

УДК 628.314.222.6

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2024.67.034>

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ І ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНО-КУЛЬТУРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

П.П. Говоров*, докт. техн. наук, А.К. Кіндінова**, А.О. Котенко***

Харківський Національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61003, Україна
e-mail: philip.govorov@gmail.com

Наведено результати дослідження енергетичної ефективності освітлювальних установок житлових будинків і будівель соціально-культурного призначення. На основі техніко-економічного порівняння чотирьох варіантів систем освітлення: з лампами розжарювання, люмінесцентними, компактними люмінесцентними і світлодіодними лампами дана кількісна оцінка витрат на освітлення. Розроблено математичну модель питомих дисконтованих витрат, що дозволило враховувати зміни у часі умов роботи освітлення, а представлення результатів дослідження у відносних одиницях надало їм узагальненого вигляду. Зроблено висновки та надано рекомендації щодо їхнього застосування. Бібл. 9, рис. 2.

Ключові слова: енергетична ефективність, система освітлення, освітлювальна установка, автоматичне керування, світлодіодна лампа.

Введення. Житлові будинки є одним із значних споживачів електроенергії у міському господарстві. У них щорічно витрачається в середньому близько 400 кВт·год електроенергії на людину, з яких приблизно 280 кВт·год споживаються усередині квартир на освітлення та побутові прилади різного призначення, і 120 кВт·год – в освітлювальних установках загальнобудинкових приміщень. Аналогічні справи й у системах освітлення об'єктів соціально-культурного призначення. За останні 5 років таке електроспоживання збільшилося в середньому на 20 %.

Одним зі шляхів підвищення ефективності внутрішнього освітлення може розглядатися застосування комбінованих систем освітлення, чим забезпечується зниження потужності ламп. Іншим, не менш важливим шляхом зменшення витрат на освітлення приміщень є заміна джерел світла на більш ефективні та використання автоматичних засобів управління ними.

Крім того, за результатами аналізу, проведеного авторами [1], було встановлено незадовільний технічний стан освітлювальних установок, який полягає в низькому рівні компенсації реактивної потужності в мережах, великих рівнях пульсацій світлового потоку, завод та спотворень у мережах. Економічність роботи системи освітлення в цілому залежить від правильності вибору параметрів їхніх основних елементів – джерел світла та світлових приладів та систем керування ними. Водночас основна увага приділяється забезпеченню нормованих значень освітлення на робочих поверхнях. Забезпечення енергетичної ефективності освітлювальних установок зводиться в основному до вибору енергоефективних джерел світла. У той же час умови їхньої роботи залишаються поза увагою проектувальників. Найявністю таких факторів, як низьке значення коефіцієнта потужності в мережах, високий рівень вищих гармонік у них та незадовільний стан за регламентами напруги у поєднанні з недостатнім рівнем забезпечення ефективного світлорозподілу на об'єктах освітлення, значно знижує ефективність установок загалом.

Стан питання. Аналіз публікацій, присвячених цій тематиці [1–9], свідчить про малу вивченість питання. Основна частина публікацій [2, 4–6] стосується підвищення ефективності освітлення офісних будівель, якими споживається до 50 % електроенергії, і там проблема може вважатися найбільш вирішеною. Але підвищенню ефективності роботи систем внутрішньобудинкового освітлення об'єктів соціально-культурного та побутового призначення в технічній літературі надано недостатньо уваги. Цьому питанню присвячено лише окремі ро-



боти [7–9]. Більше того, роботи мають переважно прикладний характер і стосуються вирішення питання для певного об'єкта, в виділений час і для його заданих параметрів. Тому результати роботи не можуть бути використані у даний час, який характеризується обвальною інфляцією та зростанням номенклатури і потужності, та параметрів освітлювального обладнання та систем, які суттєво змінюють величину і співвідношення складових витрат на освітлення об'єктів соціально-культурного та побутового призначення, а також вимагають узагальнених рішень.

Водночас використання результатів наведених досліджень наразі у зв'язку зі зміною вартості електричної енергії та обладнання призводить до хибних рішень, які супроводжуються низькою ефективністю розроблених систем освітлення.

Тому задачею проведених авторами досліджень стало удосконалення існуючих методик розрахунку освітлювальних установок на основі врахування умов проектування у часі. З цією метою в роботі було виконано техніко-економічне порівняння чотирьох варіантів систем освітлення: з лампами розжарювання (ЛР), люмінесцентними (ЛЛ), компактними люмінесцентними (КЛЛ) і світлодіодними лампами (СДЛ). Водночас порівняння здійснювалося за витратою електричної енергії та загальними річними витратами.

Дослідження систем внутрішньобудинкового освітлення. Результати досліджень свідчать про наявність значного резерву енергозбереження на стадії енергетичного перетворення світлової енергії. До цього слід додати значні втрати напруги і потужності в освітлювальних електричних мережах та високий рівень завад і спотворень. Аналіз параметрів освітлювальних електричних мереж свідчить про те, що значення втрат напруги та потужності в них перебуває на рівні 20...25 %. Певних втрат потужності (10...15 %) надають низьке значення коефіцієнта потужності в освітлювальних мережах з люмінесцентними лампами, що перебуває на рівні 0,7, а також високий рівень спотворень в них, що перебуває на рівні 30...40 %.

Серед факторів, які сьогодні впливають на рівень енергозбереження в освітленні, можна виділити:

- незадовільний стан електричних мереж та світлових приладів, які збільшують втрати електричної та світлової енергії на 20...25 % та 30...40 % відповідно;
- незадовільний стан автоматизації режимів освітлювальних систем, що зумовлює збільшення витрат електричної та освітлювальної енергії на 30...40 % та 40...50 % відповідно.

Результати розрахунково-експериментальних досліджень електроспоживання освітленням об'єктів свідчать про наявність значної перевитрати електричної енергії в них. Аналіз динаміки зміни витрат у часі свідчить про те, що значення витрат не є постійним, а змінюється зі зміною умов роботи освітлення і не є системним у часі, тому з метою отримання рішення, стійкого до зміни величини та співвідношення витрат на освітлення об'єктів соціально-культурного та побутового призначення, обумовлених інфляційними процесами в суспільстві, в роботі застосовано дисконтування витрат на освітлення. Це дає змогу використовувати мінімум питомих дисконтованих витрат B (грн/кВт) як критерій економічної ефективності систем освітлення і проводити оцінку їхньої інвестиційної привабливості на основі порівняння різних варіантів виконання систем [3].

На рис. 1 наведено діаграми енергоспоживання загальноосвітньої школи (*a*) та дитячого садка (*б*) за різних умов роботи [9], де показано: ■ – існуюча неавтоматична система освітлення; ■ – автоматична система освітлення з лампами розжарювання; ■ – автоматична система освітлення з люмінесцентними лампами; ■ – автоматична система освітлення зі світлодіодами. Цифрами на рисунку позначено: 1. Класні кімнати; 2. Кабінети інформатики та обчислювальної техніки; 3. Лабораторні; 4. Спортивна зала; 5. Актова зала; 6. Кабінети та кімнати викладачів; 7. Бібліотека; 8. Приймальні; 9. Роздягальні; 10. Групові, ігрові, їдальні, кімнати музичних і гімнастичних занять; 11. Спальні; 12. Ізолятори для хворих дітей.

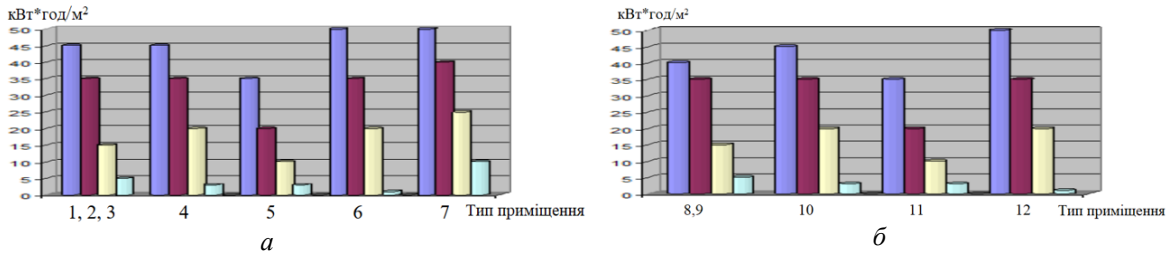


Рис. 1

Для оцінки економічності освітлювальних установок у цій роботі розроблено модель наведених дисконтованих витрат на створення одиниці світлової енергії:

$$B_0 = \left[\frac{K \times E}{P_{уст} T_l E_d} + q \left(1 + \frac{\delta}{100 E_d} \right) + \frac{C_l}{P_l T_l E_d} + \frac{C_{з.л.}}{P_l T_l E_d} \right], \quad (1)$$

де K – капітальні витрати на створення освітлювальної установки, грн; $E = E_n + E_a$ – сумарний коефіцієнт, що дорівнює сумі нормативного коефіцієнта ефективності капітальних вкладень E_n і норм амортизації E_a ; δ – втрати потужності в ПРА, %; C_l – вартість лампи, грн; $C_{з.л.}$ – вартість заміни лампи, грн; η – світлова віддача джерела світла, лм/Вт; $P_{уст}$ – загальна встановлена потужність усіх ламп, кВт; T_l – тривалість горіння лампи на рік, год; q – тариф на електроенергію, грн/кВт·год; P_l – потужність однієї лампи, кВт; T_l – термін служби лампи, год; E_d – норма дисконту, яка визначається з врахуванням відсоткової ставки Національного банку України для довготермінових вкладів, інфляційних процесів, ступеня ризиків інвесторів і рівня активності обладнання [2, 3].

Із формули (1) видно, що вартість електроенергії, яка витрачається на створення одиниці світлового потоку, обернено пропорційна середньому терміну служби лампи. На практиці застосування більш ефективних ламп не забезпечує розрахункової економії електроенергії. Це пояснюється різними нормами освітленості в умовах використанні різних типів ламп.

Наприклад, освітленість, створювана світильниками з люмінесцентними лампами в житлових кімнатах і кухнях, має бути вищою, ніж у разі встановлення світильників із лампами розжарювання. Для санвузлів, коридорів, сходів ця різниця ще більша, тому застосування люмінесцентних світильників забезпечує економію електроенергії тільки в тому разі, якщо виконується умова:

$$\frac{(1 + \delta/100) \eta_{л.р.} \alpha}{\eta_{л.р.} E_d} < 1, \quad (2)$$

де α – відношення нормованої освітленості за умови застосування люмінесцентних ламп і ламп розжарювання, відповідно СДЛ.

Розрахунки, виконані авторами за формулою (1), показали, що найбільш економічними в умовах внутрішньобудинкового освітлення є світлодіодні джерела світла.

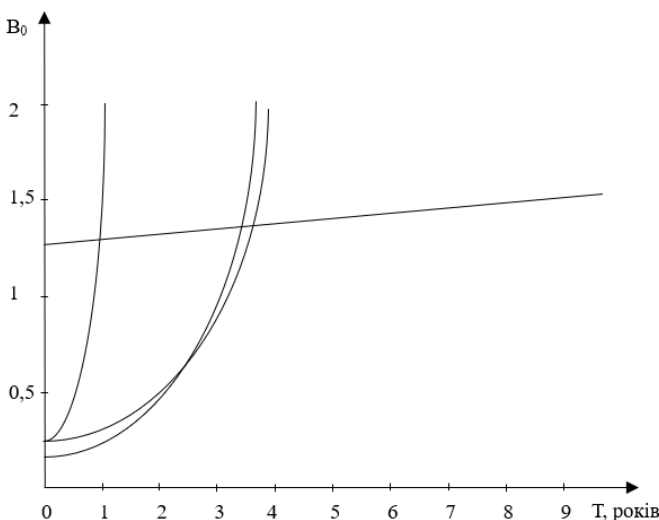


Рис. 2

в умовах внутрішньобудинкового освітлення є світлодіодні джерела світла. На рис. 2 наведено графічні залежності відносного значення питомих дисконтованих витрат для різних типів ламп від часу горіння T_l , отримані при $C_l = 3$ грн/кВт·год та $E_d = 0,2$, де позначено: 1 – ЛР; 2 – ЛЛ; 3 – КЛЛ; 4 – СДЛ.

Наявність точок перетину кривих $B_0(T)$ свідчить про рівноефективність різних варіантів освітлення в цих точках. Строк окупності капітальних витрат за порівняння СДЛ з ЛР становив у середньому 1,8 року, СДЛ з ЛЛ – 4,2 року, СДЛ з КЛЛ – 4,6 року.

Отримані в результаті досліджень

дані переконливо свідчать про технічну необхідність та економічну доцільність застосування світлодіодних джерел світла в поєднанні з автоматичним керуванням у системах внутрішньо-будинкового та офісного освітлення. Розрахунки показали, що по чотирьох ділянках житлово-комунального господарства м. Харків економічна ефективність від впровадження світлодіодних джерел світла в системах освітлення 60 дитячих садків і 90 шкіл становить 60 млн грн. У масштабах України величина економії сягає 5...10 млрд грн на рік. Якщо сюди додати ефект від покращення якості освітлення та його впливу на природне середовище, то значення ефекту буде набагато більшим.

Висновки. 1. Проведені дослідження параметрів та режимів освітлювальних установок свідчать про те, що заміна ламп розжарювання та люмінесцентних ламп на світлодіодні в системах освітлення житлових будинків та об'єктів соціально-культурного призначення у поєднанні з автоматизацією керування ними забезпечує значної величини економію електричної та світлової енергії.

2. Розроблено дисконтування питомих приведених витрат, яке у поєднанні з застосуванням відносних одиниць дало змогу оцінювати значення витрат, що є стійкими до зміни умов проектування.

3. Застосуванням розробленої моделі визначені області ефективної роботи освітлювальних установок з різними джерелами світла. Визначено, що широке застосування світлодіодних світильників у поєднанні з автоматизованими системами керування може забезпечити значний економічний ефект від суттєвого зменшення експлуатаційних витрат, пов'язаних із багатократним зменшенням витрат електроенергії та ламп.

4. Використання СДЛ у місцях перебування людей може забезпечити ще й значний соціальний ефект за рахунок налаштування кольору випромінювання лампи до потреб людського організму.

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року. Київ: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. 275 с.
2. Романюк Ю.Ф., Демкович О.В. Вибір оптимальної схеми приєднання споживачів до транзитної лінії електропередавання нафтопромислової мережі. *Нафтогазова енергетика*. 2013. № 2. С. 101–108.
3. Романюк Ю.Ф., Поточний А.І. Застосування методу економічних інтервалів для оптимізації параметрів електричних мереж. *Нафтогазова енергетика*. 2009. № 2 (11). С. 72–75.
4. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Ковальчук О.А. Оптиміальне керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. Збірник наукових праць. 2011. Спеціальний випуск, ч. 1. С. 48–55.
5. Говоров П.П., Харченко В.Ф., Говоров В.П. Автоматизація керування режимами міських електричних мереж. Харків: ХНУМГ, 2017. 229 с.
6. Бондарчук А.С. Внутрішньобудинкове електропостачання. Навчальний посібник. Київ: Освіта України, 2015. 480 с.
7. Govorov F.P., Romanova T.I., Govorov V.F. Electromagnetic compatibility of light-emitting diode sources with a network. *Unitech 2011*. Gabrovo, Bulgaria. 2011. P. 51–59.
8. Говоров П.П., Носанов М.І., Романова Т.І. Лампа світлодіодна на основі білих і жовтого світлодіодів з регульованою кольоровою температурою. Патент України № 63547, 2011.
9. Говоров Ф.П., Говоров В.Ф., Романова Т.И., Король О.В. Оценка эффективности систем освещения жилых домов и зданий социально-культурного назначения. *Svitlo-LUX*. 2012. №5. С. 57–61.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF LIGHTING SYSTEMS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS AND SOCIAL AND CULTURAL FACILITIES

P.P. Hovorov, A.K. Kindinova, A.O. Kotenko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
st. Marshala Bazhanova, 17, Kharkiv, 61003, Ukraine
e-mail: philip.govorov@gmail.com

The results of a study of the energy efficiency of lighting installations of residential buildings and buildings of social and cultural purpose are given, and based on a technical and economic comparison of four options of lighting systems: with incandescent lamps, fluorescent lamps, compact fluorescent lamps and LED lamps, a quantitative assessment of lighting costs is given. A mathematical model of specific discounted costs was developed, which made it possible to take into account changes in lighting operating conditions over time, and the presentation of research results in relative

units gave them a generalized appearance. Conclusions were drawn and recommendations for their application were given. Ref. 9, fig. 2.

Keywords: energy efficiency, lighting system, lighting installation, automatic control, LED lamp.

1. Stohniy B.S., Kyrylenko O.V., Prakhovnyk A.V. The main parameters of the energy supply of the national economy for the period until 2020. Kyiv: Vydavnytstvo Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2011. 275 p. (Ukr)
2. Romanyuk Y.F., Demkovich O.V. Choosing the optimal scheme for connecting consumers to the transit power line of the oil industry network. *Naftohazova enerhetyka*. 2013. № 2. Pp. 101–108. (Ukr)
3. Romanyuk Y.F., Potochnyi A.I. Application of the method of economic intervals to optimize the parameters of electrical networks. *Naftohazova enerhetyka*. 2009. No 2 (11). Pp. 72–75. (Ukr)
4. Lezhnyuk P.D., Kulyk V.V., Koval'chuk O.A. Optimal management of distributed energy sources in the local electrical system. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy*. 2011. Special issue, v.1. Pp. 48–55. (Ukr)
5. Hovorov P.P., Kharchenko V.F., Hovorov V.P. Automation of the control of modes of urban electric networks. Kharkiv: KHNUMH, 2017. 229 p. (Ukr)
6. Bondarchuk A.S. Domestic electricity supply. Tutorial. Kyiv: Osvita Ukrainy, 2015. 480 p. (Ukr)
7. Govorov F.P., Romanova T.I., Govorov V.F. Electromagnetic compatibility of light-emitting diode sources with a network. *Unitech 2011*. Gabrovo, Bulgaria, 2011. Pp. 51–59.
8. Hovorov P.P., Nosanov M.I., Romanova T.I. LED lamp based on white and yellow LEDs with adjustable color temperature. Patent UA № 63547, 2011. (Ukr)
9. Hovorov P.P., Hovorov V.P., Romanova T.I., Korol O.V. Evaluation of the effectiveness of lighting systems for residential buildings and buildings for social and cultural purposes. *Svitlo-LUX*. 2012. No 5. Pp. 57–61. (Ukr)

Надійшла: 08.06.2023

Прийнята: 05.12.2023

Submitted: 08.06.2023

Accepted: 05.12.2023