

OPPORTUNITIES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF STREET LIGHTING ⁸⁹

Assist. Prof. Nikolay Valov, PhD

Department of Automation and Mechatronics,
University of Ruse "Angel Kanchev"
phone: +359 82 888 266
e-mail: npvalov@uni-ruse.bg

Stoyan Nyagolov, PhD Student

Department of Automation and Mechatronics,
University of Ruse "Angel Kanchev"
phone: +359 896774889
e-mail: snyagolov@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Martin Deyanov, PhD

Department of Automation and Mechatronics,
University of Ruse "Angel Kanchev"
phone: +359 82 888 747
e-mail: mdejanov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Donka Ivanova, PhD

Department of Automation and Mechatronics,
University of Ruse "Angel Kanchev"
phone: +359 82 888 266
e-mail: divanova@uni-ruse.bg

Abstract: *The publication examines various possibilities for increasing the efficiency of urban lighting systems. In addition to the improvement of the energy indicators, options for optimizing the technical-economic and operational indicators have also been proposed. Efficiency is divided into two categories: capital and operating costs. Methods and means of increasing efficiency in both categories are proposed. While capital costs have a one-time nature, operating costs can develop over time. It is the application of an information management system allowing remote hierarchical control that would improve the efficiency of lighting installations in the future.*

Keywords: *Street light, Energy combustion, Efficiency, Protection, Modelling.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В съответствие със стандарта EN 13201-1 понятието „осветление на пътища“ се отнася до стационарни осветителни уредби, предназначени да осигуряват добра видимост за потребителите на обществените зони за движение през тъмните часове на денонощието, с цел поддържане на безопасността на движение, потока на движение и обществената безопасност. В същото време, общественото улично осветление е значително перо в разходите на общините. Тези разходи могат да бъдат квалифицирани по различни критерии, но най-общо се делят на капиталови разходи свързани с изграждането на кабелните трасета за храняване на осветителните тела, монтаж на самите осветители, избор на осветители - тип, мощност, светлинен поток, управление и т.н. Другият тип разходи са свързани с експлоатацията и поддръжката на изградената осветителна система – потребление на

⁸⁹ Докладът е представен на заседание на секция „Технически науки“ на 62-та международна научна конференция „Нови индустрии, дигитална икономика, общество – проекти на бъдещето – VI“, проведена във Филиал – Силистра на Русенски университет „А. Кънчев“, на 27 октомври 2023 с оригинално заглавие на български език: ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ.

енергия, обслужващ персонал, ремонтни дейности и т.н. Докато капиталовите разходи са еднократни (на определен период 15÷20 години), то експлоатационните разходи са с текущ характер. За правилната оценка на разходите трябва да се добави и времето през което ще се изпълняват, като фактор, определящ тяхната значимост. На всеки етап от проектирането, изпълнението и поддръжката на осветителната инсталация могат да се правят анализи за обема на разходите и да се търсят решения, които да ги оптимизират. Разходите са основен двигател при търсенето на решения за подобряване на ефективността на всякакви системи. Допълнителните изисквания, посочени от Европейската комисия, за реализирането на „зелени“ (екологични) обществени поръчки в сферата на пътната сигнализация и осветлението на пътищата, се разделят в три основни области: енергийно потребление, светлинно замърсяване и експлоатационен срок (SWD 2018 – 494). Те съвпадат с основната цел при модернизацията на осветителите, а именно намаление на разходите и повишаване на жизнения цикъл, но е желателно да се търсят и допълнителни положителни ефекти. Преобразуване на кабелната градска инфраструктура в безжична е възможно решение, т.к. инсталирането и поддържането на стационарни линии е изключително скъпо. При това се намаляват разходите за получаване на данни, а стабилността и пропускателната способност на безжичните комуникации непрекъснато нарастват.

При повечето кабелни решения обслужващият персонал трябва физически да отиде до мястото за инсталиране, за да извърши одит или поддръжка на комуникационната инфраструктура. За разлика от тях, безжичните комуникации позволяват дистанционно събиране на информация, наблюдение и управление чрез внедряването на IoT. Това дава възможност в зависимост от нивото на достъп да се извършват актуализации на базовото програмно осигуряване, обновяване на защитната система, групиране на устройства в секции и т.н. Тези пренастройки са възможни както в процеса на внедряване така и при експлоатацията. Същото се отнася и за получаването на автоматизирани известия в случай на проблеми.

Намаляването на използваните ресурси по време на експлоатация, също е фактор, който се реализира при интелигентното улично осветление и средствата за мониторинг. IoT приложенията позволяват да се инсталират сензори за събиране на данни и безжични модули за управление използването на ресурсите, което ще доведе до драстично намаляване на консумацията на енергия.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Ограничаване на капиталови разходи

Оптимизация на топологията на кабелните трасета

Уличните осветителни уредби са отворена мрежа на ниско напрежение. Използва се радиална или смесена схема на захранване на разпределителното табло за обекти от улично или парково осветление. Консуматорите се присъединяват към фазно напрежение и трябва да са равномерно разпределени по дължината на линията. Осветителните тела се свързват, като в линията се редуват по фази L1-L2-L3-L1-L2-L3... или L1-L2-L3-L3-L2-L1... При непълнофазни отклонения захранването е от фазов и нулев проводник, като се редуват фазите и консуматорите, така че да се получи симетрично натоварване по фази. В по-малките населени места се срещат и варианти на трифазна магистрала и едно или двуфазни отклонения.

Оптимизирането на електроснабдяването на външни осветители уредби може да се ограничи до решаването на 2 задачи, а именно (Panchev, H.I., 2022):

- Оптимално разпределение на осветителите, разположени в инфраструктурната даденост, по уличните касети, т.е. по захранващи източници;
- Определяне на оптимален брой касети (захранващи източници), които да осигурят надеждно електроснабдяване на множеството осветители, разглеждани в разработвания проект.

За решаването на тези задачи може да се използва Теорията на графите. Основа за реализиране на захранващ привод към коя да е друга точка със светлинен източник е да се намаляват потенциалите/загубите в най-отдалечените от местоположението на касетата осветители, които трябва да клонят към нула. Разбира се необходимо е точките на осветителите и захранващите касети да са разположени върху реалната повърхност на терена с отчитане на надморската височина, разположение на сгради и естеството на терена (река, вода, скали и т.н.) за да се осъществи реализуема оптимизация на връзките. Намаляването на дължината на проводниците пряко ще повлияе на инвестиционните разходи, но също така ще ограничи и загубите на напрежение при експлоатация на осветителната уредба (ОУ). Отклонението на напрежението в различни точки на осветителните мрежи е един съществен показател на стандарта EN 50160. Предизвиканата загуба на напрежение в силовите кабели, е необходимо да се разглежда в пряка връзка със загубите на активна мощност в захранващите магистрални линии на ОУ. Прието е, че загубите на активна мощност в мрежите ниско напрежение (НН) са пропорционални на регистрираните загуби на напрежение.

Подбор на осветителни тела

Препоръчително е да се използват нови светодиодни (LED) осветители, а предназначенията за осветяване на улици със светотехническа категория по-ниска от M5 да бъдат димируеми, така че в часовете от 23:00 до 5:00, да могат да светят с намален светлинен поток и да постигат светлинна категория с една степен по-ниска от категоризацията на съответната улица. В малки населени места улиците около кметството са светотехнически клас S4, характерен за бавно движещи се превозни средства, велосипедисти и пешеходци. Периферните улици на селата са в класове S5 и S6. В тази категория на събирателни и обслужващи улици няма зададен праг на осветеност ($L_{av} > 0,3 \text{ cd/m}^2$), а само $E_m > 2 \text{ lx}$. За всички улици в малките населени места е определен среден яркостен фактор $q_0 = 0,07 \frac{\text{cd/m}^2}{\text{lx}}$, което позволява димиране и в събирателните улици. В част от драйверите на осветителите е заложено димирането да се осъществява по предварително зададен график и да не зависи от системата за управление. Това се е използвало за намаляване на инвестиционните разходи за система за управление, но не е препоръчително използването му към настоящия момент.

Противоречиви са факторите мощност на осветителя, светлинен поток, количество използвани светодиоди и др. при избора на осветително тяло. Предполага се, че по-голямо количество светодиоди ще консумира и повече енергия и съответно по-силен светлинен поток, но не е най-оптималното решение. При своята работа светодиодите отделят значително количество топлина. Тази топлинна енергия оказва неблагоприятно влияние на светодиодите, като им намалява срока на експлоатация и интензитета на светлината. В тази връзка производителите изграждат светодиодните матрици в осветителните тела на по-голяма площ, с повече светодиоди, работещи на понижена от максималната мощност и си запазват емитиращата способност за по-дълго време.

Трябва да се обърне по-сериозно внимание на цвета на светлината на използвания светлинен източник. Преминването от нормиране по фотопична яркост към нормиране по мезопична яркост позволява и при по-ниски нива на яркостта, кривата на спектралната чувствителност на зрението да се измести наляво (по-ниски стойности на дължината на вълната, nm), (Pachamanov, A., & Pavlov, D., 2012).

При съпътстващия технико-икономически анализ на резултатите от модернизацията трябва да се сравнят инвестиционните разходи с реализирана годишна икономия на средства за заплащане на електрическа енергия за осветление и разходите за експлоатация и поддръжка. Необходимо е срокът на откупуване на инвестицията да е по-малък от гаранционния на LED осветителите, което е важен елемент от „зелените“ инвестиции.

Изграждане на информационно-управляваща система

Съвременното улично осветление е немислимо без употребата на дистанционно/отдалечено управление на системата. Основните компоненти на системата за улично осветление са: електроснабдителната система, осветителните тела и системата за

динамично управление на осветителите (Vasilev, N., Pachamanov, A., Pachamanov, R., 2007). Като цяло електроснабдителната система не е получила съществено развитие в последните години, макар че се наблюдава тенденция към увеличаване на нейната автономност от електроснабдителните дружества, но осветителите и системите за тяхното управление са в непрекъснат процес на развитие и промяна. Основна роля на информационната система е да предоставя йерархични нива за контрол на работата на светлинните източници, намаляване на експлоатационните разходи чрез икономия на електроенергия с редуциране на мощността и времето на работа на светлинните източници. Допълнително съвременната елементна база и програмно осигуряване правят обменна на данни още по-лесен. Тези данни са свързани с йерархичните нива, управлението на осветлението, но все по-често се разширяват с допълнителни: интензитет на трафика, метеорологични условия, експлоатационно състояние на съоръженията и т.н., които участват във формирането на управляващи въздействия или сигнализации.

С енергийно-ефективни LED осветители и централизирана система за управление може да се постигне намаление на инсталираната мощност за осветление до 67,3% и възможност за гъвкаво управление и непрекъснат дистанционен контрол на консумацията на електрическа енергия за осветление (Yovchev, M., Tsankov, P., & Bardarski, N., 2016).

Ограничаване на експлоатационни разходи

Подмяна на източниците на светлинен поток

Процесът на замяната на осветителните тела за улично осветление през последните 20 години претърпя няколко етапа. В началото се заменяха живачни лампи с високо налягане (ЖЛВН) с натриеви лампи с високо налягане (НЛВН) и по-ниска консумация. Следващият етап е свързан с подмяната на НЛВН с компактни луминесцентни лампи (КЛЛ), които също отчитат значително намаление на консумираната енергия. В настоящия момент е замяната на луминесцентните лампи и останалите НЛВН със светодиодни лампи (LED лампи). Генерираният светлинен поток от LED лампите засега е с най-висок коефициент на ефективност спрямо останалите типове лампи по отношение на консумираната електроенергия. Освен това продължителността на експлоатация на LED лампите е най-голяма, достига до 50000 h, спрямо другите лампи използвани за външно улично осветление.

Неминуемо процесът на подмяна на осветителите с LED ще засегне всички сфери с употреба на изкуствено осветление. Нормативните изисквания към осветителните лампи са допълнителен фактор, който насърчава употребата на LED. Освен положителните характеристики за консумацията на енергия, употребата на LED лампи има и нови смущаващи последици. LED източниците генерират насочена светлина, като максималният ъгъл на разпръскване е 120° (Mihailov, N., & Todorov, D., 2012). Попадането на този светлинен поток директно в очите на гражданите не е желателно и води до частично заслепяване. Това налага използването на защитни дифузни повърхности над светодиодите. Електронните драйвери, хранящи светодиодните матрици, се явяват капацитивен товар за електропреносната мрежа и при своите честотно зависими комутации внасят хармонични смущения в мрежата.

С употребата на димируеми драйвери в осветителите, се решава и проблема с осветеността на уличните и тротоарните трасета. Чрез обследване на осветеността на трасетата се изгражда светотехническа карта и се търсят конфликтни участъци: с прекалено висока или ниска осветеност на терена. На тези места с пренастройка на димируемия драйвер се задава необходимата осветеност, така че да се гарантира комфорта на преминаващите и ограничаване консумацията на енергия. Този процес може да не е еднократен и да зависи от архитектурно-сградните характеристики на терена. Възможността за локални настройки на всеки осветител тук ще изиграе съществена роля.

Ограничаване на продължителността на работа на осветителите

Действащите осветителни уредби се управляват по времеви график, като той е предварително зададен и не е съобразен с действителните метеорологични условия на терена. Като допълнителни възможности е предвидена промяна на продължителността в зависимост от сезона или управление на включването/изключването от светлинен сензор. Управлението на уличното осветление се осъществява в касетите за улично осветление или в трафопостовите, като една част от касетите за улично осветление (КУО) се управляват от контролери с астрономически календар. Часовниците на тези контролери се програмират по астрономическото време на смрачаване и разсъмване. Останалата част от КУО се управляват посредством електронни фоторелета за управление на осветлението по ниво на осветеност.

Примерна продължителност на светене на уличните осветители е показана на Таблица 1. Периодът, през който е необходимо изкуствено осветление на обществените пространства, е определен въз основа на данните от Астрономическия календар за България. Вижда се, че среднодневната продължителност на работа на осветлението е 11,65 h, което приблизително е половината от денонощието.

Таблица 1. Времеви график на включване и изключване на осветлението

Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дни в месеца	31	28 / 29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Продължителност на светене, hh:mm	14:00	13:30	12:25	11:00	10:00	9:00	9:00	10:00	11:00	12:25	13:30	14:00
Месечно осветяване h	434	378 / 391,5	384,92	330	310	270	279	310	330	384,92	405	434
Общо годишно, h	4249,82/ 4263,32											

Намаляването на продължителността на светене ще намали разхода на енергия и съответно ежемесечните разходи. Периодите на здрачаване и разсъмване се отличават от астрономическия календар, като тяхната продължителност е около 30 min. Теоретично, продължителността на годишното светене на външното осветление може да се редуцира на 3926 h (от края на здрачаването до началото на разсъмването), което е 7,6%. Инсталирането на повече светлинни сензори ще даде подробна информация за естествената осветеност на терените и може да се реализира локализирано включване или изключване на секции от уличното осветление. Така ще се постигне ефекта да има достатъчно осветеност на нужните места, като се гарантира комфорта на преминаващите пътни превозни средства (ППС) и гражданите.

Вследствие намаляване на продължителността на работата на осветителите се очаква и намаляване на разходите за персонал и резервни части, както и от употребата на адекватна система за управление и мониторинг на осветителните тела.

Намаляване на времето за диагностициране на осветителите

Системата за контрол, наблюдение и управление на уличното и парково осветление и прецизиране на времеви график за включване и изключване на осветлението на териториите на общината, която да се интегрира към съществуващите системи за автоматизация и управление на външно изкуствено осветление трябва да притежава следните функционални възможности:

- дистанционно управление и контрол на уличните касети-табла за осветление;
- автоматичен режим на включване/изключване на осветление по предварително

зададен график;

- ръчен режим на включване и изключване от оператора по всяко време от денонощието;
- измерване и анализ на консумираната енергия на осветителите;
- изпращане на алармени сигнали при повишаване или намаляване на измерената електрическа енергия от предварително зададената за осветителите;
- изпращане на алармен сигнал при отваряне на таблото за управление;
- контрол на състоянието на захранващите линии на осветителната уредба и подаване на алармен сигнал при прекъсване на линията;
- изпращане на алармен сигнал при прекъсване на захранването на таблото за управление;
- информация за неработещи улични осветители, като се посочва на кой клон се намират тези осветители;
- архивиране на информация за състоянието на уличното осветление по райони;
- системата за управление следва да съдържа защитни механизми, които да предотвратяват претоварване и авария.

Системата е съставена от централизиран пункт за мониторинг и управление, който служи за наблюдение и контрол на осветлението на едно или повече населени места, чрез таблата за управление и локалните контролери в осветителите.

Себестойността на съвременните системи са значително по-ниски на фона на използваните в близкото минало, като имат изключително много нови функционалности, които лесно могат и да се разширяват чрез софтуерни приложения, както и да се задават различни роли на потребителите имащи достъп до тях.

С приложението на системата за управление и разпределение на ролите на участващите в поддръжката на уличното осветление се търси икономия на средства за издръжка на обслужващия персонал и времето за диагностициране и локализиране на проблеми по трасетата, а от там и на потребената енергия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уличното осветление е важен фактор за комфорта и спокойствието на жителите в населените места. Непрекъснатото застаряване на населението и липсата на работна ръка са неблагоприятни съпътстващи фактори за развитието на малките селища. Изграждането на „умни“ улични осветителни уредби може да подобри условията за живеене, намали текущите разходи за електроенергия и експлоатация на системата. Допълнително с изграждането на мрежова свързаност между отделните контролери в осветителните тела, може да се включват и други устройства, сензори, сигнализации и т.н., които да повишат информираността и сигурността в населените места.

Разгледаните аспекти за повишаване на ефикасността на осветителните инсталации излизат извън обсега на обичайните енергийни разходи, като се търси по-комплексен поглед върху икономически, социални, технологични и др. области на живота. В условията на един все по-голям информационен обмен, изграждането на мрежова свързаност в урбанизираните територии е от съществена необходимост. Предлагащото решение използва съществуващата инфраструктура на териториите и надгражда с нова функционалност - безжична мрежова свързаност. Наличието на диагностични функции в контролерите, ще съкрати значително времето за локализиране на повреда и бързото ѝ отстраняване, което ще доведе до намаляване на разходите за поддръжка на инсталацията. Използването на софтуер за оптимизиране на проектирането на кабелните трасета до осветителните тела ще намали разхода на средства при изграждане на захранващите магистрали, а впоследствие и разхода на електроенергия поради по-късите трасета и следователно по-малко загуби в тях.

БЛАГОДАРНОСТИ

Докладът отразява резултати от работата по проект 2023-ЕЕА-05 “Изследване на възможностите за енергоефективно управление на улични осветителни системи”, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.

REFERENCES

Mihailov, N., & Todorov, D., (2012) *Analysis of the possibilities for savings in street lighting*. Preceding University of Ruse, volume 51, book 3.1 pp.14-20, Ruse, ISSN 1311-3321 (**Оригинално заглавие:** Михайлов, Н., & Тодоров, Д., (2012). Анализ на възможностите за икономии при улично осветление. Научни трудове на Русенски университет - 2012, том 51, серия 3.1, стр.14-20, Русе, ISSN 1311-3321)

Pachamanov, A., & Pavlov, D., (2012). *Opportunities for energy efficiency improvement of outdoor lighting design based in mesopic luminance*, Сборник научных трудов X международной научно-технической конференции, декабря 2012, Саранск, pp.78-87, ISBN 978-5-905093-17-3

Panchev, H.I., (2022). Optimizing the power supply and energy costs of outdoor lighting systems. PhD thesis TU-Varna (**Оригинално заглавие:** Панчев, Х. И., (2022). Оптимизиране електроснабдяването и енергийните разходи на системи за външно осветление. Дисертационен труд, ТУ-Варна)

Vasilev, N., Pachamanov, A., Pachamanov, R., (2007). *System for dynamic remote control of street lighting*. XIII National lighting conference with international participation Lighting'2007, June 2007, Varna, pp.50-57 (**Оригинално заглавие:** Василев, Н., Пачамаков, А., Пачамаков, Р., Система за динамично телеуправление на улично осветление. XIII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление'2007, юни 2007, Варна, стр.50-57.)

Yovchev, M., Tsankov, P., & Bardarski, N., (2016). *Modernization of the street lighting system of the small settlements in municipality of Gabrovo*, Collection "Energy Forum 2016", June 2016, Varna. (**Оригинално заглавие:** Йовчев, М., Цанков, П., & Бърдарски, Н., Модернизиране на системата за улично осветление в малките населени места в община Габрово, Сборник "Енергиен форум 2016", юни 2016, Варна.)

SWD (2018) 494 - URL:

<https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/Зелени%20обществени%20поръчки/Път на%20сигнализация.pdf> (Accessed on 30.08.2023)