

2. Показано, що світлодіодні світильники неспрямованого та спрямованого світла з використанням світлодіодів середньої і великої потужності мають енергетичну ефективність $\eta_{\text{тм}}$ 135–170 лм/Вт, і відповідають класам енергоефективності D і C. Світильники з використанням малопотужних світлодіодів при світловому навантаженні на одиницю площі світлорозсіювача 0,8–2 лм/см² мають світлову ефективність $\eta_{\text{тм}}$ до 100–110 лм/Вт та відповідають класу енергоефективності F.

3. Відзначається, що значна частина світильників з високою енергоефективністю мають загальний індекс кольоропередачі (CRI) нижчий 80 одиниць.

4. Стельові світлодіодні світильники відбитого світла та світильники, що мають опалові розсіювачі з питомим світловим потоком на одиницю площі розсіювача до 2 лм/см² мають косинусну КСС відносяться до джерел неспрямованого світла. Світильники з призматичними розсіюючими елементами створюють спрямоване розсіювання світла, мають КСС наближену до глибокої і відносяться до джерел спрямованого світла.

Список використаних джерел

1. Commission Regulation (EU) 2019/2020 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulation (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012 (Text with EEA relevance).
2. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2015 of 11 March 2019 supplementing Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of Council with regard to energy labelling of light sources and repealing Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012/(Text with EEA relevance)
3. ДСТУ CIE 013.3:2017 Метод вимірювання та визначення кольоропередавання джерел світла (CIE 013.3-1995, IDT)
4. ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця (EN 12464-1:2011, IDT).
5. ДСТУ EN 12464-2:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 2. Зовнішні робочі місця (EN 12464-2:2014, IDT).
6. IES Road Report LCS Graph. https://docs.agi32.com/PhotometricToolbox/Content/Road_Report_Tool/IES_Road_Report_LCS_Graph.htm

УДК 681.586:628.91:656.13.07

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ОСВІТЛЕННЯ ЯК СКЛАДОВА ЦИФРОВІЗАЦІЇ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Єсаулов Сергій Михайлович,
кандидат технічних наук, доцент

Бабічева Ольга Федорівна,
кандидат технічних наук, доцент

Білоус Богдан Юрійович
студент

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
E-mail: olga.babicheva@kname.edu.ua

Питання енергоефективності у сфері міського електротранспорту набуває дедалі більшої актуальності в контексті сталого розвитку міст. Одним із перспективних напрямів підвищення енергоефективності є впровадження інтелектуальних систем освітлення, які забезпечують адаптивне регулювання рівня освітленості залежно від реальних потреб руху

транспорту та пасажирів. Аналіз актуальних зарубіжних досліджень дозволяє виокремити низку важливих висновків та практичних підходів до реалізації таких систем.

Відомо техніко-економічні оцінки трьох моделей освітлення [1]: традиційної, дистанційно керованої та адаптивної інтелектуальної системи. Дослідники довели, що саме інтелектуальне освітлення дозволяє знизити енергоспоживання до 60%, одночасно скорочуючи витрати на обслуговування та підвищуючи безпеку в міському середовищі. Незважаючи на загальний характер дослідження, воно демонструє високу ефективність таких систем для муніципальної інфраструктури, яку можна адаптувати до потреб електротранспорту.

В останній час особливе місце відводиться інтелектуальним транспортним системам [2] у формуванні енергоефективного міського середовища. Автори аналізують інтелектуальне освітлення як одну з ключових складових транспортної цифровізації. Зазначено, що впровадження таких систем дозволяє зменшити енергоспоживання на 40–50% завдяки адаптації до поточного трафіку. Окремо підкреслюється доцільність інтеграції освітлення з іншими компонентами «розумного» транспорту.

Відомо дослідження [3] з використанням моделі адаптивного освітлення транспортної інфраструктури, що змінюється відповідно до інтенсивності руху. Модель протестовано на міських транспортних вузлах, зокрема поблизу трамвайних та автобусних зупинок. Результати показали зниження енергоспоживання до 55% без втрати нормативної освітленості. Дослідження демонструє високу релевантність для сфери міського електротранспорту.

Усі проаналізовані джерела підтверджують високий енергозберігаючий потенціал інтелектуального освітлення. Найвищу ефективність демонструють адаптивні системи, що реагують на трафік і погодні умови. Актуальними є питання інтеграції освітлення з іншими елементами Smart City (відеоспостереження, диспетчеризація, моніторинг). Виявлено потребу у подальших прикладних дослідженнях саме в умовах електротранспортної інфраструктури міст.

На сьогоднішній день освітлення у міському електротранспорті (трамваях, тролейбусах, на зупинках та платформах) здебільшого базується на застарілих технологіях освітлення, які мають значні витрати електроенергії та низьку експлуатаційну ефективність.

Проблемами існуючих систем є неефективне регулювання, коли більшість систем не адаптується до рівня освітленості, часу доби чи кількості пасажирів; витрати енергії на порожніх рейсах, тобто освітлення вмикається незалежно від заповненості салону; підвищене навантаження на електромережу та акумулятори в автономних транспортних засобах; енергоспоживання на зупинках. На зупинках часто використовуються ртутні або натрієві лампи високого тиску з постійним рівнем яскравості. Відсутність автоматичного вимкнення або дімування призводить до витрат у нічний час з низьким пасажиропотоком.

Упровадження інтелектуального освітлення дозволяє замінити статичні енергозатратні джерела світла на динамічні, адаптивні LED-системи з датчиками руху, освітленості та пасажиропотоку в салонах. Потенціал скорочення енергоспоживання становить до 60 – 70 % у порівнянні з традиційними системами.

Інтелектуальні системи освітлення (ICO) є одним із ключових компонентів сучасної енергоефективної інфраструктури міського електротранспорту. Їхня ефективність базується на застосуванні сенсорів, мікроконтролерів, модулів бездротового зв'язку та алгоритмів адаптивного керування, які забезпечують гнучке регулювання освітленості залежно від потреб пасажирів, часу доби та зовнішніх умов.

Сучасні технічні рішення дозволяють ICO динамічно адаптуватися до умов експлуатації, що забезпечує значне зменшення споживання електроенергії. Висока ступінь автоматизації сприяє оптимізації витрат на обслуговування та покращенню надійності освітлення в транспортній інфраструктурі. Інтеграція з іншими смарт-системами

(відеоспостереження, диспетчеризація, пасажирська аналітика) є перспективним напрямом подальшого розвитку.

Однією з ключових переваг інтелектуального освітлення у міському електротранспорті є значне скорочення споживання електроенергії, що безпосередньо впливає на експлуатаційні витрати підприємств. Проведені дослідження свідчать, що впровадження адаптивних LED-систем із сенсорами руху та освітленості дозволяє зменшити річне енергоспоживання на 50 – 70 % у порівнянні з традиційними лампами. Економічний ефект проявляється у зменшенні витрат на електроенергію; зниженні частоти технічного обслуговування через довший ресурс LED; скороченні витрат на заміну джерел світла; швидкому терміні окупності (2 – 4 роки залежно від масштабу проєкту). Крім того, за рахунок зниження навантаження на електромережі та інтеграції з іншими Smart City-компонентами, досягається додатковий ефект синергії та підвищується загальна ефективність міської транспортної системи.

Інтелектуальне освітлення у міському електротранспорті може ефективно функціонувати не лише як автономний елемент, а й як частина інтегрованої екосистеми розумного міста. Завдяки використанню IoT-модулів, сенсорних платформ і централізованих систем керування, освітлення може обмінюватись даними з іншими компонентами міської інфраструктури.

Найбільш поширені напрямки інтеграції: системи відеоспостереження – синхронізація з освітленням для покращення якості зображення у темну пору доби; інформаційні табло та інфраструктура IoT – спільне живлення, діагностика та управління; модулі екстреного виклику або сигналізації – підсвічування у критичних ситуаціях; диспетчерські системи транспорту – моніторинг стану освітлення в реальному часі, віддалене керування та оптимізація енергоспоживання. Така інтеграція підвищує функціональність, безпеку та економічну ефективність усієї транспортної інфраструктури, забезпечуючи єдиний цифровий простір міста.

Європейські міста демонструють успішну реалізацію концепції інтегрованого інтелектуального освітлення, що поєднує енергоефективність, безпеку, цифровізацію транспорту та екологічність. Цей досвід є корисним для адаптації у міському електротранспорті України, з урахуванням наявної інфраструктури та потреб.

Так, наприклад, у рамках програми Smart Barcelona (Іспанія) реалізовано інтегровану систему освітлення, яка автоматично адаптується до присутності людей та транспорту. Освітлювальні опори обладнані сенсорами руху, датчиками якості повітря, відеокамерами, Wi-Fi точками доступу. Інтелектуальне освітлення поєднано з міською диспетчерською системою та аналітичним центром даних. У результаті місто досягло до 30 – 40 % економії енергії на вуличному та зупинковому освітленні.

У Копенгагені (Данія) розроблена система City Data Exchange, що об'єднує всі цифрові дані з систем міста включно з освітленням. Інтелектуальні ліхтарі вмикаються лише при наближенні транспорту або пішоходів, передають інформацію про активність на зупинках, інтегровані з системами громадського транспорту. Проєкт дозволив скоротити витрати на електроенергію на 57 % у порівнянні з традиційним освітленням.

Місто Айндовен (Нідерланди) стало тестовим майданчиком для систем освітлення Philips SmartPoles. Освітлення змінює яскравість залежно від присутності транспорту, синхронізоване з камерами безпеки та аварійними кнопками, оснащене модулями для зарядки електротранспорту. Це дозволяє реагувати на реальні потреби руху транспорту і водночас створює безпечне середовище для пасажирів у нічний час.

Інтелектуальне освітлення в системі міського електротранспорту має не лише енергетичне та економічне, а й соціальне значення, оскільки безпосередньо впливає на рівень безпеки, комфорту та психологічного сприйняття простору пасажирями.

Таким чином, упровадження інтелектуального освітлення в систему міського електротранспорту є перспективним напрямом розвитку енергоефективної та безпечної транспортної інфраструктури. Аналіз наукових джерел, технічних рішень і практичного

досвіду міст ЄС засвідчив, що адаптивні LED-системи з сенсорним та алгоритмічним керуванням дозволяють зменшити споживання електроенергії на 50 – 70 %, скоротити витрати на обслуговування, а також підвищити комфорт і безпеку пасажирів. Інтеграція освітлення з іншими компонентами Smart City (відеоспостереженням, транспортною диспетчеризацією, інформаційними табло) забезпечує створення єдиного цифрового середовища, що дозволяє оптимізувати експлуатаційні процеси та оперативно реагувати на зміну пасажиропотоку. Отже, інтелектуальне освітлення виступає не лише як інструмент енергозбереження, а й як важливий елемент інноваційної трансформації міського електротранспорту, спрямованої на підвищення його ефективності, екологічності та привабливості для населення.

Список використаних джерел

1. Giacomoni, A. & Mancarella, P. (2012). *Smart lighting solutions: Technical-economic evaluation in public spaces*. EPJ Web of Conferences, Vol. 25, Article Number 05010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2012/15/epjconf_e2c2012_05010.pdf
2. Tzanakaki, A., Bartzokas-Tsiompras, A., & Anastasiadou, C. (2020). *Achieving Energy Savings by Intelligent Transportation Systems Investments in the Context of Smart Cities*. ResearchGate. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/346943912_Achieving_Energy_Savings_by_Intelligent_Transportation_Systems_Investments_in_the_Context_of_Smart_Cities
3. Li, J., Wang, Y., Zhang, F., & Chen, M. (2023). *Energy-Saving Potential of Traffic-Controlled Street Lighting in Smart Cities*. Sustainability, Vol. 15(8), Article №6750. MDPI. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/8/6750>

УДК 629.3.016.8

ІНТЕГРАЦІЯ КЛАСИЧНИХ ТА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ БЕЗПЕЧНИХ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Закурдай Світлана Олександрівна,
кандидат технічних наук,

Шавкун Вячеслав Михайлович,
кандидат технічних наук,

Коваль Олександр Максимович,
студент

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
E-mail: Svitlana.Zakurday@rname.edu.ua

Безпека є першочерговим завданням при оцінці ризиків систем автономного водіння, особливо в електромобілях. Хоча нейромережі глибокого навчання (DNN) мають великий потенціал для створення автопілотів, залишається складним завданням гарантувати безпеку їхніх рішень, адже принципи їхньої роботи не завжди повністю зрозумілі.

Для вирішення цієї проблеми пропонується ієрархічна архітектура системи керування. У такій структурі спеціальний рівень контролю та валідації здійснює нагляд за всією системою, забезпечуючи її загальну безпеку. Функціональні компоненти системи пропонується зробити модульними, що дозволяє паралельно використовувати різні підходи залежно від умов. Наприклад, модуль на основі глибокого навчання, ефективний у складних, непередбачуваних умовах (як-от нерозмічені дороги), може працювати паралельно з