



Research Article



Received: November 13, 2024

Accepted: November 27, 2024

Published: December 6, 2024

ISSN 2304-6295

Design of highway lighting

Loginova, Olga Anatolevna^{1*}  Nikolaeva, Regina Vladimirovna¹  Petrov, Ruslan Valerevich¹  

¹ Kazan State University of Architecture and Engineering Kazan, Russian Federation; loginova@kgasu.ru (L.O.A.); nikolaeva1@bk.ru (N.R.V.) petrov_ruslan_99@mail.ru (P.R.V.)

Correspondence:* email loginova@kgasu.ru; contact phone [+79272430542](tel:+79272430542)

Keywords:

Roadway lighting; Outdoor lighting; Road; Brightness; Illumination; Lighting supports

Abstract:

The object of research is a highway in the village of Arda with a roadway width of 7.0 m and roadsides of 2.5 m each. Lighting works will be carried out on the road. The purpose of this work is to analyze the standards of lighting design, designed according to domestic and foreign methods. **Method.** The calculated values of average illumination and average brightness were determined analytically in the DIALux Evo program. For the calculation, the height of the lamp was 12.0 m, the distance between the supports was 35 m and the angle of inclination of the lamp console was 15 degrees. The lamps are located on one side of the road, the width of the carriageway is 7.0 m, the width of the roadsides is 2.5 m. **Results.** The values of the average illumination meet the normative indicators. The values of the average brightness according to the foreign methodology were less than the standard value. Reducing the pitch between the luminaires from 35 m to 30 m allowed us to obtain a brightness value that meets the standards. The analysis of the calculation formulas showed their complete identity.

1 Введение / Introduction

За последние три столетия уличное освещение претерпело значительные изменения, пройдя путь от примитивных источников света до современных 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].

Исследования показали, что причинами возникновения дорожно-транспортных происшествий могут быть климатические условия [6], психофизиология водителя [7], время суток и освещенность дороги.

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% [10] до 48% [2] дорожно-транспортных происшествий. Схожие цифры были получены при исследовании дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Иордании [11], [12] и США в штатах Флорида [13], [14], Луизиана [15], Массачусетс [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, удастся 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 виражей 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 работы является сравнение результатов проектирования освещения участка автомобильной дороги на примере автомобильной дороги Р-177 «Поветлужье», проходящей через населенный пункт Арда в Республике Марий Эл.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: выполнены расчеты освещенности и яркости проезжей части в населенном пункте Арда, проведено сравнение расчетных данных с нормативными показателями яркости и освещенности.

2 Материалы и методы / Materials and Methods

В соответствии с нормативными документами, регулирующими освещение городских дорог, основными нормируемыми параметрами являются средняя яркость дорожного покрытия, а также

Loginova, O.; Nikolaeva, R.; Petrov, R.

Comparison of lighting design techniques on highways;

2024; Construction of Unique Buildings and Structures; 114 Article No 11401. doi: 10.4123/CUBS.114.1



полная и продольная равномерность яркости. Эти параметры имеют более высокий приоритет по сравнению с показателями освещённости. В то же время для загородных автомобильных дорог приоритетным является показатель освещённости. Ключевое различие между освещённостью и яркостью заключается в том, что освещённость 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 [29].

Зарубежные исследования акцентируют внимание на видимости как ключевом факторе безопасности дорожного движения. При проектировании систем освещения дорог учитываются три основных критерия: освещённость, яркость и видимость малых целей (STV). Освещённость — 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.

Освещённый метод проектирования освещения 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.

Яркостный метод проектирования 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].

В то же время утилитарное освещение является самой регламентируемой областью светотехники.

В Российской Федерации существует обширная нормативно-правовая база, которая регулирует сферу дорожного освещения. Среди основных документов можно выделить ГОСТ Р 55706–2013 «Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы» и ГОСТ Р 58107.1-2018 «Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета». Эти стандарты определяют требования к освещению автомобильных дорог и пешеходных переходов, так как безопасность дорожного движения напрямую зависит от качества освещения. Также и за рубежом имеется большое количество исследований по улучшению качества наружного освещения [29], [31].

На основе нормативных документов определялись основные параметры освещения автомобильных дорог по отечественной методике.

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/кلم;

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.

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, кلم;

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

ε - угол между падающим лучом и нормалью к освещаемой поверхности в точке падения луча.

3 Результаты и обсуждения / Results and Discussion

Рассматриваемый участок автомобильной дороги Р-177 «Поветлужье» находится в населенном пункте Арда, относится ко II технической категории и имеет протяжённость 1,015 км (Рис. 1).



Fig. 1. - Section of the road R-177 « Povetluzhe » in the village of Arda

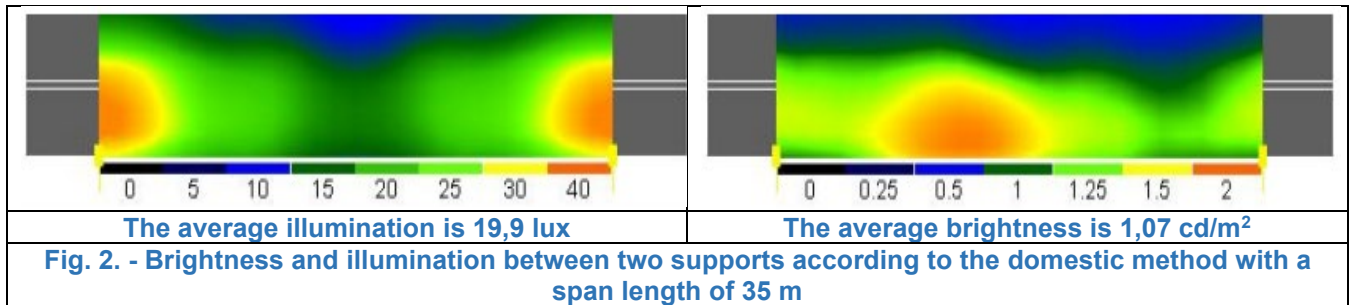
Покрытие проезжей части выполнено из асфальтобетона на щебёночном основании., ширина одной полосы движения составляет 3,5 м, ширина обочины – 2,5 м. Стационарное электрическое освещение необходимо на участке км 274+500 — км 275+515. Схема расположения светильников принята односторонняя с шагом опор 35,0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

Table 1. Initial data

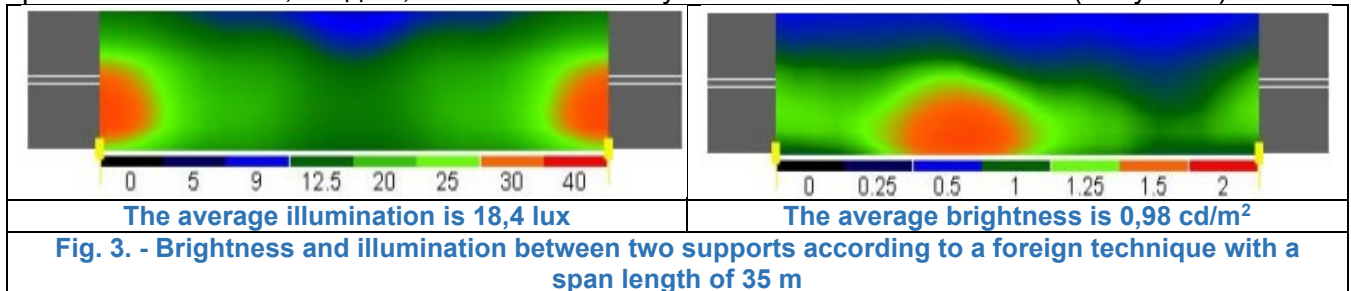
Протяженность участка освещения	Высота установки светильника	Марка светильника	Световой поток	Расстояние между опорами	Наклон консоли светильника
1015 м	12 м	GALAD Стандарт	17,6 кلم	35 м	15°

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

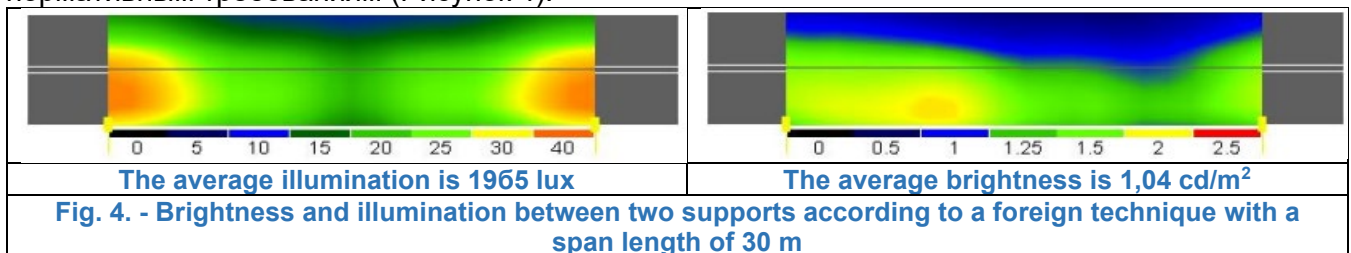
По результатам расчета по отечественной методике (Рисунок 2) средняя освещенность составила 19,9 лк, средняя яркость - 1,07 кд/м², что больше минимальных значений.



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



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



Все результаты расчета сведены в общую ведомость и представлены в Таблице 2.

Table 1. Summary statement of design parameters according to domestic and foreign methods

Проезжая часть	По отечественным данным	По зарубежным данным		Нормативные показатели (по ГОСТ Р 58107.1-2018)
	длина пролета 35 м	длина пролета 35 м	длина пролета 30 м	
Средняя яркость $L_{ср}$, кд/м ²	1,07	0,98	1,04	≥ 1
Средняя освещенность $E_{ср}$, лк	19,9	18,4	19,5	≥ 10
Коэффициент общей равномерности, $L_{мин}/L_{ср}$	0,43	0,43	0,43	≥ 0,4
Коэффициент продольной равномерности, $L_{мин}/L_{макс}$	0,62	0,60	0,62	≥ 0,6
Коэффициент равномерности, $E_{мин}/E_{ср}$	0,48	0,48	0,53	≥ 0,25



Таким образом, по результатам расчетов при шаге между опорами освещения 35 м по отечественной методике средняя яркость составила 1,07 кд/м², по зарубежной методике - 0,98 кд/м², что меньше нормы. Поэтому для дальнейших расчетов по зарубежной методике принимался шаг между светильниками 30 м.

4 Заключение / Conclusions

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. На основе расчетов было выявлено, что на рассматриваемом участке автомобильной дороги по отечественной методике расчета достаточно 30 опор освещения с шагом опор 35,0 м, а по зарубежной – 35 опор с шагом 30 м.

References

1. Vostrikov, Alexander and Podolsky, Vladislav. (2021). The evolution of methods and technologies used for lighting highways. *International Journal of Advanced Studies*. **10**. 152. 10.12731/2227-930X-2020-4-152-161.
2. R.V. Nikolaeva, R.R. Khaliullina (2020). Automated lighting control systems on highways (on the example of the Kazan-Orenburg federal highway). *Technique and technology of transport*. **3(18)**. P. 11. <https://transport-kgasu.ru/files/N18-11ITS320.pdf>.
3. Lyalkina G.B. (2015). The history of artificial lighting / G.B. Lyalkina // *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Security and risk management*. **2**. P. 183-194. https://elibrary.ru/download/elibrary_23746563_35411050.pdf.
4. Gibbons, Ronald and Bhagavathula, Rajaram and Lutkevich, Paul and McLean, Don. (2020). Solid-State Roadway Lighting Design Guide, Volume 1: Guidance. 10.17226/25678.
5. The influence of street lighting on city safety / L.M. Vedeneeva, V.V. Noskov, A.P. Popov. (2016). *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Security and risk management*. **5**. P. 150-161. https://elibrary.ru/download/elibrary_27496250_19537179.pdf.
6. Loginova O.A., Petropavlovskikh O.K., Nikolaeva R.V., Valeeva G.R. (2018). The study of the climatic features of the Republic of Tatarstan for road-climatic zoning. *Izvestiya KGASU*. **4(46)** P.344-350. https://izvestiya.kgasu.ru/files/4_2018/338_344_Loginova_Petropavlovskikh.pdf.
7. Nikolaeva R.V., Loginova O.A. (2015). Optimization of traffic conditions in the design of roads, taking into account the driver's psychophysiology. *Izvestiya KGASU*. **4(34)** P.357-361. https://izvestiya.kgasu.ru/files/4_2015/357_362_Nikolaeva_Loginova.pdf.
8. Levkovich T.I., Levkovich F.N., Mevlidinov Z.A., Korneev A.A. (2018). Factors influencing illumination roads. *Russian journal of transport engineering*, [online] **1(5)**. Available at: <https://t-s.today/PDF/03SATS118.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/03SATS118.
9. L.M. Vedeneeva, V.V. Noskov, A.P. Popov. (2016). The influence of street lighting on city safety. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Security and risk management*. **5**. P. 150-161. https://elibrary.ru/download/elibrary_27496250_64947793.pdf.
10. I.E. Vaitsekhovskiy, A.V. Chudakov, (2023). Analysis of the development of the lighting system of highways and streets in Russia, based on statistics of road traffic accident. *Reflection*. **6**. P. 16-20. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_59504212_58062112.pdf.
11. Obeidat, Mohammed and Khrais, Samir and Bataineh, Bayan and Rababa, Majd. (2020). Impacts of roadway lighting on traffic crashes and safety in Jordan. *International Journal of Crashworthiness*. **27**. 10.1080/13588265.2020.1826788.
12. Sababhi, Safa and Aldala'in, Shatha and Taani, Aymen and Al Rawashdeh, Shatha and Barari, Thahab and Aladwan, Zubeida and Manan, Teh. (2024). Safety on Jordan's highways: A GIS-Based approach to identifying road accident hotspots. *GeoJournal*. **89**. 10.1007/s10708-024-11115-5.
13. Yang, Runan and Wang, Zhenyu and Lin, Pei-Sung and Li, Xiaopeng and Chen, Yu and Hsu, Peter and Henry, Alex. (2019). Safety effects of street lighting on roadway segments: Development of a



- crash modification function. *Traffic Injury Prevention*. **20**. 1-7. DOI: 10.1080/15389588.2019.1573317.
14. McCombs, John and Al-Deek, Haitham and Sandt, Adrian and Uddin, Nizam and Carrick, Grady. (2024). 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*. 10.1177/03611981241234914.
 15. Hossain, Ahmed and Sun, Xiaoduan and Islam, Shahrin and Alam, Shah and Hossain, Md Mahmud. (2023). Identifying roadway departure crash patterns on rural two-lane highways under different lighting conditions: Association knowledge using data mining approach. *Journal of Safety Research*. **85**. 10.1016/j.jsr.2023.01.006.
 16. Hennessy, Emily and Ai, Chengbo. (2021). A Spatial Comparison of Roadway Lighting and Nonmotorist Crashes in Cambridge, MA. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. **2675**. 10.1177/03611981211026660.
 17. Zhou, Huaguo and Hsu, Peter. (2009). Effects of Roadway Lighting Level on the Pedestrian Safety. 1-9. DOI:10.1061/41064(358)4.
 18. Tomczuk, Piotr and Jamroz, Kazimierz and Mackun, Tomasz and Chrzanowicz, Marcin. (2019). Lighting requirements for pedestrian crossings – positive contrast. *MATEC Web of Conferences*. **262**. 05015. 10.1051/mateconf/201926205015.
 19. Se, dziwy, A.; Kotulski, L. (2022). Statistical Analysis of the Crosswalk Lighting Design Correctness. *Appl. Sci*. **12**. 8951. <https://doi.org/10.3390/app12188951>.
 20. Scanlon, Sandra. (2022). Roadway Lighting and “Smart Poles”. 10.1007/978-3-030-92821-6_6. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-92821-6_6.
 21. Pihlajaniemi, Henrika and Luusua, Aale and Juntunen, Eveliina. (2023). Drivers' Experiences and Informed Opinions of Presence Sensitive Lighting Point towards the Feasibility of Introducing Adaptive Lighting in Roadway Contexts. *Smart Cities*. **6**. 1879-1900. 10.3390/smartcities6040087.
 22. Liu, Chun-Hsi and Hsiao, Chun-Yu and Gu, Jyh-Cherng and Liu, Kuan-Yi and Yan, Shu-Fen and Chiu, Chien and Ho, Min. (2021). HCL Control Strategy for an Adaptive Roadway Lighting Distribution. *Applied Sciences*. **11**. 9960. DOI: 10.3390/app11219960.
 23. Ranjan Robins. (2022). Smart Street Light on Highway with Energy Conservation and Accident Prevention. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. DOI Link: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.45326>
 24. Kolaitis, Angelos and Alexandridis, Georgios and Adam, Panagiota and Alexandridis, Petros and Chasanis, Grigoris and Breton, Fabrice. (2023). Adaptive Dimming of Highway Lights Using Recurrent Neural Networks. 10.1007/978-3-031-30855-0_8.
 25. Gidlund, Henrik and Lindgren, Mikael and Muzet, Valerie and Rossi, Giuseppe and Iacomussi, Paola. (2019). Road Surface Photometric Characterisation and Its Impact on Energy Savings. *Coatings*. **9**. 286. 10.3390/coatings9050286.
 26. Cuvalci, Olkan and Ertas, Bugra. (2000). Roadway Lighting Design Methodology And Evaluation. *Journal of Integrated Design and Process Science*. **4**. 1-23. https://www.researchgate.net/publication/234817879_Roadway_Lighting_Design_Methodology_And_Evaluation.
 27. Piontkевич, V.A. (2016). Development and research of models for performing lighting calculations of the inspection of highways in the Light-In-Night Road complex. *Bulletin of the IrSTU*. **10(117)**. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-issledovanie-modeli-dlya-vypolneniya-svetotekhnicheskogo-rascheta-osvescheniya-avtomobilnyh-dorog-v-komplekse-light-in>.
 28. Raikova L.S., Medvedev V.I. (2017). Systems for the design of highway lighting. *IndorSoft LLC*. **1(8)**. <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-dlya-proektirovaniya-osvescheniya-avtomobilnyh-dorog>.
 29. Thurairajah, Uthayan. (2022). A Comparative Study: The Benefits of a Novel Illuminance Calculation Method over Luminance Calculation Method for Optimal Roadway Lighting Design Applications. 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, Rajaram & Gibbons, Ronald & Lutkevich, Paul & McLean, Don. (2020). Solid-State Roadway Lighting Design Guide: Volume 2: Research Overview. 10.17226/25679.