью измерения светотехнических характеристик различными оптическими приборами; а также моделирование работы систем освещения для учета характеристик всех элементов системы.

В настоящее время широко в системах освещения применяются полупроводниковые источники света (ИС), что связано с рядом их преимуществ: безынерционность включения, чистота цвета, малые размеры, долгий срок службы, малое энергопотребление и др. Безусловно эти ИС занимают лидирующие позиции в мире светотехники. Однако, несмотря на большое количество преимуществ, существует много вопросов по их использованию. В частности, из-за малых размеров рассматриваемых ИС имеется необходимость применения вторичной оптики для рассеивания света, либо реализации определенной направленности излучения устройств, созданных на их основе.

Помимо вторичной оптики большой акцент делают на осветительную арматуру — совокупность приспособлений, предназначенных для рационального перераспределения светового потока ИС, защиты глаз от чрезмерной яркости, предохранения и крепления ИС. Для защиты глаз используют рассеиватели, отражатели и преломляющие оптические системы, при этом в зависимости от материала этих элементов существует возможность в широких пределах варьировать распределение силы света светильника.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Для комфортного и безопасного дорожного освещения важно ограничение возможности попадание яркого света в поле зрения наблюдателя. Последнее необходимо для снижения уровня показателя ослепленности либо, согласно нормативным документам, показателя уровня дискомфорта *(M)*. Наличие слепящей блескости приводит к физиологическому снижению видимости. В целях исключения такого воздействия обязательным становится при выборе светового устройства знать о форме фотометрического тела и кривых силы света рассматриваемого источника.

При планировании освещения автомагистрали учитывается обязательное требование равномерного распределения света на всех участках дороги. Для расчета освещенности на автомагистралях используют разные методы. К ним относятся метод теней, который основан на анализе теней от объектов участвующих в движении, измерение производится на разных участках трассы для определения оптимального уровня освещенности; метод сечения поперек дороги заключается в установке специальных зондов с датчиком определения освещенности на участках дороги, выбирается тестовая область и проводится измерение, преимуществом данного метода является точность определения значений при различных погодных условиях, здесь также учитывается класс светильника по светораспределению (прямого, рассеянного, отраженного света) и форма его кривой силы света.

Конструктивное исполнение светильников «отвечает» за комфорт и безопасность дорожного освещения. Как было указано выше, в основном применяются в качестве источника света для светотехнических устройств — светодиоды, которые благодаря своим малым размерам позволяют исполнять различные дизайнерские решения конструктивного исполнения светильников. Такие решения должны обеспечивать равномерность распределения света на всех участках дороги при этом затемнение некоторых участков дороги не допускается. Здесь необходимо учитывать расстояние между столбами освещения, расстояние от опоры освещения до дороги, строгое направление световых лучей источника на дорожное полотно, исключение рассеивания света. Таким образом, к конструкции осветительной арматуры предъявляются высокие требования.

Исследование

Research

В работе представлено исследование зависимости конструктивного исполнения светильников, установленных на опорах освещения и расстоянием между ними на участке автомагистрали М-4 «Дон», с целью

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

оценки равномерного распределения света на дорожном полотне и исключения чередования освещенных и неосвещенных участков.

На первом этапе был выбран участок М-4 «Дон» — автомагистрали, которая пролегает от города Москва до города Новороссийска и составляет 1 200 км. Выбран участок 1 176 км Е50 автомагистрали М4 «Дон», здесь дорога имеет двухстороннее четырехполосное движение (рис. 1).

Рисунок 1. *Исследуемый участок автомагистрали М4 «Дон» (источник: https://lyxavto.ru/rasstoyanie-mezhdu-gorodami-na-avtomobile-rosavtodor/; https://www.google.ru/maps/place/M-4/1176/, фото — снимок компании Google)*

Figure 1. *Investigated section of the M4 «Don» motorway (source: https://lyxavto.ru/rasstoyanie-mezhdu-gorodami-na-avtomobile-rosavtodor/; https://www.google.ru/maps/place/M-4/1176/, image by Google)*

Автомагистраль относится к категории дорог А1 (расчётная интенсивность движения более 14 000 ед./сут., ширина полосы движения 3,75 м, центральная разделительная полоса выполнена в виде барьера). По нормативным данным средняя горизонтальная освещенность $E_{ср}$ должна быть не менее 20 лк, соответственно равномерное распределение освещенности на дорожном покрытии $E_{мин}/E_{ср}$ — 0,35.[1] Для освещения этого участка используются лампы ДНаТ мощностью 250 Вт. Марка установленного светильника ЖКУ-15-250-101б (рис. 2), установленным световым приборам с ДНаТ (дуговые натриевые трубчатые) соответствует косинусная КСС (кривая силы света).[2]

Для оценки равномерного светораспределения выполнено моделирование исследуемого участка дороги. Для моделирования использована программа *Light-In-Night Road*[3], при выборе программного обеспечения ориентировались на наличие соответствия методологии

[1] ГОСТ Р 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы: издание официальное: Введ. 08.11.2013. — М.: Стандартин-форм, 2014. — 10 с.

[2] Официальный сайт GALAD. Продукция светильников ЖКУ-15-250-101б [Электронный ресурс] // galad.ru: [Сайт]. — Режим доступа: URL: https://galad.ru/catalog/outdoor/street/zhku-rku-gku15/zhku15-250-101b/ (дата обращения 25.04.2024).

[3] Сайт программного комплекса Light-In-Night Road [Электронный ресурс] l-i-n.ru: [сайт]. — Режим доступа: URL: http://www.l-i-n.ru/ (дата обращения 25.04.2024).

расчета светотехнических параметров действующим российским нормам освещения. Последнее стало основным преимуществом программного комплекса, в настоящее *Light-In-Night Road* является единственной сертифицированной российской программой в области проектирования освещения.

Таким образом, было смоделировано освещение рассматриваемого участка с помощью программы. На рисунке 3 представлен внешний вид рассматриваемого участка дороги и светильники. Для моделирования выбран светильник ЖКУ-15-250-101б от фирмы *GALAD*, скорректированы данные высоты, расстояния между опорами, наклон, и расстояние от проезжей части.

а б

Рисунок 2. *Внешний вид опоры освещения на участке автомагистрали М4 «Дон»: (а) светильник; (б) опора (источник: https://www.google.ru/maps/place/M-4/1176/, фото — снимок компании Google)*

Figure 2. *External appearance of a lighting support on the M4 «Don» motorway section: (a) lighting fixture; (b) pole (source: https://www.google.ru/maps/place/M-4/1176/, image by Google)*

Расстояние между опорами освещения составляет 36 м, световые приборы установлены без бордюра, расстояние от асфальта до опоры составляет более 1,75 м; тип конструкции опоры — силовая фланцевая граненая, высота опоры составляет 12 м, угол консоли установки светильников — 15° (рис. 2).

После ввода всех элементов дорожного освещения наблюдается следующая карта освещенности (рис. 3).

Автоматизированный расчет освещения показал значения максимальной и минимальной освещенности, соответственно уровень значений составил 69 лк и 15 лк, средняя освещенность — 32,5 лк. Следовательно, при реализации такого формата освещения, выполненного с лампами ДНаТ будет наблюдаться попеременное изменение уровня яркости. Последнее характеризует наличие КСС косинусного типа. Попеременный уровень насыщения светового излучения на автомагистралях носит негативный характер и требует поиска более совершенной системы освещения.

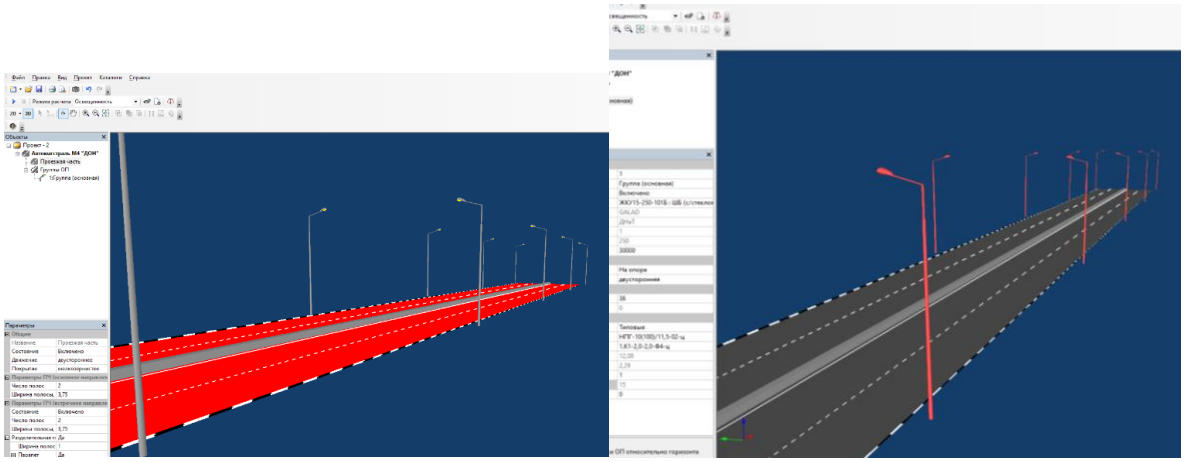


Рисунок 3. *Моделирование участка дороги*
(источник: программа Light-In-Night Road — Ярослав Бережной)

Figure 3. *Modelling of the road section*
(source: Light-In-Night Road software — Yaroslav Berezhnoy)

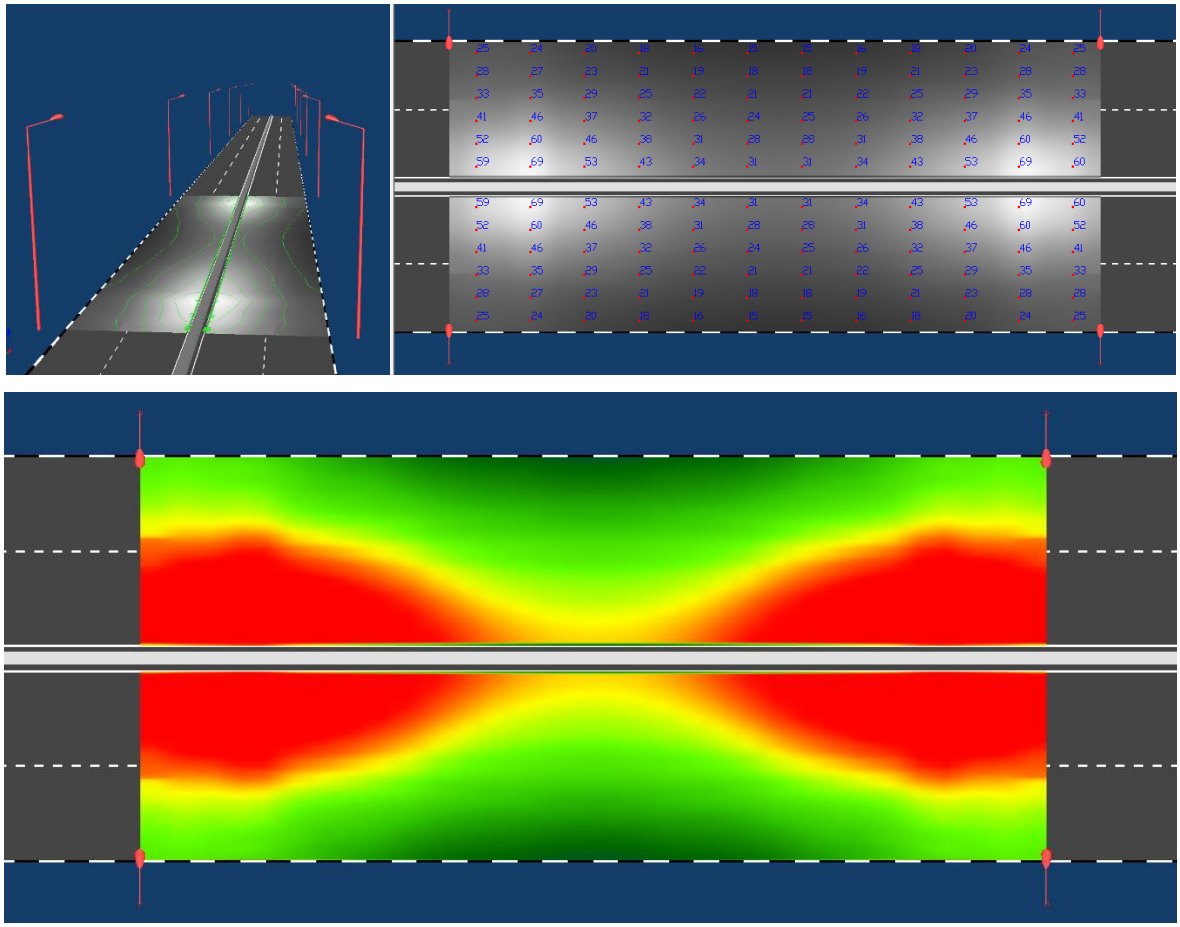


Рисунок 4. *Карта освещения на участке дороги*
(источник: программа Light-In-Night Road — Ярослав Бережной)

Figure 4. *Light map on the road section*
(source: Light-In-Night Road software — Yaroslav Berezhnoy)

В целом показатель КСС зависит от ряда факторов: высота размещения светильника, мощность светильника, конструктивного исполнения источника света, за счет которого определяется угол излучения. Помимо конструктивного исполнения угол излучения зависит от высоты подвеса. Известно, что при формировании системы освещения автодорог рекомендуется использовать светильники с широкой и полуширокой типами КСС. Однако, при таком исполнении освещения может наблюдаться дискомфорт восприятия света в зоне «пересечения» светового излучения тем самым вызывая разность контрастности освещения. Последнее вызвано неразумным распределением яркости. В таком варианте необходимо руководствоваться высотой подвеса светильника, его конструктивным исполнением и расстоянием между опорами на трассе.

В целях усовершенствования системы освещения для выбранного участка дороги рассмотрены варианты замены светильников, с учетом их конструктивного исполнения и мощности; подобраны опоры для светильников; в зависимости от расстояния между опорами освещения смоделированы различные сценарии освещения с помощью программы *Light-In-Night Road*.

Для первого сценария была выбрана опора — силовая фланцевая граненная (марка П-Фг).[4]

Главное преимущество опоры — это возможность применения любого вида светильника.

К установке выбран светильник *GALAD* Волна *LED*-250-ШО1/У50, представляющий собой отечественное решение высокого качества. Введение данного светильника обосновано несколькими ключевыми факторами такими как эффективность освещения, энергоэффективность, надежность (рис. 5).

Исходя из результатов исследований, выбор светильника с прямоугольным расположением светодиодов перспективней, так как он обеспечивает более эффективное освещение по сравнению с альтернативными вариантами.

Преимуществом выбранного светильника становится расположение светодиодов в нем — они размещены по траектории «прямоугольник», в отличии от траектории расположения «круг», расположения в ряд или *W*-образного оно позволяет равномерно распределять световой поток на поверхность дороги и обеспечивает организацию КСС широкого типа, что удовлетворяет обязательному условию организации дорожного освещения.

[4] АрхиСталь осветительные системы [Электронный ресурс] // arhistal.ru: [файл]. — Режим доступа: URL: https://www.arhistal.ru/upload/ARHISTAL_CATALOG.pdf (дата обращения 25.04.2024).

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

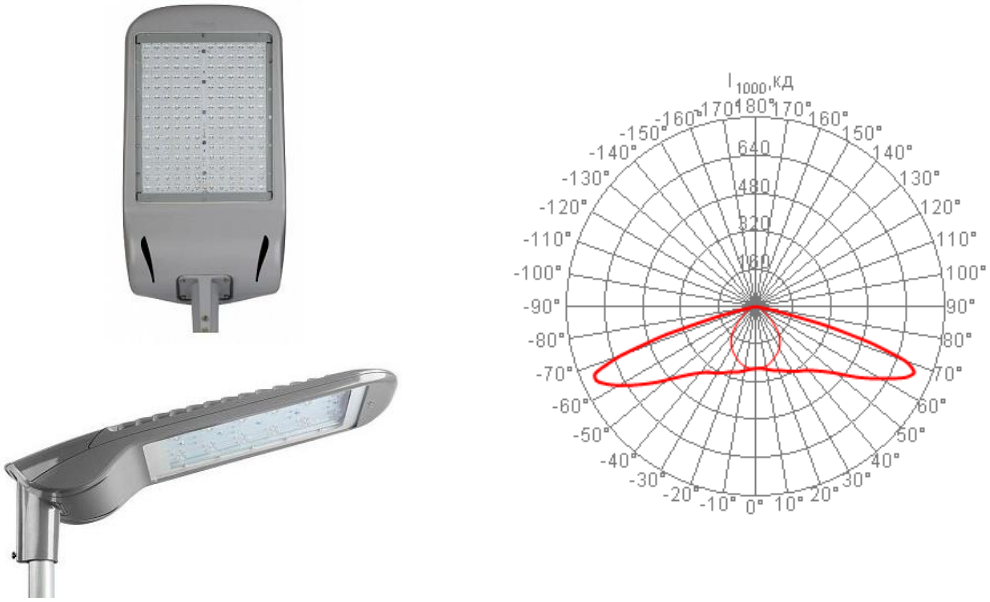


Рисунок 5. *Внешний вид светильника GALAD Волна LED-250-ШО1/У50 (источник: https://galad.ru/catalog/outdoor/street/volna/, светильник — официальный сайт)*

Figure 5. *External appearance of the lighting fixture GALAD Volna LED-250-SHO1/U50 (source: https://galad.ru/catalog/outdoor/street/volna/, lighting fixture — official website)*

Прямоугольное расположение светодиодов обеспечивает более равномерное освещение дорожной поверхности, а также более эффективное рассеивание света, что важно для обеспечения безопасности на дороге и комфортного вождения.

С целью выявления оптимальной высоты опор освещения выполнен анализ распределения освещенности для различных высот — 12, 14, 16, 18, 20 и 22 м. Такой анализ необходим в связи с необходимостью уменьшения уровня ослепленности для водителей и обеспечения лучшей видимости дорожного покрытия.

Используя значение расстояние между опорами — 36 метров проведено моделирование, результаты представлены на рисунок 6.

В результате анализа было выявлено, что опоры высотой 22 метра демонстрируют наилучшие результаты, как с точки зрения эффективности освещения, так и с учетом минимизации эффекта ослепления. Этот вывод обосновывается улучшенной геометрией распределения света, что способствует оптимальному охвату дорожной поверхности при сниженном риске негативного воздействия на водителей, а также обеспечивает эффективное использование светильников на данной высоте.[5]

[5] АрхиСталь осветительные системы [Электронный ресурс] // arhistal.ru: [файл]. — Режим доступа: URL: https://www.arhistal.ru/upload/ARHISTAL_CATALOG.pdf (дата обращения 25.04.2024).

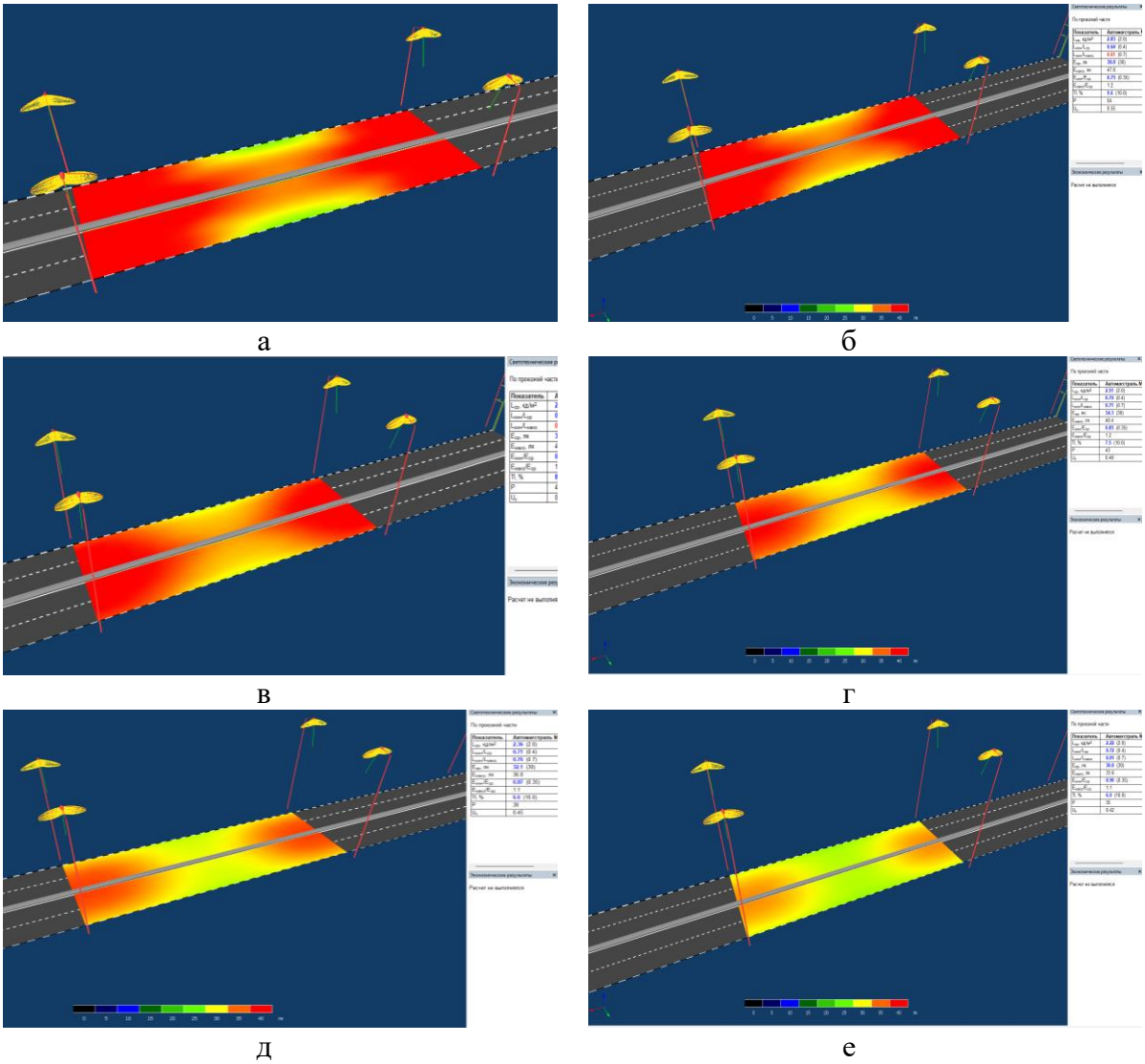


Рисунок 6. *Моделирование систем дорожного освещения с опорами разной высоты: а — опора 12 м; б — 14 м; в — 16 м; г — 18 м; д — 20 м; е — 22 м (источник: программа Light-In-Night Road — Ярослав Бережной)*

Figure 6. *Modelling of road lighting systems with poles of different heights: a — pole 12 m; b — 14 m; c — 16 m; d — 18 m; e — 20 m; f — 22 m (source: Light-In-Night Road software — Yaroslav Berezhny)*

Таким образом, выбор опор высотой 22 метра обоснован исследовательскими данными, свидетельствующими о превосходстве такой высоты опоры в контексте предлагаемого усовершенствования. Примем к установке: марка опоры П-Фг-20,0-02-ц; используемый кронштейн — 1.К1-2,0-2,0-Ф4-ц; высота опоры — 22 м.[6]

[6] Влияние расстояния между опорами уличного освещения на пропускную способность дорог. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://peak-leds.ru/blog-vliyanie-rasstoyaniya-mezhdu-oporami-ulichnogo-osvescheniya-na-propusknuyu-sposobnost-dorog/. — (дата обращения 25.04.2024).

Выполнено также исследование наилучшего светораспределения по разным вариантам расстояния между опорами освещения: значения 36, 38, 40, 42, 44 и 46 м. Исследование проведено при условии высоты опоры 22 м. Результаты представлены на рисунке 7.

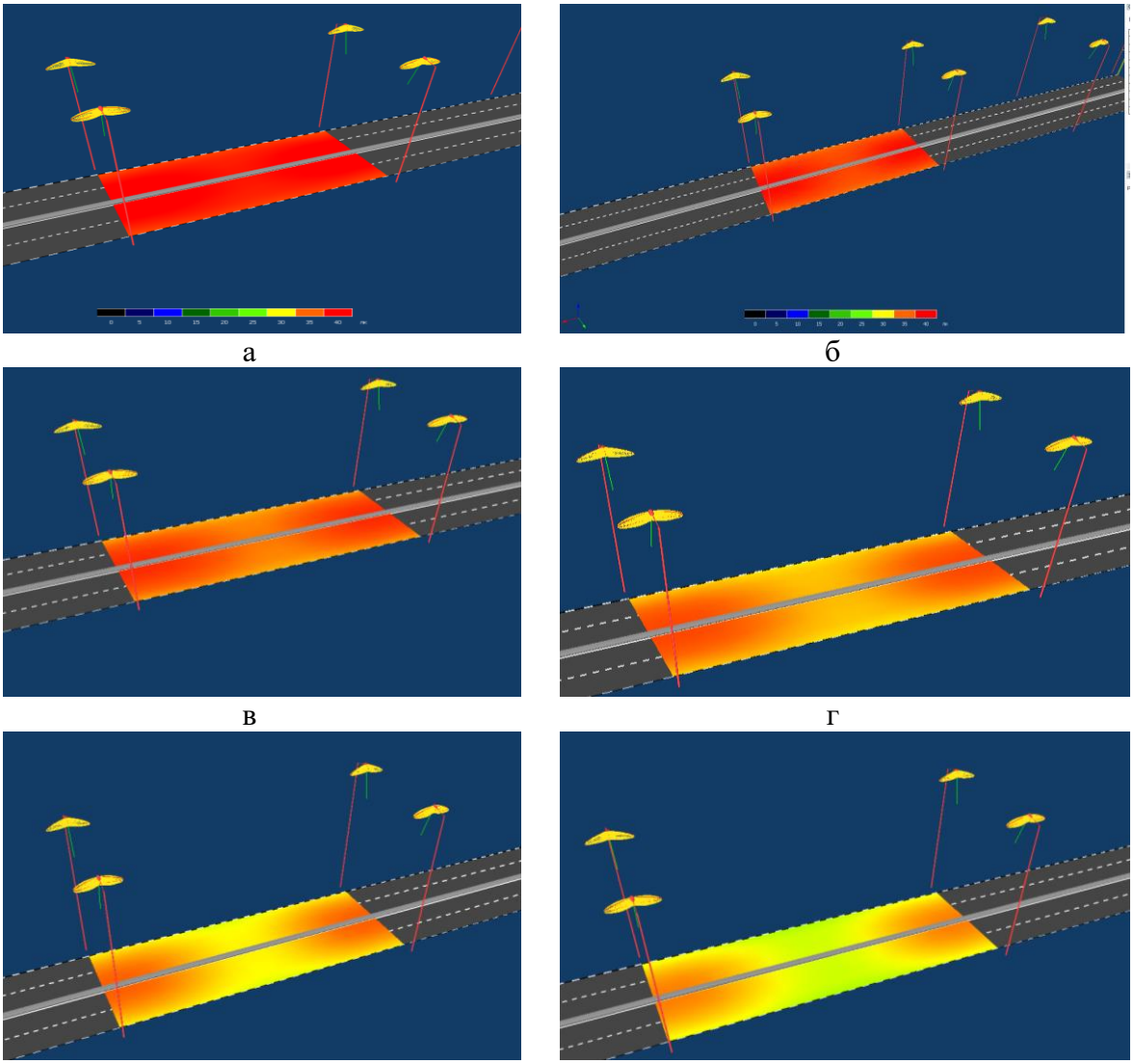
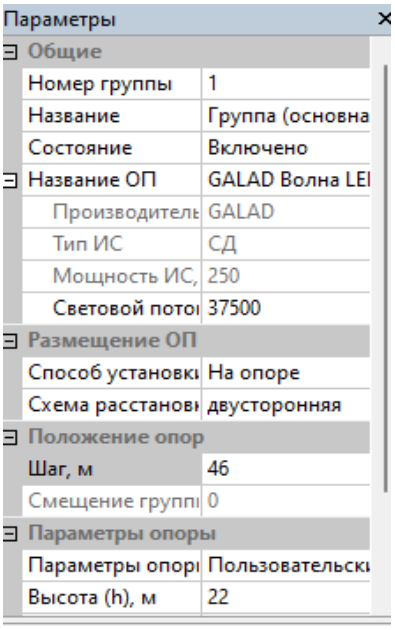


Рисунок 7. *Карта освещения на участке дороги с различным расстоянием между опорами: а — 36 м; б — 38; в — 40 м; г — 42 м; д — 44 м; е — 46 м (источник: программа Light-In-Night Road — Ярослав Бережной)*

Figure 7. *Light map on the road section with different distances between poles: a — 36 m; b — 38 m; c — 40 m; d — 42 m; e — 44 m; f — 46 m (source: Light-In-Night Road software — Yaroslav Berezhnoi)*

Согласно проведенному анализу, оптимальное расстояние составляет 46 метров, благодаря такому расстоянию наблюдается улучшенная геометрия распределения света, обеспечивается оптимальное освещение дорожной поверхности, соответствующая нормативным параметрам.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com



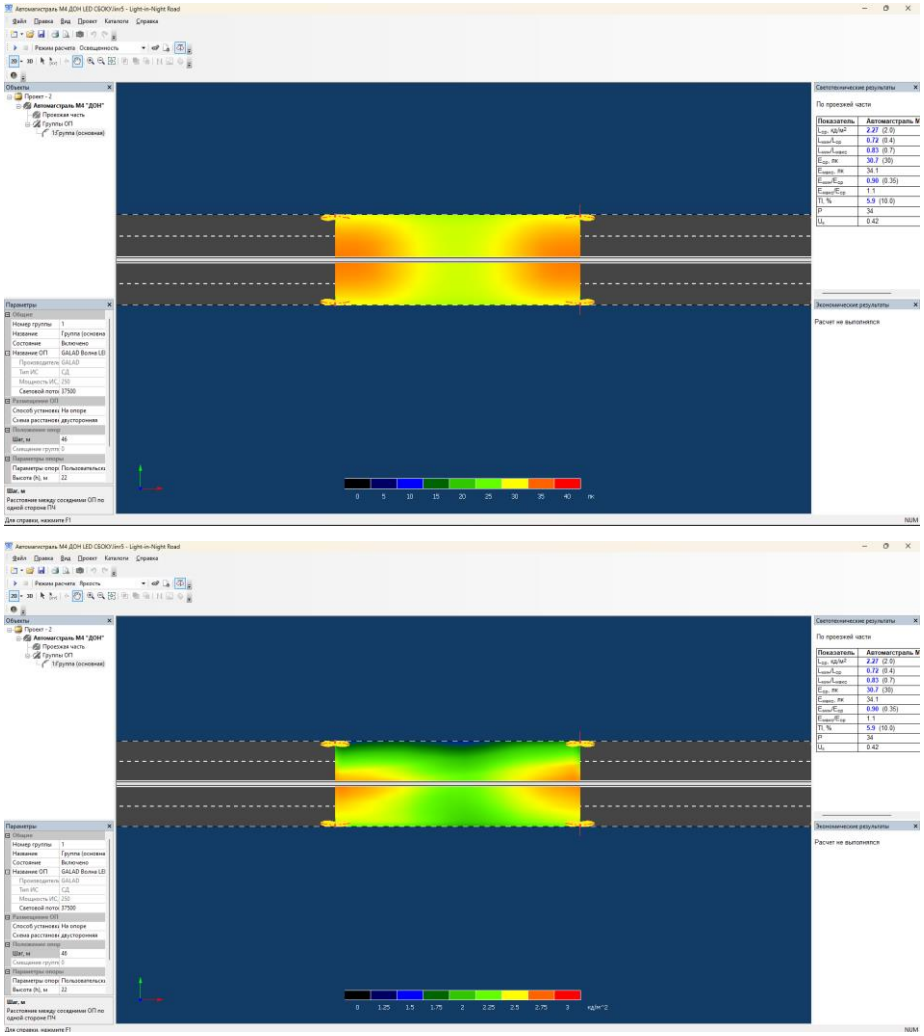


Рисунок 8. *Расчетные значения и карта яркости (источник: программа Light-In-Night Road — Ярослав Бережной)*

Figure 8. *Calculated values and brightness map (source: Light-In-Night Road software — Yaroslav Berezhnoi)*

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

По полученным данным, известно, что максимальная освещённость, составила 34,1 лк.

Минимальная освещённость — 27,7 лк.

Средняя освещённость составляет 30,7 лк.

Таким образом, в результате работы проведен анализ системы освещения участка дорожной магистрали М-4 «Дон»: определен тип осветительных устройств, дана оценка их конструктивному исполнению, определен тип КСС светильников, в результате моделирования системы освещения определены недостатки и преимущества эксплуатируемой системы освещения.

Определены критерии усовершенствования существующей системы, проведены исследования и смоделированы варианты с различными параметрами: расстояние между опорами освещения, высота опор.

Выбран оптимальный вариант осветительного устройства, при его использовании выполнено сравнение светораспределения при различной высоте опор и различном расстоянии между ними.

Таким образом, анализ системы освещения участка автомагистрали М4 «ДОН» показал, что установка светильников *GALAD* Волна *LED*-250-ШО1/У50 светильников становится наиболее приемлемым нежели ДНаТ ЖКУ-15-250-101б; в результате анализа выяснили, что увеличение расстояния между опорами до 46 м и высоты до 22 м позволяют выполнить более равномерное освещение с минимальным уровнем ослепленности и лучшим светораспредлением.

Расчет проведен с высочайшей тщательностью, соответствуя всем требованиям и отражая весь спектр предоставленных данных.

Исследование существующего светильника и его сравнение с новым проведено великолепно, подчеркивая правильность подхода.

Но есть куда совершенствоваться. Действительно, при ближайшем рассмотрении светодиодного светильника GALAD Волна LED-250-ШО1/У50 становится ясно, что у него есть потенциал для дальнейшего улучшения.

Рассмотрение внедрения солнечной батареи кажется обоснованным шагом для увеличения энергоэффективности и снижения зависимости от внешних источников электропитания.

К тому же, изменения в конструкции, такие как применение более современных светодиодов и настройка углов наклона корпуса в пределах -20 до +20 градусов по горизонтали и 0–90 градусов по вертикали, позволяют улучшить распределение света и адаптировать светильник к различным условиям освещения.

Установка солнечной батареи как автономного и дополнительного источника питания

Installing a solar battery as an autonomous and additional power source

Внедрение солнечной батареи позволит существенно снизить зависимость от традиционных источников электропитания и сделает светильник более экологически устойчивым.

Рассматривая возможность установки солнечной батареи, следует уделить внимание выбору оптимального типа батареи, ее мощности и местоположения на светильнике для максимального сбора солнечной энергии.

Такое дополнительное энергоснабжение сделает светильник более автономным, особенно в условиях, когда традиционные источники электропитания могут быть недоступны или нестабильны. Это повысит эффективность освещения в течение всего периода суток и в различных погодных условиях.

Кроме того, установка солнечной батареи подчеркнет современный и ответственный подход к освещению дорожной магистрали, отражая внимание к энергосбережению и устойчивому развитию.

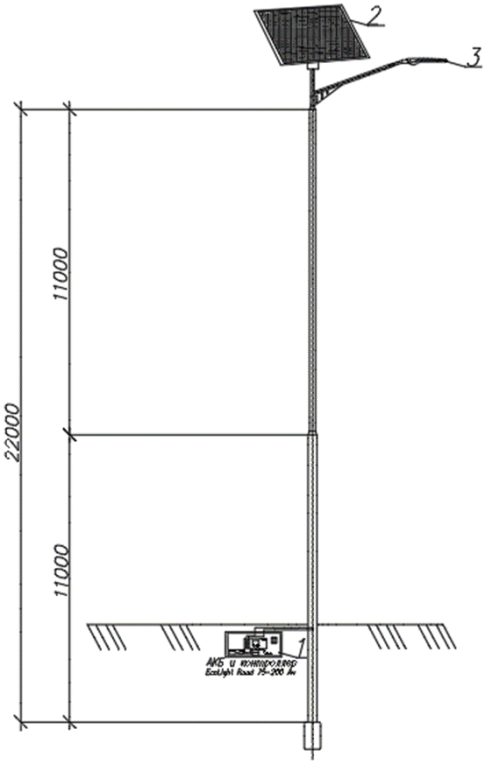


Рисунок 9. *Опора освещения с уставленной солнечной панелью и АКБ контроллером (источник: программа AutoCAD — Ярослав Бережной)*

Figure 9. *Lighting poles with installed solar panel and battery controller (source: AutoCAD software — Yaroslav Berezhnoi)*

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Солнечная станция освещения EcoLight Road, совмещенная с высокоэффективным светодиодным светильником, представляет собой инновационное решение для обеспечения уличного освещения с использованием солнечной энергии.

Подчеркивая важность энергоэффективности и устойчивости, я предлагаю внедрить следующее оборудование:

Солнечная станция EcoLight Road:

Встроенный аккумулятор емкостью 75–200 Ач для обеспечения стабильного энергоснабжения в течение ночи.

Система также дополнена высокоэффективным контроллером для автоматизации процессов. Простота установки этого контроллера придаёт дополнительное удобство и гибкость в обслуживании. Процедура установки невероятно проста и надежна, что делает систему доступной для широкого круга пользователей.

Контроллер размещается в защищенном коробе, установленном рядом с опорой в земле. Это обеспечивает дополнительную защиту от внешних воздействий, таких как атмосферные воздействия или механические повреждения. Прочный корпус обеспечивает долгий срок службы контроллера в различных климатических условиях.

Контроллер непосредственно связан с светильником и солнечной панелью, обеспечивая координацию и автоматизацию работы системы. Это позволяет системе эффективно регулировать яркость освещения в зависимости от времени суток и обнаруженной активности. Такой подход способствует оптимальному использованию энергии, обеспечивая надежное и энергоэффективное освещение.

Высокоэффективная солнечная панель TOPRAY 250 Вт для эффективного преобразования солнечной энергии.

Эта система предназначена для адаптивного управления яркостью светильника в зависимости от времени суток. По умолчанию яркость составляет 20 % от максимальной, но при обнаружении движения светильник моментально активируется на 100 % на заданное время.

Основной корпус устройства выполнен из стали с уровнем защиты IP65, внутри которого размещены аккумулятор, солнечный контроллер заряда и драйвер светодиодного светильника. К системе может быть подключен датчик движения или кнопка вызова.

Это комплексное решение не только обеспечивает эффективное освещение, но и подчеркивает принципы современных технологий, энергосбережения и интеллектуального управления.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Заключение

Conclusion

Разработка является весьма перспективной и имеет все основания для успешного внедрения. На текущий момент подобные системы широко применяются лишь в индивидуальных объектах, в то время как применение их на автомагистралях пока не нашло широкого распространения. Учитывая, что трасса М4 «Дон» проходит через Краснодарский край к Ростовской области, где количество солнечных дней весьма значительно, мое решение может эффективно использовать солнечную энергию для обеспечения стабильного освещения.

Однако, помимо экономических аспектов, важно учесть и позитивное воздействие на окружающую среду и обеспечение безопасности на дорогах. Установка солнечных станций EcoLight Road сможет сэкономить энергию и в перспективе окупить вложенные средства, делая трассу более устойчивой и современной.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ильина, Е.** Наружное светодиодное освещение автомагистралей и улиц городов Нормирование установок наружного освещения / Е. Ильина, А. Стратиенко // Полупроводниковая светотехника. — 2010. — Т 3. — № 5. — С. 39–41. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15240297. — EDN MVNCER. (дата обращения: 05.03.2024).
2. Автономные системы интеллектуального светодиодного освещения автомобильных дорог / М.А. Садыков, А.Б. Курбанбаев, К.Т. Саткыналиев, А.А. Приходько // Научный аспект. — 2023. — Т 6. — № 2. — С. 657–666. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50475985. — EDN JZQQDI. (дата обращения: 05.03.2024).
3. Патент на полезную модель № 139714 U1 Российская Федерация, МПК F21S 2/00. Уличный светодиодный светильник: № 2012145144/07: заявл. 23.10.2012: опубл. 20.04.2014 / Г.В. Михайлов. — EDN ANJZKF. (дата обращения: 05.03.2024).
4. Патент на полезную модель № 217196 U1 Российская Федерация, МПК F21S 4/00. Светоизлучающий модуль светодиодного светильника: № 2022126941: заявл. 17.10.2022: опубл. 22.03.2023 / О.Н. Донцов, Н.В. Мошков; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Энергосберегающие технологии". — EDN SLLCPK. (дата обращения: 05.03.2024).
5. **Лыкова, В.А.** Перспективы использования и производства LED светильников в ДНР / В.А. Лыкова, Д.А. Захарченко // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". — 2018. — № 9. — С. 216–225. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36402770. — EDN YNHIAH. (дата обращения: 05.03.2024).
6. **Блинова, В.К.** Исследование характеристик наружного освещения автомагистралей Белгородской области / В.К. Блинова // Образование, наука, производство, Белгород, 20–22 октября 2015 года / Белгород: Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, 2015. — С. 300–304. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25571435. — EDN VNPBRH. (дата обращения: 05.03.2024).
7. **Рихтер, А.** Светодиодные технологии в помощь водителям / А. Рихтер // Полупроводниковая светотехника. — 2013. — Т 5. — № 25. — С. 20–21. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20681938. — EDN PRILGJ. (дата обращения: 05.03.2024).
8. **Ильина, Е.** Новые уличные линзы LEDiL: борьба за увеличение расстояния между опорами / Е. Ильина, С. Юсупов // Полупроводниковая светотехника. — 2018. — № 3. — С. 42–46. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35164273. — EDN XRPPGH. (дата обращения: 05.03.2024).

9. **Козлов, Д.Г.** Усовершенствование систем освещения автомобильных дорог / Д. Г. Козлов, Ю.П. Фролова, А.Е. Шаповалов // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 14–16 ноября 2018 года / Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I, 2018. — С. 276–279. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=36985599. — EDN VUOGZG. (дата обращения: 17.03.2024).

10. **Уварова, А.Г.** Современные проблемы освещения автодорог и возможные пути их решения / А.Г. Уварова // Электроэнергетика сегодня и завтра: сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Курск, 24 марта 2023 года / Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова; Научно-образовательный центр «Инженер». Том 2 / Курск: Университетская книга, 2023. — С. 196–200. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50518113. — EDN RGSQLN. (дата обращения: 17.03.2024).

11. **Хавазов, Т.Ш.** Повышение энергоэффективности в системе освещения автомобильных дорог / Т.Ш. Хавазов, А.В. Крупнов. — DOI https://doi.org/10.46573/2658-7459-2022-4-64-72 // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. — 2022. — № 4. — С. 64–72. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50047584. — EDN JLJKRA. (дата обращения: 17.03.2024).

12. **Королева, Т.Г.** Применение программного обеспечения «DIALuxevo» в учебном процессе для студентов направления подготовки 13.03.02 / Т.Г. Королева, А.А. Носовец // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 07 апреля 2021 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.] Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. — С. 174–177. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48603222. — EDN AALWQL. (дата обращения: 17.03.2024).

13. **Луковкина, М.В.** Устройство управления автоматизированной системы контроля освещения автомагистралей и парковок / М.В. Луковкина, А.В. Ряснов, А.В. Рыбаков // Исследования молодых ученых — вклад в инновационное развитие России: доклады молодых ученых в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К.»), Астрахань, 14–16 мая 2014 года / Астрахань: Нижневолжский экоцентр, 2014. — С. 189–191. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22240007. — EDN SSRQEV. (дата обращения: 17.03.2024).

14. **Бугорский, И.А.** Переход на светодиодные светильники для дорожного освещения / И.А. Бугорский, Д.Н. Паньков, В.В. Лужецкий // Современные перспективы развития гибких производственных систем в промышленном гражданском строительстве и агропромышленном комплексе: сборник научных статей Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 26 мая 2023 года / Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова. Том 2. / Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. — С. 201–204. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54058543. — EDN XWCJRA. (дата обращения: 17.03.2024).

15. **Мясникова, Н.В.** Дорожное освещение / Н.В. Мясникова, К.Ю. Тюрюханов // Химия. Экология. Урбанистика. — 2021. — Т 3. — С. 146–150. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46192089. — EDN ASKSFJ. (дата обращения: 17.03.2024).

Сведения об авторах:

Бережной Ярослав Анатольевич — ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия, e-mail: berezhnoy96@list.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-3077-2706
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1252450

Иванова Вилия Равильевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия,
e-mail: vr-10@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7667-5456
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=583590

Статья получена: 12.05.2024. Принята к публикации: 16.08.2024. Опубликована онлайн: 31.08.2024.

REFERENCES

1. Il'ina E., Stratiyenko A. [Outdoor LED lighting of highways and city streets Standardization of outdoor lighting installations]. *Solid-State Lighting*. 2010;3(5): 39–41. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15240297 (accessed 5th March 2024). (In Russ.).
2. Sadykov M.A., Kurbanbayev A.B., Satkynaliyev K.T., Prikhod'ko A.A. [Autonomous systems of intelligent LED lighting of highways]. [*Scientific aspect*]. 2023;6(2): 657–666. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50475985 (accessed 5th March 2024). (In Russ.).
3. Mikhaylov G.V. Outdoor LED Light. RU 139714 U1 (Patent) 2014. (accessed 5th March 2024).
4. Dontsov O.N., Moshkov N.V. Light emitting module of LED lamp. RU 217196 U1 (Patent) 2023. (accessed 5th March 2024).
5. Lykova V.A., Zakharchenko D.A. Prospects of Use and Production of Led Lamps In DNR. Electronic network polythematic journal *Scientific Works of KubSTU*. 2018;(9): 216–225. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36402770 (accessed 5th March 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Blinova V.K. [Study of characteristics of outdoor lighting of highways of Belgorod region]. In: [*Education, Science, Production, Belgorod, October 20–22, 2015*]. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; 2015. p. 300–304. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=25571435 (accessed 5th March 2024). (In Russ.).
7. Rikhter A. [LED technology to help drivers]. *Solid-State Lighting*. 2013;5(25): 20–21. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20681938 (accessed 5th March 2024). (In Russ.).
8. Il'ina E., Yusupov S. New LEDiL street lenses: the fight to increase the distance between supports. *Solid-State Lighting*. 2018;(3): 42–46. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35164273 (accessed 5th March 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
9. Kozlov D.G., Frolova Yu.P., Shapovalov A.E. [Improvement of road lighting systems]. In: [*Innovative technologies and technical means for the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists, Voronezh, November 14–16, 2018*]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I; 2018. p. 276–279. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=36985599 (accessed 17th March 2024). (In Russ.).
10. Uvarova A.G. Modern Problems of Highway Lighting and Possible Ways to Solve Them. In: [*Electric Power Industry Today and Tomorrow: Collection of Scientific Articles of the 2nd International Scientific and Technical Conference, Kursk, March 24, 2023 / Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov; Scientific and Educational Center "Engineer". Volume 2*]. Kursk: Universitetskaya kniga; 2023. p. 196–200. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=50518113 (accessed 17th March 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
11. Khavazov T.Sh., Krupnov A.V. Improving Energy Efficiency in The Highway Lighting System. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Construction. Electrical and chemical engineering»*. 2022;(4): 64–72. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.46573/2658-7459-2022-4-64-72.
12. Koroleva T.G., Nosovets A.A. Application of the Software "DIALux evo" In the Educational Process for Students of The Training Direction 13.03.02. In: [*Electrical networks: reliability, safety, energy saving and economic aspects: Proceedings of the international scientific and practical conference, Kazan, April 07, 2021*]. Kazan: Kazan State Energy University; 2022. p. 174–177. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=48603222 (accessed 17th March 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
13. Lukovkina M.V., Ryasnov A.V., Rybakov A.V. [Control device for automated lighting control system for highways and parking lots]. In: [*Research by young scientists — contribution to innovative development of Russia: reports by young scientists within the framework of the program "Participant of the youth scientific and innovative competition" ("UMNIK"), Astrakhan, May 14–16, 2014*]. Astrakhan: Nizhnevolzhskiy ekotsentr; 2014. p. 189–191. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=22240007 (accessed 17th March 2024). (In Russ.).
14. Bugorskiy I.A., Pan'kov D.N., Luzhetskiy V.V. [*Transition to LED luminaires for road lighting]. In: [Modern prospects for the development of flexible manufacturing systems in industrial civil engineering and the agro-industrial complex: collection of scientific articles of the All-Russian scientific and technical conference of young scientists, postgraduates, masters and bachelors, Kursk, May 26, 2023 / Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov. Volume 2.*]. Kursk: Universitetskaya kniga; 2023. p. 201–204. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=54058543 (accessed 17th March 2024). (In Russ.).

15. Myasnikova N.V., Tiuriukhanov K.Y. Road Lighting. [*Chemistry. Ecology. Urban studies*]. 2021;3: 146–150. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46192089 (accessed 17th March 2024). (In Russ., abstract in Eng.).

Information about the authors:

Yaroslav A. Berezhnoy — Kazan State Energy University, Kazan, Russia, e-mail: berezhnoy96@list.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-3077-2706
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1252450

Viliya R. Ivanova — Kazan State Energy University, Kazan, Russia, e-mail: vr-10@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7667-5456
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=583590

Submitted: 12th May 2024. Revised: 16th August 2024. Published online: 31st August 2024.