

УДК: 625.712 : 6351.811.111.5
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.4
EDN: CWHLFE



Освещенность автомобильных дорог в сельских населенных пунктах

О.А. Логинова¹, Р.В. Николаева¹, Р.В. Петров²

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

² ФКУ «Волго-Вятскуправтодор», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Множество малых населенных пунктов в сельской местности не имеют достаточного освещения улиц. Местным жителям это доставляет большой дискомфорт, особенно это ощутимо в зимний период. Остро встает вопрос освещения, если через населенный пункт проходит автомобильная дорога, которая одновременно является главной улицей поселения. Освещение таких дорог позволяет не только улучшить светотехнические показатели, но и снизить число дорожно-транспортных происшествий, связанных с наездом на пешехода в темное время суток. Цель работы заключается в сравнении методик светотехнических расчетов параметров освещения дорожного покрытия автомобильных дорог, для выбора менее затратного решения по устройству освещения на автомобильной дороге. Для достижения цели решались следующие задачи: исследование существующих методик светотехнического расчета параметров освещения дорожного покрытия; выявление наиболее экономичного метода расчета освещенности дорожного покрытия на примере участка автомобильной дороги.

Результаты. В работе представлены результаты расчета светотехнических характеристик освещения дороги. В качестве основных параметров выбраны средняя яркость и средняя освещенность дорожного покрытия. По результатам расчета проведен анализ выбранных параметров и оценка экономической эффективности рассматриваемых методик.

Выводы. Значимость для дорожно-строительной отрасли заключается в получении более выгодных проектных решений связанных с расчетами светотехнических параметров освещения дорожного покрытия автомобильных дорог, за счет применения методики, разработанной Всероссийским научно-исследовательским светотехническим институтом имени С.И. Вавилова.

Ключевые слова: наружное освещение, автомобильная дорога, яркость, освещённость, опоры освещения

Для цитирования: Логинова О.А., Николаева Р.В., Петров Р.В. Освещенность автомобильных дорог в сельских населенных пунктах // Известия КГАСУ, 2025, № 1(71), с. 41-50, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.4, EDN: CWHLFE

Illumination of highways in rural settlements

O.A. Loginova¹, R.V. Nikolaeva¹, R.V. Petrov²

¹ Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

² FКУ «Volga-Vyatskupravtodor», Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Many small settlements in rural areas do not have sufficient street lighting. This causes great discomfort to the locals, especially in winter. The issue of lighting is acute if a highway passes through the settlement, which is also the main street of the settlement. Lighting of such roads allows not only to improve lighting engineering performance, but also to reduce the number of traffic accidents associated with hitting pedestrians at night. The purpose of

the work is to compare the methods of lighting engineering calculations of highways illumination parameters, to select a less expensive solution for the arrangement of lighting on a highway. To achieve the goal, the following tasks were solved: study of existing methods of lighting engineering calculation of road illumination parameters; identification of the most economical method for calculating road illumination using a section of a highway as an example.

Results. The paper presents the results of calculating the lighting engineering characteristics of road illumination. The average brightness and average illumination of the road are selected as the main parameters. Based on the calculation results, the analysis of the selected parameters was carried out and the economic efficiency of the considered methods was evaluated.

Conclusions. The significance for the road construction industry lies in obtaining more advantageous design solutions related to the calculations of lighting engineering parameters for highways illumination through the use of a methodology developed by the All-Russian Scientific Research Lighting Engineering Institute named after S.I. Vavilov.

Keywords: outdoor lighting, highway, brightness, illumination, lighting poles

For citation: Loginova O.A., Nikolaeva R.V., Petrov R.V. Illumination of highways in rural settlements // News of KSUAE, 2025, № 1(71), p. 41-50, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.4, EDN: CWHLFE

1. Введение

В своем развитии уличное освещение претерпело значительные изменения, пройдя путь от примитивных масляных источников света до светодиодных технологий [1-2]. В начале этого пути использовались такие источники света, как конопляное масло и свечи, которые обеспечивали тусклый и ненадёжный свет. Затем появились газовые фонари, которые стали более эффективными и долговечными, но всё равно требовали постоянного обслуживания и замены газовых баллонов. В конце XIX века были изобретены электрические лампы, которые позволили создать более яркое и равномерное освещение улиц. Однако первые уличные фонари были дорогими и сложными в установке, поэтому их распространение было ограничено. В начале XX века были разработаны более доступные и эффективные технологии уличного освещения, такие как дуговые лампы и лампы накаливания. Эти лампы обеспечивали достаточно яркий свет, но также потребляли много электроэнергии и имели короткий срок службы. В середине XX века были изобретены люминесцентные лампы, которые были более экономичными и долговечными, чем лампы накаливания. Однако они также имели свои недостатки, такие как мерцание и необходимость специальной утилизации [3]. В конце XX века были разработаны светодиодные лампы, которые стали наиболее перспективным и экологически чистым источником уличного освещения. Светодиоды обеспечивают высокую энергоэффективность, долговечность и возможность создания различных цветовых решений для уличного освещения. Сегодня светодиодное уличное освещение является наиболее распространённым и эффективным способом обеспечения безопасности и комфорта на улицах городов и других населённых пунктов [4]. Светодиодное освещение может быть направлено на конкретные участки дороги, при этом отсутствует световое загрязнение и рассеивание света [5].

Уличное освещение имеет большое значение для ориентации и внимания всех участников дорожного движения, также освещение является важным элементом по обеспечению безопасности на дорогах [6-7].

Проблеме дорожно-транспортных происшествий в ночное время уделяют внимание большинство стран в мире. В темное время пешеходы в одежде темных тонов практически сливаются с неосвещенным покрытием дороги. При таких неблагоприятных условиях водитель не всегда может быстро среагировать на дорожную обстановку [8]. По статистике, наибольшее количество дорожно-транспортных происшествий наблюдается в вечерние часы – с 17:00 до 21:00 [9]. По российским источникам, в темное время суток происходит от 32,7% до 48% дорожно-транспортных происшествий [2, 10]. Схожие цифры были получены при исследовании дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах в других странах. В Иордании интенсивность движения в ночное

время составляет 25% от дневной интенсивности, при этом 50% всех дорожно-транспортных происшествий со смертельным исходом происходят ночью [11, 12]. Во Флориде были проведены исследования направленные на изучение взаимосвязи между фотометрическими показателями освещенности и риском дорожно-транспортных происшествий в ночное время на участках проезжей части. Сопоставив данные о ночных и дневных авариях ученые пришли к выводу, что характеристики горизонтальной освещенности оказывают существенное влияние на риск ночных аварий на участках проезжей части. Увеличение средней освещенности по горизонтали, свидетельствующее об улучшении среднего уровня освещенности, как правило, снижает риск возникновения аварий в ночное время [13, 14]. Основываясь на базе данных о дорожно-транспортных происшествиях Департамента транспорта и развития Луизианы, исследования выявили несколько интересных схем столкновений при дневном свете, в темное время суток при свете уличных фонарей и в темное время суток без уличных фонарей. В дневное время дорожно-транспортные происшествия со смертельным исходом связаны с пасмурной погодой, рассеянностью водителей, застоем воды на проезжей части, неиспользованием ремней безопасности и участками строительных работ. В условиях недостаточного освещения (с уличными фонарями и без них) большинство аварий на автомобилях связаны с употреблением алкоголя, молодыми водителями (15-24 года), состоянием водителя (например, невнимательность, рассеянность, болезнь/усталость/ сон) и наездами на животных [15]. В Кембридже, штат Массачусетс, выявили, что при условиях недостаточного освещения, в том числе на рассвете и в сумерках, происходит увеличение частоты аварий среди автомобилистов из-за ухудшения видимости. Была выявлена прямая корреляция между авариями и отсутствием освещения на проезжей части [16].

Отдельно стоит отметить дорожно-транспортные происшествия с участием пешеходов. Частота дорожно-транспортных происшествий с пешеходами в ночное время на участках с низким уровнем освещенности намного выше, чем на участках с высоким уровнем освещенности [17]. Одним из технических решений, которые могут улучшить ситуацию, является использование надлежащего освещения пешеходных переходов. Обозначенный пешеходный переход должен быть виден при различных погодных условиях и в разное время суток [18]. Исследования показали, что для освещения пешеходных переходов не подходит типовой подход к проектированию освещения, как это делается для освещения проезжей части дороги. Так как в 40 % случаях на пешеходных переходах происходило уменьшение значений показателей освещенности [19].

Освещение дорог не только позволяет снижать количество дорожно-транспортных происшествий, но и приводит к дополнительной нагрузке в городском бюджете, связанной с расходами на электроэнергию [20]. Для снижения энергопотребления дорожного освещения при сохранении комфорта и безопасности пользователей в ряде стран предлагается применять адаптивные и интеллектуальные технологии освещения. Одни системы освещения чувствительны к присутствию на дороге автомобиля [21-22], другие моделирует транспортную нагрузку и способны прогнозировать ее будущую динамику на основе измерений текущей нагрузки и интенсивности освещения [23-24]. Таким образом, удается избежать ненужного использования осветительного оборудования, поскольку яркость снижается до минимального уровня при прогнозируемой низкой интенсивности транспорта. Результаты подчеркивают преимущества использования ярких дорожных покрытий, а также необходимость внедрения систем регулирования потока света, при установке дорожного освещения для компенсации расхождений между текущими справочными данными и фактическими данными о дорожном покрытии [25]. При этом необходимо избегать эффекта рассеивания света, которое может возникать из-за посадки деревьев рядом с опорами освещения [19].

Теоретические методы обычно используются для определения освещенности в идеальных условиях, но в реальных условиях следует учитывать конструктивные ограничения. Такие как неровности дорожного покрытия, загрязненность ламп, нарушение вертикальности у опоры освещения, температура окружающей среды, наличие выражений на дороге [26].

Современные автоматизированные светотехнические программы позволяют проводить моделирование трехмерного изображения, проводить светотехнические расчеты и расчёты параметров освещения с реальными световыми приборами [27-28].

Целью данной работы является сравнение методик светотехнических расчетов параметров освещения дорожного покрытия автомобильных дорог, для выбора менее затратного решения по устройству освещения, на примере участка автомобильной дороги Р-177 «Поветлужье», проходящей через сельский населенный пункт Арда, в Республике Марий Эл, Россия. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- исследование существующих методик светотехнического расчета параметров освещения дорожного покрытия;
- выявление наиболее экономичного метода расчета освещенности дорожного покрытия на примере участка автомобильной дороги.

2. Материалы и методы

В соответствии с нормативными документами, регулирующими освещение городских дорог, основными нормируемыми параметрами являются средняя яркость дорожного покрытия, а также полная и продольная равномерность яркости. Эти параметры имеют более высокий приоритет по сравнению с показателями освещенности. В то же время для загородных автомобильных дорог приоритетным является показатель освещенности. Ключевое различие между освещенностью и яркостью заключается в том, что освещенность не зависит от положения наблюдателя и не учитывает взаимодействие света с окружающей средой (отражение, поглощение и т.д.), в то время как яркость напрямую связана с направлением наблюдения и отражающими свойствами поверхности в этом направлении.

Исследователи [29] акцентируют внимание на видимости как ключевом факторе безопасности дорожного движения. При проектировании систем освещения дорог учитываются три основных критерия: освещенность, яркость и видимость малых целей (STV). Освещенность – это базовый показатель, который определяет количество света на поверхности дороги. Яркость фокусируется на количестве света, попадающего на водителя, и прогнозирует яркость проезжей части. STV – это метрика видимости, которая оценивает видимость различных объектов на дороге, принимая во внимание яркость объекта и фона, уровень адаптации и инвалидности.

Метод определения освещенности проезжей части определяет количество света, падающего на проезжую часть от системы освещения. Этот метод учитывает отражение света от тротуаров и различия в характеристиках отражения разных типов тротуаров.

Метод определения яркости освещения проезжей части фокусируется на определении яркости дороги, учитывая отражение света от тротуаров и однородность яркости. Метод проектирования STV учитывает яркость целей, яркость фона и адаптацию к условиям окружающей среды при определении уровня видимости на проезжей части. Подобный метод описан в зарубежных нормативных документах [30- 31].

Всероссийский научно-исследовательский светотехнический институт (ВНИСИ) имени С.И. Вавилова разработал методику, отраженную ГОСТ Р 58107.1-2018 «Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета». Она определяет требования к освещению автомобильных дорог и пешеходных переходов, так как безопасность дорожного движения напрямую зависит от качества освещения.

На основе методики ВНИСИ определялись основные параметры освещения автомобильных дорог.

Яркость в заданной расчетной точке дорожного покрытия, кд/м²:

$$L = \frac{I \cdot r \cdot \Phi \cdot MF}{H^2}, \quad (1)$$

где I – приведенная сила света осветительного прибора в направлении расчетной точки, кд/кЛм;

r – редуцированный показатель яркости дорожного покрытия в расчетной точке в направлении наблюдателя, ср;

Φ – начальный световой поток осветительного прибора, клм;
 MF – коэффициент эксплуатации источника света (= 0,80);
 H – высота светового центра осветительного прибора над поверхностью дороги, м.
 Освещённость в заданной точке на дорожном покрытии, лк:

$$E_h = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot MF}{H^2}, \quad (2)$$

где ε – угол между падающим лучом и нормалью к освещаемой поверхности в точке падения луча, °(градус).

Также применялись и основные расчетные формулы яркости и освещенности из зарубежных источников [26]:

$$L = \frac{I \cdot r \cdot \Phi \cdot LLF}{H^2}, \quad (3)$$

$$E_h = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot LLF}{H^2}, \quad (4)$$

где I – интенсивность света осветительного прибора в направлении расчетной точки, кд/кلم;
 r – пониженный коэффициент отражения, ср;

LLF – коэффициент светопотерь (= 0,67);

Φ – начальный световой поток осветительного прибора, клм;

H – высота светового центра осветительного прибора над поверхностью дороги, м;

ε – угол между падающим лучом и нормалью к освещаемой поверхности в точке падения луча, °(градус).

3. Результаты и обсуждение

Рассматриваемый участок автомобильной дороги Р-177 «Поветлужье» проложен через сельский населенный пункт Арда, Республика Марий Эл, Россия, относится ко II технической категории и имеет протяжённость 1,015 км (Рис. 1).



Рис. 1. Участок дороги Р-177 «Поветлужье» в населенном пункте Арда (иллюстрация автора)
 Fig. 1. Section of the highway R-177 «Povetluzhye» in the village of Arda (illustration by the author)

Покрытие проезжей части выполнено из асфальтобетона на щебёночном основании, ширина одной полосы движения составляет 3,5 м, ширина обочины – 2,5 м. Стационарное электрическое освещение необходимо на участке км 274+500 — км 275+515. Схема расположения светильников принята односторонняя с шагом опор 35,0 м. Необходимые исходные данные для расчета приведены в таблице 1. Расчет освещения проводился с помощью программы DIALux EVO.

Таблица 1

Данные для расчета освещения в населенном пункте Арда

Протяженность участка освещения	Высота установки светильника	Марка светильника	Световой поток	Расстояние между опорами	Наклон консоли светильника
1015 м	12 м	GALAD Стандарт	17,6 клм	35 м	15°

В расчетах коэффициент светопотерь принят равным 0,67. Средняя яркость покрытия для расчетного участка должна быть не меньше 1 кд/м².

По результатам расчета по методике ВНИСИ средняя освещенность составила 19,9 лк, средняя яркость – 1,07 кд/м², что больше минимальных значений (Рис. 2).

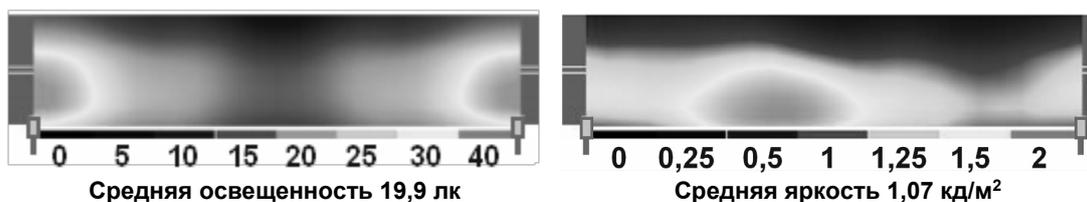


Рис. 2. Средняя освещенность и яркость при шаге опор освещения 35 м по методике ВНИСИ (иллюстрация автора)

Fig. 2. Average illumination and brightness with the distance between lighting poles of 35 m, according to VNISI method (illustration by the author)

Расчет по методике [26] показал, что при шаге между опорами в 35,0 м средняя яркость составила 0,98 кд/м², что не соответствует минимальным значениям (Рис. 3).

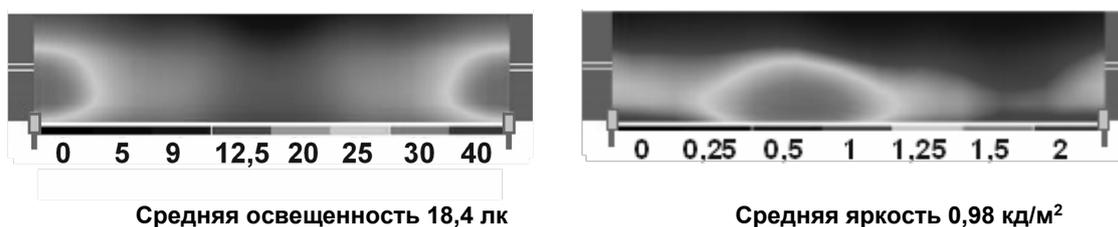


Рис. 3. Средняя освещенность и яркость при шаге опор освещения 35 м по методике [26] (иллюстрация автора)

Fig. 3. Average illumination and brightness with the distance between lighting poles of 35 m, according to [26] (illustration by the author)

Уменьшив шаг между опорами до 30,0 м, получаем среднюю яркость, удовлетворяющую нормативным требованиям (Рис. 4).

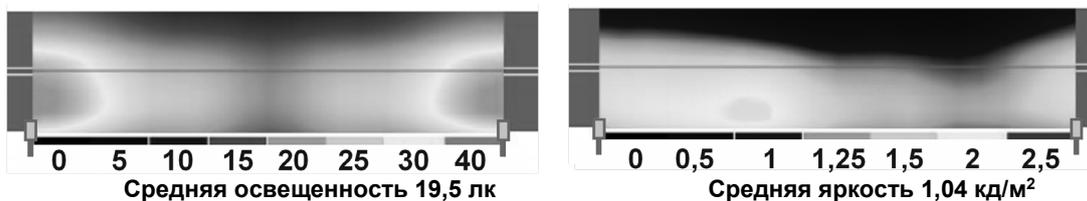


Рис. 4. Средняя освещенность и яркость при шаге опор освещения 30 м по методике [26] (иллюстрация автора)

Fig. 4. Average illumination and brightness with the distance between lighting poles of 30 m, according to [26] (illustration by the author)

Результаты проведенных расчетов по освещенности населенного пункта Арда сведены в общую ведомость и представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сопоставительный анализ расчетов по освещенности населенного пункта Арда

№ п/п	Показатели освещенности	Методика ВНИСИ	Яркостный метод [26]		Нормативные показатели (по ГОСТ Р 58107.1-2018)
		длина пролета 35 м	длина пролета 35 м	длина пролета 30 м	
1	Средняя яркость $L_{ср}$, кд/м ²	1,07	0,98	1,04	≥ 1
2	Средняя освещенность $E_{ср}$, лк	19,9	18,4	19,5	≥ 10
3	Коэффициент общей равномерности, $L_{мин}/L_{ср}$	0,43	0,43	0,43	$\geq 0,4$
4	Коэффициент продольной равномерности, $L_{мин}/L_{макс}$	0,62	0,60	0,62	$\geq 0,6$
5	Коэффициент равномерности, $E_{мин}/E_{ср}$	0,48	0,48	0,53	$\geq 0,25$

Критерием эффективности светотехнических расчетов является наилучшее обеспечение количественных (средняя горизонтальная освещенность $E_{ср}$, средняя яркость дорожного покрытия $L_{ср}$) и качественных (коэффициенты общей $L_{мин}/L_{ср}$ и продольной $L_{мин}/L_{макс}$ равномерности распределения освещенности, коэффициент равномерности $E_{мин}/E_{ср}$) показателей.

Расчетные исследования, приведенные в сопоставительном анализе, подтверждают, что показатели средней освещенности, коэффициенты общей равномерности, продольной равномерности и равномерности, полученные по методикам ВНИСИ и [26] имеют идентичные значения и находятся в пределах нормативных значений как по методике ВНИСИ, так и яркостному методу.

Значений средней яркости $L_{ср}$ при расчете по яркостному методу при шаге опор 35,0 м составило 0,98 кд/м², что больше 0,9 кд/м², принятых в [26], но это значение меньше нормативного показателя (1,0), приведенного в ГОСТ Р 58107.1-2018 «Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета». Уменьшение шага опор до 30,0 м позволили достичь нормативных показателей, указанных в методике ВНИСИ. Сопоставительный анализ результатов расчета показал расхождение значений средней яркости в диапазоне от 2 до 7%.

Результаты исследований, посвященные определению светотехнических параметров освещения автомобильной дороги, позволили выявить наиболее экономичный метод освещенности дорожного покрытия. Это метод ВНИСИ, согласно которому для освещения рассматриваемого участка дороги требуется меньшее количество опор (30 штук) с шагом 35,0 м.

4. Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Сравнение методик показало абсолютную идентичность методов расчёта освещения дорожного покрытия в России и европейских странах, так как в аналитических расчетах применяется одинаковый набор параметров.

2. Проектные решения по методике ВНИСИ являются более экономичными, так как на основе расчетов было выявлено, что на рассматриваемом участке автомобильной дороги по методике ВНИСИ достаточно 30 опор освещения с шагом опор 35,0 м, а по расчету яркостного метода необходимо 35 опор с шагом 30,0 м.

Список литературы / References

1. Vostrikov A., Podolsky V. Evolution of methods and technologies used for road lighting // International Journal of Advanced Studies. 2021. №10. 152. DOI: 10.12731/2227-930X-2020-4-152-161.
2. Николаева Р.В., Халиуллина Р.Р. Автоматизированные системы управления освещением на автомобильных дорогах (на примере дороги федерального значения)

- "Казань-Оренбург") // Техника и технология транспорта. 2020. № 3(18). С. 11. EDN CMXNPJ.
- Nikolaeva R.V., Khaliullina R.R. Automated lighting control systems on highways (on the example of the Kazan-Orenburg federal highway) // Technique and technology of transport. 2020. No.3 (18). P.11. URL: <https://transport-kgasu.ru/files/N18-11ITS320.pdf>.
3. Лялькина Г.Б. История искусственного освещения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Безопасность и управление рисками. 2015. № 2. С. 183-194. EDN TZQUNL.
Lyalkina G.B. The history of artificial lighting // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Security and risk management. 2015. No.2. P. 183-194. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_23746563_35411050.pdf.
4. Gibbons R., Bhagavathula R., Lutkevich P., McLean D. Solid-State Roadway Lighting Design Guide, 2020. Volume 1: Guidance. DOI: 10.17226/25678.
5. Веденева Л.М., 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. EDN XDSFGT.
Vedeneva L.M., Vedeneva L.M., Noskov V.V., Popov A.P. The influence of street lighting on city safety // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Security and risk management. 2016. No.85. P. 150-161. EDN XDSFGT.
6. Гатиятуллин М.Х., Кутдусов Р.Ф. Влияние транспортно-эксплуатационного состояния дорожной сети на состояние аварийности // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2023. № 4 (4). С. 79-86.
Gatiyatullin M.H., Kutdusov R.F. The influence of the transport and operational condition of the road network on the state of accidents// Roads and transport infrastructure. 2023. No. 4 (4). P. 79-86.
7. Муртазин Р.Ш., К.Р. Хузиахметова Автоматизация обработки данных при оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги: сборник материалов Международного форума. Казань: НЦБЖД, 2024. С. 41-45. EDN TEBLMW.
Murtazin R.Sh., K.R. Khuziakhmetova Automation of data processing in the assessment of the transport and operational condition of the highway: collection of materials of the International Forum. Kazan: NCBZHD, 2024. P. 41-45.
8. Levkovich T.I., Levkovich F.N., Mevlinin Z.A., Korneev A.A. Factors influencing illumination roads // Russian journal of transport engineering, [online] 2018. No. 1(5). DOI: 10.17226/2567810.15862/03SATS118.
9. 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. EDN XDSFGT.
Vedeneva L.M., Noskov V.V., Popov A.P. The influence of street lighting on city safety // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Security and risk management. 2016. No. 5. P. 150-161. EDN XDSFGT.
10. Вайцеховский И.Е., Чудаков А.В. Анализ развития системы освещения автомобильных дорог и улиц в России, на основе статистики дорожно-транспортных происшествий // Рефлексия. 2023. № 6. С. 16-20. EDN MСYQJH.
Vaitsekhovskiy I.E., Chudakov A.V. Analysis of the development of the lighting system of highways and streets in Russia, based on statistics of road traffic accidents // Reflection. 2023. No. 6. P. 16-20. EDN MСYQJH.
11. Obeidat M., Khrais S., Bataineh B., Rababa M. Impacts of roadway lighting on traffic crashes and safety in Jordan // International Journal of Crashworthiness. 2020. 27. DOI: 10.1080/13588265.2020.1826788.
12. Sababhi S., Aldala'in S., Taani A., Rawashdeh Sh., Barari T., Aladwan Z., Manan T. Safety on Jordan's highways: A GIS-Based approach to identifying road accident hotspots // GeoJournal. 2024. 89. DOI: 10.1007/s10708-024-11115-5.

13. Yang R., Wang Z., Lin P., Li X., Chen Y., Hsu P., Henry A. Safety effects of street lighting on roadway segments: Development of a crash modification function // *Traffic Injury Prevention*. 2019. 20. 1-7. DOI: 10.1080/15389588.2019.1573317.
14. McCombs J., Al-Deek H., Sandt A., Uddin N., Carrick G. Identifying Corridor-Level Safety Improvements for Urban and Suburban Arterials in Florida Within a Safe System Framework // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2024. DOI: 10.1177/03611981241234914.
15. Hossain A., Sun X., Islam Sh., Alam Sh., Hossain M. Identifying roadway departure crash patterns on rural two-lane highways under different lighting conditions: Association knowledge using data mining approach // *Journal of Safety Research*. 2023. 85. DOI: 10.1016/j.jsr.2023.01.006.
16. Hennessy E., Ai C. A Spatial Comparison of Roadway Lighting and Nonmotorist Crashes in Cambridge, MA // *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. 2021. 2675. DOI: 10.1177/03611981211026660.
17. Zhou H., Hsu P. Effects of Roadway Lighting Level on the Pedestrian Safety. 2009. 1-9. DOI: 10.1061/41064(358)4.
18. Tomczuk, Piotr and Jamroz, Kazimierz and Mackun, Tomasz and Chrzanowicz, Marcin. Lighting requirements for pedestrian crossings – positive contrast. *MATEC Web of Conferences*. 2019. 262. 05015. DOI: 10.1051/mateconf/201926205015.
19. Sedziwy A., Kotulski L. Statistical Analysis of the Crosswalk Lighting Design Correctness. *Appl. Sci*. 2022. 12. 8951. DOI: 10.3390/app12188951.
20. Scanlon S. Roadway Lighting and “Smart Poles”. 2022. 10.1007/978-3-030-92821-6_6.
21. Pihlajaniemi H., Luusua A., Juntunen E. Drivers’ Experiences and Informed Opinions of Presence Sensitive Lighting Point towards the Feasibility of Introducing Adaptive Lighting in Roadway Contexts // *Smart Cities*. 2023. No. 6. 1879-1900. DOI: 10.3390/smartcities6040087.
22. Liu Ch., Hsiao Ch., Gu J., Liu K., Yan Sh., Chiu Ch., Ho M. HCL Control Strategy for an Adaptive Roadway Lighting Distribution // *Applied Sciences*. 2021. No. 11. 9960. DOI: 10.3390/app11219960.
23. Ranjan R. Smart Street Light on Highway with Energy Conservation and Accident Prevention // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2022. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.45326/>.
24. Kolaitis A., Alexandridis G., Adam P., Alexandridis P., Chasanis G., Breton F. Adaptive Dimming of Highway Lights Using Recurrent Neural Networks. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-30855-0_8.
25. Gidlund H., Lindgren M., Muzet V., Rossi G., Iacomussi P. Road Surface Photometric Characterisation and Its Impact on Energy Savings // *Coatings*. 2019. No. 9. 286. DOI: 10.3390/coatings9050286.
26. Civalcı O., Ertas B. Roadway Lighting Design Methodology And Evaluation // *Journal of Integrated Design and Process Science*. 2000. No.4. 1-23.
27. Пиюнкевич В.А. Разработка и исследование модели для выполнения светотехнического расчета освещения автомобильных дорог в комплексе Light-In-Night Road // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2016. Т. 20. № 10. С. 142–153. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-10-142-153.
Pionkevich V.A. Development and study of the models for the lighting engineering calculation of highway illumination in the Light-In-Night Road software. // *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2016, vol. 20, No. 10, P. 142–153. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-10-142-153.
28. Райкова Л.С., Медведев В.И. Системы для проектирования освещения автомобильных дорог // *САПР и ГИС автомобильных дорог*. 2017. № 1(8). С. 28-36. DOI 10.17273/CADGIS.2017.1.5. EDN ZGVDQX.
Raikova L.S., Medvedev V.I. Systems for designing road lighting//*CAD and GIS of roads*. 2017. No. 1(8). S. 28-36. DOI 10.17273/CADGIS.2017.1.5. EDN ZGVDQX.
29. Thurairajah U. A Comparative Study: The Benefits of a Novel Illuminance Calculation Method over Luminance Calculation Method for Optimal Roadway // *Lighting Design Applications*. 2022. DOI: 10.1088/1742-6596/2224/1/012117.

30. EN 13201-3:2015 Road lighting. Part 3: Calculation of performance URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/3b3f153c-192f-486e-ba81-d0a6dbb114c4/en-13201-3-2015>.
31. Bhagavathula R., Gibbons R., Lutkevich P., McLean D. Solid-State Roadway Lighting Design Guide // Research Overview. 2020. Vol. 2. DOI: 10.17226/25679.

Информация об авторах

Логинова Ольга Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: loginova@kgasu.ru, ORCID: 0000-0003-0780-2068

Николаева Регина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: nikolaeva1@bk.ru, ORCID: 0000-0002-5324-432x

Петров Руслан Валерьевич, ФКУ «Волго-Вятскуправтодор», г. Казань, Российская Федерация

E-mail: petrov_ruslan_99@mail.ru, ORCID: 0009-0005-4174-4692

Information about the authors

Olga A. Loginova, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: loginova@kgasu.ru, ORCID: 0000-0003-0780-2068

Regina V. Nikolaeva, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: nikolaeva1@bk.ru, ORCID: 0000-0002-5324-432x

Ruslan V. Petrov, FKU «Volga-Vyatskupravtodor», Kazan, Russian Federation

E-mail: petrov_ruslan_99@mail.ru, ORCID: 0009-0005-4174-4692