

**Секція 10.**  
**ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.**  
**ЕНЕРГЕТИКА І НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.**  
**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ**

УДК 628.971

**АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ  
ОСВІТЛЕННЯ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ В УКРАЇНІ**

**Гарбуз Максим Олександрович**, студент, Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет, e-mail: garbuzmax3@gmail.com

Міжнародний досвід впровадження автономних систем освітлення пішохідних переходів демонструє різноманітні підходи до вирішення проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху в умовах обмеженого доступу до централізованого електропостачання. Аналіз реалізованих проектів у європейських країнах та Північній Америці дозволяє виявити основні технологічні рішення, економічні показники ефективності та практичні результати впровадження таких систем [1]. Аналіз міжнародного досвіду виявляє основні технічні параметри успішних автономних систем: використання LED-технології з адаптивним управлінням потужністю, інтеграція датчиків присутності для оптимізації енергоспоживання, застосування сонячних панелей з акумуляторними системами для забезпечення автономності та дотримання міжнародних стандартів освітленості та безпеки.

Довговічність автономних систем освітлення пішохідних переходів визначається терміном експлуатації основних компонентів системи та витратами на їх технічне обслуговування протягом життєвого циклу. Світлодіодні компоненти характеризуються найтривалішим терміном експлуатації серед усіх елементів автономної системи. Згідно з дослідженнями, LED-елементи можуть функціонувати від 10000 до 50000 годин, що еквівалентно кількарічній роботі без необхідності заміни. Критерієм оцінки терміну експлуатації світлодіодів є показник L70, що відповідає моменту зниження світлового потоку до 70% від початкового значення [2].

Акумуляторні системи мають найкоротший термін експлуатації серед основних компонентів автономного освітлення. Літій-іонні акумулятори, що є оптимальним вибором для автономних систем, характеризуються терміном експлуатації 2 – 4 роки залежно від інтенсивності циклів заряд-розряд та умов експлуатації [3].

Сонячні панелі також характеризуються тривалим терміном експлуатації. Монокристалічні фотоелектричні модулі забезпечують стабільну роботу протягом 25 – 30 років з поступовою деградацією потужності на рівні 0,5 – 0,8% щорічно [2]. Дослідження довгострокової ефективності фотоелектричних

систем показало, що правильно спроектовані та встановлені панелі зберігають понад 80% початкової потужності після 25 років експлуатації.

Витрати на обслуговування автономних систем освітлення є значно нижчими порівняно з традиційними мережевими системами. Дослідження американської асоціації громадських робіт показало, що проактивне обслуговування може знизити рівень відмов обладнання на 30%. Основні витрати на обслуговування включають регулярне очищення сонячних панелей, перевірку з'єднань, калібрування датчиків та періодичну заміну акумуляторних батарей. Структура витрат на обслуговування протягом 20-річного періоду експлуатації розподіляється наступним чином: заміна акумуляторів складає 40 – 50% від загальних витрат на обслуговування, профілактичні роботи та очищення панелей – 25 – 30%, заміна світлодіодних модулів – 15 – 20%, ремонт контролерів та електронних компонентів – 10 – 15% [5].

Дослідження надійності автономних систем освітлення з використанням розподілу Вейбулла для прогнозування ймовірності відмов показало, що правильно спроектовані системи можуть забезпечувати коефіцієнт готовності понад 95% протягом першого десятиріччя експлуатації [2]. Основними причинами відмов є деградація акумуляторних батарей (60% відмов), несправності контролерів заряду (25% відмов) та механічні пошкодження (15% відмов).

Економічна ефективність автономних систем освітлення пішохідних переходів визначається співвідношенням капітальних інвестицій, експлуатаційних витрат та отриманих вигод протягом життєвого циклу обладнання. Комплексний економічний аналіз включає оцінку прямих витрат на впровадження та експлуатацію, а також непрямих економічних ефектів від підвищення безпеки дорожнього руху.

Аналіз структури капітальних витрат на впровадження автономної системи освітлення одного пішохідного переходу показує, що найбільшу частку становлять літій-іонні акумулятори ємністю 1,5 кВт·год вартістю 45 000 грн., що складає 30% від загальної суми інвестицій. Значними статтями витрат також є LED-світильники потужністю  $2 \times 50$  Вт з адаптивним управлінням (25 000 грн.), монтажні та пусконаладжувальні роботи (25 000 грн.) та опорні конструкції з монтажними матеріалами (22 000 грн.). Контролер заряду MPPT та система управління коштують 18 000 грн., а фотоелектричні модулі потужністю 150 Вт – 15 000 грн. Таким чином, загальні капітальні витрати на автономну систему становлять 150 000 грн.

Традиційна система освітлення з підключенням до централізованої мережі потребує менших початкових інвестицій – 125 000 грн. Основну частину витрат становить прокладання кабельної лінії довжиною 200 метрів, що обходиться в 80 000 грн. або 64% від загальної суми.

Решта коштів розподіляється між монтажними роботами (18 000 грн.), підключенням до мережі з організацією обліку електроенергії (15 000 грн.) та придбанням двох натрієвих світильників потужністю по 150 Вт кожен загальною вартістю 12 000 грн.

Простий термін окупності додаткових інвестицій становить 2,9 року, що розраховується як відношення різниці капітальних витрат (25 000 грн.) до річної економії експлуатаційних витрат. Однак для повної оцінки економічної ефективності необхідно враховувати весь життєвий цикл системи, включаючи заміну акумуляторів через 4 роки експлуатації вартістю 45 000 грн.

Крім прямих економічних вигод, впровадження автономного освітлення забезпечує зниження аварійності на пішохідних переходах на 30 – 40%, що дозволяє уникнути значних соціальних та економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод. Екологічний ефект полягає у зменшенні викидів CO<sub>2</sub> на 2,1 тонни щорічно, враховуючи структуру генерації електроенергії в Україні. Додатковою перевагою є повна незалежність від аварійних відключень централізованого електропостачання, що особливо актуально в умовах нестабільності енергосистеми.

### Висновки

Освітлення пішохідних переходів є одним із факторів забезпечення безпеки дорожнього руху в темну пору доби та визначає умови видимості пішоходів для водіїв транспортних засобів. Стан освітлювальних систем пішохідних переходів у містах України потребує дослідження з урахуванням нормативно-технічної бази, проблем експлуатації та впливу на показники аварійності.

### Література

1. Tomczuk K., Tomczuk P., Chrzanowicz M. Exploring the Feasibility of Autonomous Lighting Systems for Pedestrian Crossings in Off-Grid Areas. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 7. 3054. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14073054>.
2. Orejon-Sanchez R. D., Andres-Diaz J. R., Gago-Calderon A. Autonomous Photovoltaic LED Urban Street Lighting: Technical, Economic, and Social Viability Analysis Based on a Case Study. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, no. 21. 11746. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132111746>.
3. L70 LED Lifetime Rating and Lumen Depreciation : веб-сайт. URL: <https://www.accessfixtures.com/led-lifetime-170/> (дата звернення: 05.02.2026).
4. How long do solar panels last? : веб-сайт. URL: <https://www.energysage.com/solar/how-long-do-solar-panels-last/> (дата звернення: 05.02.2026).
5. Sustainable Real Estate: From Solar to Zero Energy : веб-сайт. URL: <https://www.dot-guide.org/articles/sustainable-real-estate-from-solar-to-zero-energy.html> (дата звернення: 05.02.2026).