

6. Makarov A.N. Calculation and Analysis of the Relationship Between the Efficiency and Position of Electric Arcs Furnaces (EAF) of Smaller and Larger Capacity. Part I. Calculation and Analysis of the Relationship Between Arc Efficiency and Power Consumption. *Metallurgist*. 2019. Vol. 63. No. 3–4, pp. 341–349. DOI: 10/1007/S 11015-019-00829-4

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

MAKAROV Anatoly Nikolaevich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Electrical Equipment, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Makarov A.N. Laws of thermal radiation of gas volumes and fundamental laws of physics // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 57–64.

УДК 621.3:628.971.6

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Т.Ш. Хавазов, А.В. Крупнов

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Хавазов Т.Ш., Крупнов А.В., 2022

Аннотация. В статье приведены и рассмотрены способы повышения энергоэффективности освещения транспортных дорог. Приведена ожидаемая оценка энергосбережения в результате перехода на светодиодные светильники, изучено применение индивидуального диммирования. Затронут вопрос влияния диммеров на качество электроэнергии.

Ключевые слова: диммирование, энергосбережение, энергоэффективность, освещение транспортных дорог, качество электроэнергии, светодиодные светильники.

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-64-72

ВВЕДЕНИЕ

Уличное освещение важно для любого города и страны в целом. Благодаря нему службы продолжают функционировать с наступлением темноты.

Системы уличного освещения зародились еще в XV веке и прошли немалый путь развития – от примитивных масляных ламп до автоматизированных систем с возможностью дистанционного управления. Качественное и правильно выполненное утилитарное освещение способствует сокращению числа аварийных ситуаций на автомагистралях, поскольку порядка 30–40 % всех дорожно-транспортных происшествий приходится именно на темное время суток, несмотря на снижение транспортной нагрузки автодорог [1, 2].

Единичная мощность осветительного оборудования невелика, но их общая потребляемая мощность может достигать 40 % от всей потребляемой мощности города [3]. Это значит, что для повышения энергоэффективности схемы электроснабжения городов особое внимание следует уделять наружному освещению.

Энергоэффективной считается такая система освещения, энергопотребление которой имеет минимальное значение при обеспечении заданных нормативно-технических показателей.

В настоящее время обеспечить энергоэффективность освещения дорог общего пользования можно:

- применением светодиодных светильников,
- улучшением конфигурации сети освещения,
- оптимизированием управления освещением.

ПЕРЕХОД НА СВЕТОДИОДНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ

Самый высокий класс дороги – А1 – это магистральные дороги и улицы общегородского значения за пределами центра города, 6–8 полос в обоих направлениях. Для полноценного освещения таких дорог используются светильники с натриевыми газоразрядными лампами ДНаТ мощностью 400 Вт и световым потоком 28 000 лм [4]. При переходе на светодиодные светильники последние должны сохранить световой поток на том же уровне.

Сопоставимые по световому потоку светодиодные светильники имеют мощность от 200 до 300 Вт [4, 5], что на 25–50 % меньше мощности светильника с лампой ДНаТ. Это уже обеспечивает экономию электроэнергии на указанный процент. Важно отметить, что приведена мощность светильника без учета потерь в электронной или электромагнитной пускорегулирующей аппаратуре (ЭПРА) светильника с ДНаТ и драйвере светодиодного светильника, так как они примерно соизмеримы. Потребляемая мощность ЭПРА или драйвера добавляет к потребляемой мощности лампы 7–10 % [6–8].

Коэффициент мощности ЭПРА и драйвера при полной нагрузке составляет 0,97–0,98 и снижается до 0,93–0,94 при нагрузке до 50 %, что показывает незначительную реактивную составляющую мощности в нагрузке светильника. Например, при мощности 220 Вт полная мощность светильника составит 225 ВА (реактивная составляющая мощности 45 вар), т.е. потребляемый ток составит 1,02 А в противовес току, рассчитанному по показателю активной мощности 1 А. На основе равенства коэффициентов мощности сопоставим светильники по активной мощности.

При углубленном сопоставлении важным аспектом будет наличие диммирования. Светодиодные светильники легко поддаются последнему в отличие от светильников с газоразрядными лампами, которые требуют специальную ЭПРА [9]. Наличие диммирования светильников с ДНаТ существенно повышает их стоимость.

В источнике [10] представлено упрощенное технико-экономическое сопоставление светильников без учета диммирования. Из него видно, что при проектировании наиболее оправдано применение светодиодных светильников, несмотря на их большую стоимость по сравнению с ДНаТ.

Замена при реконструкции светильников ламп ДНаТ на лампы светодиодные требует отдельного рассмотрения. При перегорании лампы ДНаТ эксплуатирующая организация заменяет только ее, при перегорании светодиодов необходим демонтаж светильника и его ремонт или замена целиком. Срок службы лампы ДНаТ составляет

15 000–20 000 ч, светодиодного светильника – 60 000–80 000 ч, т.е. за период работы последнего будут затраты на замену 3–4 ламп ДНаТ. Отсюда следует, что для обеспечения восстановления работы светильника будут производиться затраты на замену лампы или демонтаж/монтаж светильника. В запасе на складе всегда надо иметь лампы ДНаТ или светодиодный светильник. Данный фактор увеличит полученный срок окупаемости [10]. В определенных случаях энергосберегающим решением будет установка в светильники ЭПРА с возможностью диммирования, которая может обеспечить снижение суммарного энергопотребления до 42 % [9].

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ОСВЕЩЕНИЯ

Система управления наружным освещением – систематизированный набор средств воздействия на подконтрольный объект для достижения определенных целей данным объектом [11]. Они подразделяются на системы с участием человека (автоматизированные) и системы без участия человека (автоматические). Современные системы включают оба принципа управления, где все работает в автоматическом режиме, а оператор следит, проверяет исправное функционирование системы, задает сценарии ее функционирования и следит за эффективным использованием электроэнергии.

Системы автоматического управления:

управляют освещением в соответствии с заданным графиком;

осуществляют мониторинг осветительной сети: выводят оператору информацию о работе светильников, их включении и выключении; выводят показания токов, напряжений и мощностей для предупреждения аварий от каждой группы светильников.

Развитие техники и технологий дало новые дополнения для системы освещения:

датчики освещенности позволяют корректировать время включения, заданное графиком;

датчики интенсивности движения и скорости движения могут корректировать освещенность, снижать освещенность в часы малой загрузки дороги [12, 13];

метеорологические датчики позволяют точнее определять сроки ввода и отмены ограничений движения тяжеловесного транспорта [12, 13];

индивидуальное управление светильниками в группе (адресное управление) дает возможность регулировать разные светильники в одной системе [14, 15].

Для повышения энергоэффективности освещения дорог, особенно класса А1, где недопустимо выключение части светильников, единственным способом является диммирование. Перечисленные датчики и система адресного управления значительно снижают расход электроэнергии на освещение за счет диммирования.

Для осуществления адресного диммирования светильники снабжаются ЭПРА и драйверами с интерфейсами управления 0-10В, ШИМ 10В (PWM 10V) или DALI. Для управления применяют стандарт беспроводной связи GSM, проводной по силовой линии PLC [14–16].

ДИММИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Процесс управления яркостью свечения лампы или осветительной установки называют диммированием, а само устройство управления – диммером.

Простейший диммер представляет собой переменный резистор (реостат). Недостатки реостатного диммера – низкий КПД и его существенный нагрев. Более сложным является автотрансформаторный диммер. Его недостатки – стоимость, габариты,

вес и наличие электромеханических элементов в системе управления. Современным и технологичным является диммер на основе полупроводниковых элементов, симисторов или транзисторов. Первые два устройства на выходе имеют неискаженный синусоидальный сигнал, а вот полупроводниковый (электронный) диммер выдает несинусоидальный сигнал, сформированный отсечением частей синусоиды. На рис. 1 приведен пример маломощного диммера на симисторе.

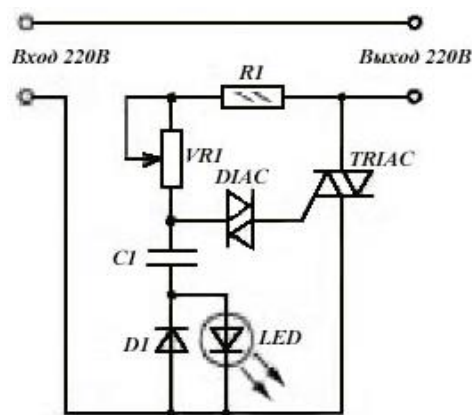


Рис. 1. Схема маломощного диммера бытового назначения

Электронные диммеры могут являться источниками электромагнитных помех [17], поэтому требуется введение в схему дросселей или LC-фильтров со стороны питания и со стороны нагрузки. На рис. 2 представлен пример изменения синусоиды в результате работы диммера.

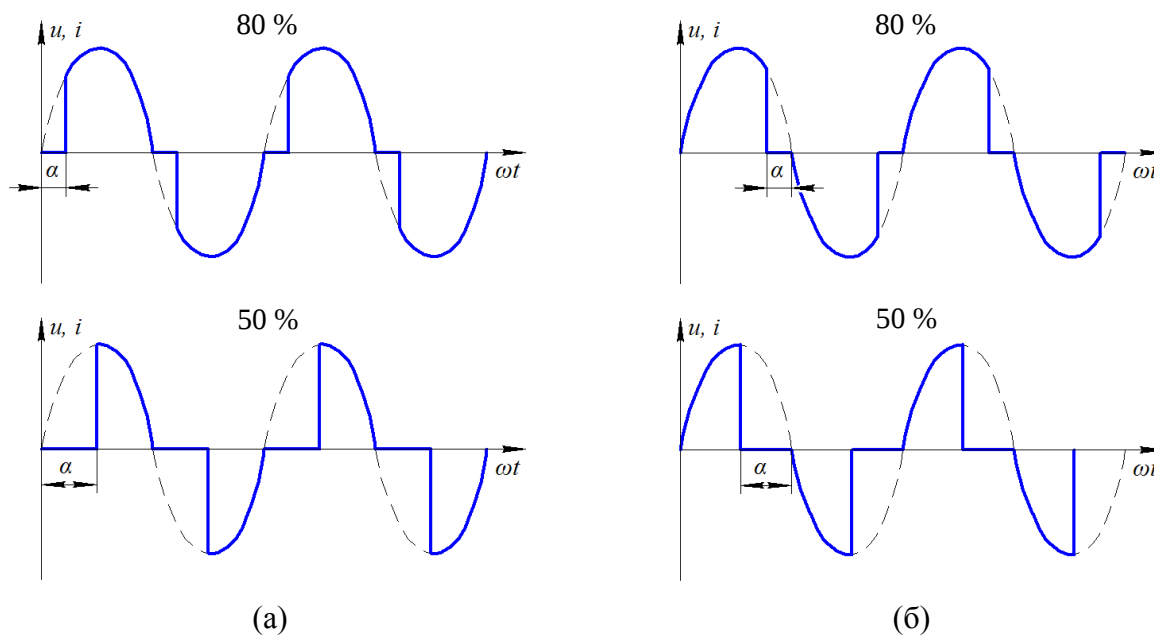


Рис. 2. Пример работы диммера с пропуском 80 и 50 % мощности
(α – угол отпирания или запираания симистора):
отсечка по переднему фронту (а); заднему фронту (б)

Электронные диммеры делятся по выходной характеристике сигнала на диммеры с отсечкой по переднему фронту (leading edge) (см. рис. 2а) и диммеры с отсечкой по заднему фронту (falling edge) (см. рис. 2б). В первом случае на нагрузку подается остаток полуволны при срезанном начале, что приводит к наведению помех в электрической сети. Во втором случае создается меньше помех. Для светодиодных светильников больше подходит второй вариант, и управление осуществляется по току, а не по напряжению для плавного и эффективного диммирования.

Производители драйверов и ЭПРА не скрывают, что устройства являются источниками высших гармонических составляющих тока и напряжения, т.е. создают несинусоидальные помехи в питающей сети [6–8]. На рис. 3 представлена характеристика изменения THD – коэффициента нелинейных искажений, что в первом приближении соответствует коэффициенту гармонических составляющих.

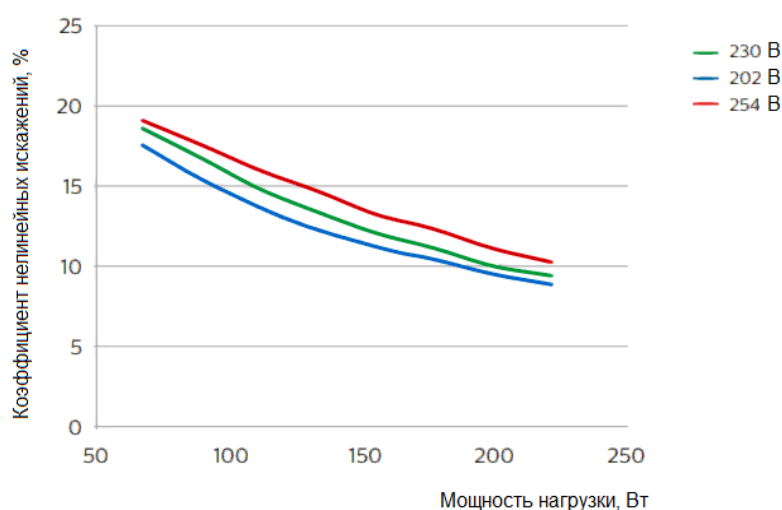


Рис. 3. Изменение нелинейных искажений, вносимых в питающую сеть, драйвером для светодиодного светильника [6]

Для комплексного понимания влияния диммирования на энергосбережение приведем характеристики КПД (рис. 4) и коэффициента мощности (рис. 5).

Несмотря на создание несинусоидальных искажений в питающей сети, диммирование позволяет экономить электроэнергию, снижая мощность светильника и, соответственно, световой поток и освещенность. Снижать световой поток можно в моменты малой интенсивности движения в ночные часы, а в вечернее время можно использовать необходимую мощность для создания комфортного и безопасного освещения.

Применение диммирования для светильников с лампами ДНаТ способно дать экономию электроэнергии до 42 % [9], для светодиодных светильников – до 70 % [14]. У последних заявленный показатель получается за счет применения автотрансформаторного диммирования (25–30 %) при снижении напряжения в питающей сети светильников, а также адресного диммирования (40–45 %).

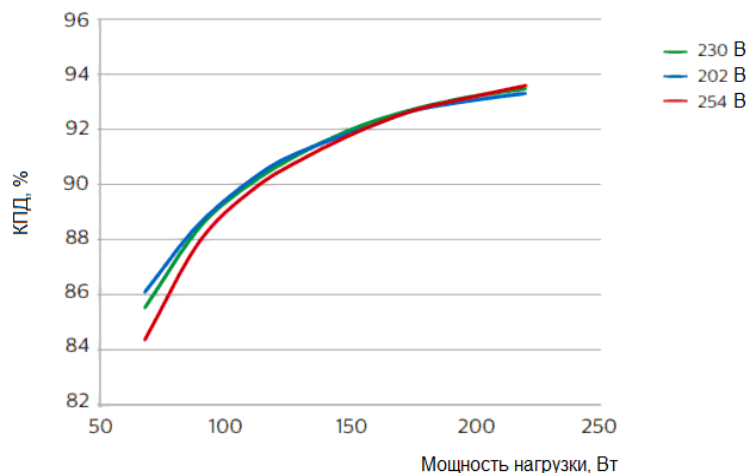


Рис. 4. Изменение КПД драйвера для светодиодного светильника [6]

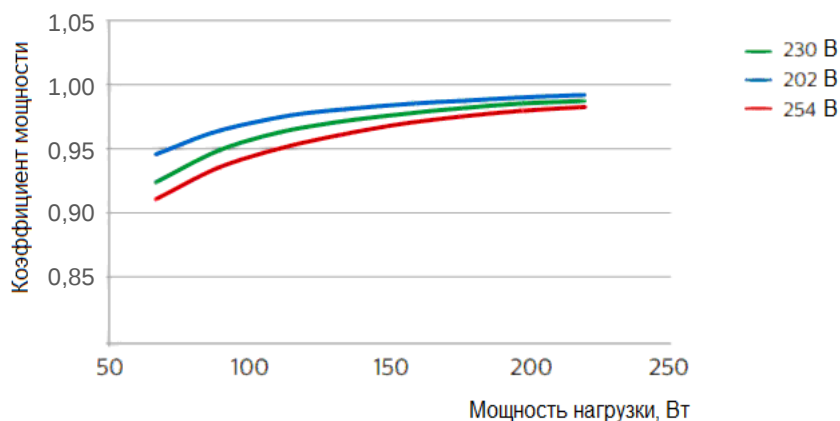


Рис. 5. Изменение коэффициента мощности драйвера для светодиодного светильника [6]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освещение дорог общего пользования и автомагистралей является неотъемлемой частью успешного экономического функционирования и развития городов и страны в целом. В темное время суток освещение обеспечивает безопасность участникам дорожного движения и снижает аварийность.

Потребляемая мощность освещения достигает 40 % от потребляемой мощности города. Таким образом, вопрос повышения энергоэффективности наружного освещения в настоящее время актуален.

Снижение расхода электроэнергии на освещение достигается несколькими путями при соблюдении требований нормативных документов:

1. Применение светодиодных светильников обеспечивает экономию до 25–50 % электроэнергии, если сравнивать со светильниками на газоразрядных лампах.

2. Модернизация системы управления освещением – переход от группового регулирования к адресному, внедрение датчиков освещенности, датчиков интенсивности потока и скорости движения, метеорологических датчиков – может дать экономию при диммировании светильников с газоразрядными лампами ДНаТ до 42 %, а со светодиодами – до 45 % от установленной мощности.

Выбор пути сокращения расхода электроэнергии в каждом конкретном случае должен быть экономически обоснован и осуществляться с учетом перспективы и окупаемости проекта.

Важно отметить, что электронная пускорегулирующая аппаратура газоразрядных ламп и драйверы светодиодных светильников с диммированием освещения являются источниками электромагнитных помех, т.е. источником нелинейных искажений в питающей сети. Нелинейные искажения связаны с генерацией высших гармоник тока и напряжения, которые негативно влияют на питающую сеть, ускоряют старение изоляции проводов и увеличивают потери мощности. Для получения конкретных цифр необходимы дополнительные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалова Т.В., Афанасьев О.В. Влияние освещенности и яркости проезжей части на безопасность дорожного движения в городах в темное время суток // *Журнал ПНИПУ. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2013. № 2. С. 61–71.
2. Недосекина В.В., Айыдов Д.Н. Анализ влияния уличного освещения на ДТП // *Символ науки*. 2018. № 7. С. 38–41.
3. Семенова Н.Г., Валиуллин К.Р. Интеллектуальная система энергоэффективного управления уличным освещением на основе нейросетевых технологий // *Вестник ОГУ. Информатика, вычислительная техника и управление*. 2015. № 4 (179). С. 183–188.
4. Васильев А. Светодиодные светильники на дорогах класса А1 и скоростных автомагистралях. URL: <https://www.elec.ru/publications/osveschenie/1595/> (дата обращения: 20.05.2022).
5. Уличный светодиодный светильник // *Lightcomplect*. URL: https://lightcomplect.ru/catalog/ulichnye_svetilniki_standard/ulichnyy_svetodiodnyy_svetilnik_lc_universal_200vt_lira_28_000lm_5000k_ip65_120_kh_120_150_kh_55/ (дата обращения: 20.05.2022).
6. Philips Xantium LED driver datasheet // *Philips*. URL: https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium/Datasheet-Xi-LP-220W-0.3-1.05A_S1_230V_I230_929001424480.pdf (дата обращения: 20.05.2022).
7. Constant current mode LED driver ELG-240-C series // *MEAN WELL*. URL: <https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=ELG-240-C> (дата обращения: 20.05.2022).
8. ЭПРА для наружного освещения // *Philips*. URL: <https://www.lighting.philips.ru/prof/lighting-electronics/hid2/hid-electronic-outdoor> (дата обращения: 20.05.2022).
9. Васильев А. Диммирование «непокорных» ламп // *ALB*. URL: <https://www.alb.ru/articles/dimmirovanie-nepokornykh-lamp/> (дата обращения: 20.05.2022).
10. Сравнение энергоэффективных решений для освещения // *ЭСКО СВЕТ*. URL: <http://esnl.ru/svetonomika/stati/sravnenie-energoeffektivnykh-resheniy-dlya-osveshcheniya-avtomagistraley.php> (дата обращения: 20.05.2022).
11. Системы автоматического управления наружным освещением // *Энергосовет*. URL: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=108> (дата обращения: 20.05.2022).
12. Системы дорожного мониторинга // *Минимакс-94*. URL: <https://mm94.ru/catalog/sistemy-dorozhnogo-monitoringa/> (дата обращения: 20.05.2022).
13. Кулон. Автоматизированная система управления наружным освещением. URL: <https://kulon.su/upload/iblock/905/p4pxkp232j3nv6to22njs0b5duoji5xb/КаталогАСУНОКУЛОН.pdf> (дата обращения: 20.05.2022).
14. Светодиодный светильник, или Свет на дорогах должен быть «умным» // *ИСУП*. 2016. № 5 (65). URL: <https://isup.ru/articles/6/9870/> (дата обращения: 20.05.2022).

15. Интеллектуальные системы освещения в городском пространстве. Использование систем Wi-Fi // *Galad. Международная светотехническая корпорация*. URL: <https://galad.ru/helpful/articles/1426956/> (дата обращения: 20.05.2022).
16. Индивидуальное управление освещением на дороге // *Кулон*. URL: <https://kulon.ru/solutions/individual-control-of-lighting-on-the-highway/> (дата обращения: 20.05.2022).
17. Димминг – способ эффективного энергосбережения или источник реальных проблем? // *Время электроники*. URL: <https://russianelectronics.ru/dimming-sposob-effektivnogo-energosberezheniya-ili-istochnik-realnyh-problem/> (дата обращения: 20.05.2022).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ХАВАЗОВ Тахир Шабарович – магистрант, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: 89607182380@mail.ru

КРУПНОВ Андрей Владимирович – старший преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: AV.Krupnov@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Хавазов Т.Ш., Крупнов А.В. Повышение энергоэффективности в системе освещения автомобильных дорог // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 64–72.

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN THE HIGHWAY LIGHTING SYSTEM

T.Sh. Khavazov, A.V. Krupnov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. This article presents and discusses ways to improve the energy efficiency of lighting transport roads. The expected assessment of energy saving as a result of the transition to LED lamps, the use of individual dimming is given. The question of the effect of dimmers on the quality of electricity is touched upon.

Keywords: dimming, energy saving, energy efficiency, lighting of transport roads, electricity quality, LED lamps.

REFERENCES

1. Konovalova T.V., Afanasyev O.V. The influence of illumination and brightness of the carriageway on road safety in cities at night. *Zhurnal PNIPU. Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2013. No. 2, pp. 61–71. (In Russian).
2. Nedosekina V.V., Ayydov D.N. Analysis of the influence of street lighting on road accidents. *Simvol nauki*. 2018. No. 7, pp. 38–41. (In Russian).
3. Semenova N.G., Valiullin K.R. Intelligent system of energy-efficient control of street lighting based on neural network technologies. *Vestnik OGU. Informatika, vychislitel'naya tekhnika i upravlenie*. 2015. No. 4 (179), pp. 183–188. (In Russian).
4. Vasiliev A. LED lamps on A1 class roads and expressways. URL: <https://www.elec.ru/publications/osveschenie/1595/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).

5. Street LED lamp [Electronic resource]. *Lightcomplect*. URL: https://lightcomplect.ru/catalog/ulichnye_svetilniki_standard/ulichnyy_svetodiodnyy_svetilnik_lc_universal_200vt_lir_a_28_000lm_5000k_ip65_120_kh_120_150_kh_55_/ (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
6. Philips Xantium LED driver dataset. *Philips*. URL: https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium/Datasheet-Xi-LP-220W-0.3-1.05A_S1_230V_I230_929001424480.pdf (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
7. Constant current mode LED driver ELG-240-C series. *MEAN WELL*. URL: <https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=ELG-240-C> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
8. EPRA for outdoor lighting. *Philips*. URL: <https://www.lighting.philips.ru/prof/lighting-electronics/hid2/hid-electronic-outdoor> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
9. Vasiliev A. Dimming of «recalcitrant» lamps. *ALB*. URL: <https://www.alb.ru/articles/dimmirovanie-nepokornykh-lamp/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
10. Comparison of energy-efficient solutions for lighting. *ESCO LIGHT*. URL: <http://esnl.ru/svetonomika/stati/sravnenie-energoeffektivnykh-resheniy-dlya-osveshcheniya-avtomagistralej.php> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
11. Automatic control systems for outdoor lighting. *Energosovet*. URL: <http://www.energosovet.ru/entech.php?idd=108> (date of access: 20.05.2022).
12. Road monitoring systems. *Minimax-94*. URL: <https://mm94.ru/catalog/sistemy-dorozhnogo-monitoringa/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
13. The pendant. Automated outdoor lighting control system. URL: <https://kulon.su/upload/iblock/905/p4pxkp232j3nv6to22njs0b5duoji5xb/CatalogASUNOPENDANT.pdf> (date of access: 20.05.2022) (In Russian).
14. LED lamp or light on the roads should be «smart». *ISUP*. 2016. No. 5 (65). URL: <https://isup.ru/articles/6/9870/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
15. Intelligent lighting systems in urban space. The use of Wi-Fi systems. *Galad. International Lighting Corporation*. URL: <https://galad.ru/helpful/articles/1426956/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
16. Individual lighting control on the road. *Pendant*. URL: <https://kulon.su/solutions/individual-control-of-lighting-on-the-highway/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
17. Is dimming a way to effectively save energy or a source of real problems? *Time of electronics*. URL: <https://russianelectronics.ru/dimming-sposob-effektivnogo-energoberezheniya-ili-istochnik-realnyh-problem/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

KHVAZOV Tahir Shabarovich – Graduate Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: 89607182380@mail.ru

KRUPNOV Andrey Vladimirovich – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Equipment, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: AV.Krupnov@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Khavazov T.Sh., Krupnov A.V. Improving energy efficiency in the highway lighting system // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2022. No. 4 (16), pp. 64–72.