

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-20>

УДК 621.32:004.89:620.92

В. Б. Гулевський, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-1434-9724

Ю. О. Постол, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0749-3771

К. Г. Петренко, ст. викладач

ORCID: 0009-0007-2972-4001

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: yulia.postol@tsatu.edu.ua

ПРОЄКТУВАННЯ РОЗУМНИХ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ОСВІТЛЕННЯ

Анотація. У статті представлено вдосконалену методику проєктування електричних схем освітлення, яка відповідає сучасним вимогам енергоефективності, автоматизації та цифрової інтеграції. Запропоновано комплексний підхід, що об'єднує світлотехнічні розрахунки, електротехнічне моделювання та принципи енергетичного менеджменту. Отримані результати підтверджують ефективність впровадження інтелектуальних систем освітлення як засобу оптимізації енергоспоживання та підвищення функціональності будівельних об'єктів.

Вступ. Освітлення є одним із базових елементів інженерної інфраструктури будівель, що безпосередньо впливає на функціональність простору, енергоспоживання, ергономіку та безпеку користувачів. Проєктування електричних схем освітлення є складним технічним процесом, що потребує міждисциплінарного підходу. Він охоплює:

- світлотехнічні розрахунки – визначення кількості, типу та розташування світильників для досягнення нормативного рівня освітленості;
- електротехнічне моделювання – побудова принципівих і монтажних схем, вибір кабелів, захисної апаратури, систем керування;
- архітектурну інтеграцію – врахування планувальних рішень, висоти стель, зонування, природного освітлення;
- нормативно-правове регулювання – дотримання вимог ДБН, ДСТУ, EN, IEC щодо освітлення, безпеки й енергоефективності.

Якісно спроектована система освітлення забезпечує:

- достатній рівень освітленості відповідно до функціонального призначення приміщення;
- комфортні умови для роботи, навчання, відпочинку;
- зниження ризиків травматизму та підвищення безпеки;
- оптимізацію витрат на електроенергію та обслуговування.

У сучасному будівництві особливу увагу приділяють упровадженню інтелектуальних систем освітлення, які дають можливість автоматизувати керування, адаптувати освітлення до змінних умов і суттєво знизити енергоспоживання. Це відповідає глобальним тенденціям сталого розвитку, цифровізації та енергетичної трансформації.

Таким чином, проєктування освітлювальних електричних схем є не лише технічним завданням, а й важливою складовою енергоефективної та комфортної архітектури.

Ключові слова: електричні схеми освітлення, автоматизація освітлення, проєктування інженерних систем, енергоефективне освітлення, енергетичний аудит, енергетичний менеджмент.

Постановка проблеми. У сучасному будівництві та реконструкції об'єктів різного призначення (житлових, громадських, промислових) освітлення відіграє ключову роль у забезпеченні функціональності, безпеки й енергоефективності середовища. Незважаючи на наявність нормативної бази, проєктування електричних схем освітлення часто стикається з низкою проблем:



- невідповідність проектних рішень реальним умовам експлуатації. Типові схеми не враховують змінну активність користувачів, природне освітлення, зонування простору;
- низький рівень інтеграції автоматизованих систем керування. У багатьох об'єктах відсутні датчики руху, освітленості, таймери, що призводить до надмірного енергоспоживання;
- фрагментарне застосування енергоощадних технологій;
- недостатня адаптація до сучасних стандартів. Частина проектів базується на застарілих нормативах, без урахування вимог EN 12464-1, EN 15193-1 або ISO 50001;
- відсутність комплексного підходу до проектування. Освітлення часто розглядається ізольовано від архітектурних, енергетичних та експлуатаційних аспектів.

Ці проблеми призводять до перевитрат електроенергії, зниження комфорту користувачів, складнощів у технічному обслуговуванні та невідповідності сучасним вимогам сталого розвитку. Тому актуальним є розроблення методики проектування електричних схем освітлення, яка поєднує нормативні вимоги, світлотехнічні розрахунки, автоматизацію та енергоефективність.

Аналіз останніх досліджень. У контексті глобального переходу до сталого будівництва та цифровізації інженерних систем питання енергоефективного освітлення з автоматизованим керуванням набуває особливої актуальності. Останні дослідження в Україні демонструють активний розвиток у таких напрямках:

- автоматизація освітлення на підприємствах. У роботі [1] розглянуто розробку автоматичної системи освітлення території підприємства з використанням сучасних протоколів керування (*LonWorks, DMX-512, DALI*). Автори показали, що впровадження автоматизованих рішень дає можливість знизити втрати електроенергії до 60 %, а також покращити обслуговування системи завдяки дистанційному моніторингу;

- інтелектуальні системи освітлення з *HCL*-підходом. У статті [2] розглянуто перспективи розвитку систем автоматичного керування освітленням із використанням концепції *Human-Centric Lighting (HCL)*. Автори акцентують увагу на поєднанні датчиків часу, присутності, освітленості та індивідуальних налаштувань користувача. Зроблено висновки щодо ефективності широтно-імпульсної модуляції, димування та бездротового керування через інтернет.

Ці дослідження підтверджують, що сучасне проектування освітлення має базуватися не лише на світлотехнічних розрахунках, а й на принципах автоматизації, енергоефективності та персоналізації освітлювального середовища [3; 4; 5; 6].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою цієї статті є розробка комплексної методики проектування систем освітлення, яка охоплює всі ключові етапи створення ефективної та сучасної освітлювальної установки. Запропонована методика має забезпечити відповідність технічним нормам, енергоефективність, функціональність і можливість інтеграції інтелектуальних систем керування. Результатом роботи має стати універсальна методика, придатна для застосування в різних типах об'єктів – від житлових і офісних приміщень до промислових і громадських просторів.

Основні матеріали дослідження. Проектування систем освітлення – це багатоступеневий процес, що поєднує світлотехнічні розрахунки, електротехнічне моделювання, вибір обладнання та дотримання нормативних вимог. Методика охоплює як технічні, так і функційні аспекти, що забезпечують ефективну, безпечну й енергоощадну експлуатацію системи.

Проектування систем освітлення регламентується низкою нормативних документів, які визначають вимоги до рівня освітленості, безпеки електроустановок, енергоефективності й ергономіки.

Дотримання цих норм забезпечує відповідність проекту чинному законодавству, технічним стандартам і міжнародним практикам [7–11] (табл. 1, табл. 2).

Таблиця 1

Національні нормативні документи України

Документ	Зміст та застосування
ДБН В.2.5-28:2018	Визначає вимоги до природного та штучного освітлення будівель і споруд
ДСТУ Б А.2.4-24:2008	Регламентує внутрішнє електричне освітлення: рівні освітленості, типи світильників
ДСТУ EN 12464-1:2016	Встановлює норми освітлення робочих місць у приміщеннях (адаптований європейський стандарт)
ДСТУ ГОСТ 2.702:2013	Визначає правила виконання електричних схем (принципових, монтажних, підключення)
ДСТУ ІЕС 60364	Містить вимоги до електроустановок низької напруги, включно із захистом, заземленням, вибором кабелів

Таблиця 2

Міжнародні стандарти

Стандарт	Організація	Застосування
ІЕС 60364	ІЕС (Швейцарія)	Загальні вимоги до електроустановок, включно з освітленням, захистом, безпекою
ISO 8995-1:2002 (CIE S 008/E)	ISO / CIE	Визначає кількісні та якісні параметри освітлення для різних типів приміщень
EN 15193-1:2017	CEN (ЄС)	Енергетична ефективність освітлення в будівлях, методи оцінки та розрахунку

Порівняльний аналіз українських та європейських нормативів у сфері освітлення показує, що європейські стандарти характеризуються більш високим рівнем деталізації щодо параметрів адаптивності освітлення, контролю блискавості, забезпечення рівномірності світлового потоку й інтеграції автоматизованих систем керування (табл. 3).

Крім технічних характеристик, у процесі проектування систем освітлення обов'язково враховуються енергетичні й екологічні вимоги, спрямовані на оптимізацію споживання ресурсів, зменшення викидів парникових газів і забезпечення сталого функціонування будівлі.

Таблиця 3

Порівняльна таблиця: українські та європейські норми освітлення

Критерій	Українські норми (ДБН, ДСТУ)	Європейські норми (EN, ІЕС, ISO)
Базовий документ	ДБН В.2.5-28:2018 – Природне і штучне освітлення	EN 12464-1:2021 – Lighting of indoor workplaces
Рівень освітленості (офіс)	≥ 500 лк на робочій поверхні	≥ 500 лк у зоні завдання, ≥ 300 лк у зоні оточення
Рівномірність освітлення	Не нормується чітко	$U_0 \geq 0,6$ у зоні завдання
Індекс передачі кольору (CRI)	Не менше ніж 80	Не менше ніж 80
Блискавість (UGR)	Рекомендовано уникати, без чітких меж	$UGR \leq 19$ для офісів
Колірна температура	Рекомендовано: 3000–4000 К	Визначається функціональним призначенням (2700–6500 К)
Енергоефективність	Враховується під час сертифікації будівель	EN 15193-1:2017 – Energy performance of buildings – Lighting
Автоматизація освітлення	Не обов'язкова, але рекомендована	Рекомендована, інтегрується в BMS
Методика розрахунку	Коефіцієнтний, точковий, Dialux / Relux	Точковий, Dialux/Relux, daylight harvesting



До ключових нормативних документів, що регламентують ці аспекти, належать:

– Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» – передбачає обов'язкове впровадження енергоощадних технологій, зокрема в освітлювальних системах, на етапі проектування та реконструкції об'єктів;

– наказ Мінрегіону № 169 від 2020 року – встановлює методику визначення класу енергоефективності будівель, де освітлення є одним із ключових параметрів оцінки;

– ISO 50001:2018 *Energy Management Systems* – міжнародний стандарт, який рекомендує інтеграцію освітлювальних систем у загальну енергетичну стратегію об'єкта, з акцентом на постійне вдосконалення енергетичних показників.

Методика проектування освітлювальної установки передбачає такі основні етапи:

1. Аналіз об'єкта

Перед початком розрахунків здійснюється збір вихідних даних:

– тип об'єкта: житловий, офісний, промисловий, освітній тощо;

– площа та геометрія приміщень: впливає на кількість світильників і рівномірність освітлення;

– природне освітлення: наявність вікон, світлових прорізів, орієнтація фасадів;

– функційне зонування: робочі зони, коридори, технічні приміщення.

2. Світлотехнічні розрахунки

Здійснюється відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 та ДСТУ EN 12464-1:2016. Основні методи:

– коефіцієнтний метод – для загального освітлення простих приміщень;

– точковий метод – для локального освітлення або складних геометрій;

– програмне моделювання – за допомогою *Dialux*, *Relux*, *Autodesk Revit*.

3. Вибір обладнання

Критерії вибору:

– тип джерела світла: *LED*, люмінесцентні, галогенні;

– світловий потік: відповідність розрахунковим значенням;

– колірна температура: 2700–6500 К залежно від призначення приміщення;

– індекс передачі кольору (*CRI*): не менше ніж 80 для робочих зон;

– ступінь захисту (*IP*): *IP20* для сухих приміщень, *IP65* – для вологих.

4. Побудова електричних схем

У процесі проектування електроосвітлювальної установки розробляється комплекс схем, які забезпечують повне технічне представлення системи освітлення, її функціональну логіку, просторову організацію та способи підключення. До основних типів схем належать [12]:

– схема розташування. Відображає просторове розміщення елементів освітлювальної системи (світильників, датчиків, кабелів, трубопроводів тощо) відносно архітектурних елементів будівлі. За потреби включає позначення зв'язків між компонентами, як-от джгути, кабельні траси або монтажні канали;

– принципова електрична схема освітлювальної мережі. Визначає логіку електричних з'єднань між основними елементами системи: джерелами живлення, світильниками, вимикачами, автоматичними пристроями керування. Схема дає змогу зрозуміти функційну взаємодію компонентів і послідовність їх роботи;

– схема електричних з'єднань шафи керування. Деталізує способи внутрішнього з'єднання елементів у розподільчій або шафі керування. Включає типи з'єднань, маркування проводів, кабелів, джгутів, а також місця їх підключення до відповідних клем, реле, контролерів тощо;

– схема під'єднання. Відображає методи та засоби зовнішнього електричного або механічного приєднання освітлювальної установки до інших систем або джерел живлення. Включає точки підключення, типи роз'ємів, кабельні вводи, заземлення й інші елементи інтерфейсу.



Ці схеми є невід’ємною частиною технічної документації, забезпечують точність монтажу, спрощують обслуговування та дають можливість інтегрувати систему освітлення в загальну інженерну інфраструктуру об’єкта.

5. Інтеграція автоматизації

На етапі проектування освітлювальної установки передбачається впровадження сучасних засобів автоматизації, що забезпечують ефективне, гнучке й енергоощадне керування системою освітлення.

До основних рішень належать:

- встановлення датчиків руху й освітленості – для автоматичного ввімкнення / вимкнення світла залежно від присутності людей та рівня природного освітлення;
- сценарне керування освітленням – налаштування різних режимів роботи (наприклад, «робочий», «нічний», «економний») відповідно до часу доби, подій або потреб користувачів;
- застосування протоколів автоматизації, як-от *DALI*, *KNX*, *Modbus*, що забезпечують інтеграцію освітлювальної системи з іншими інженерними мережами та дають змогу централізоване керування, моніторинг і діагностику.

Така методика проектування освітлювальної установки дає можливість системно й ефективно реалізувати освітлення відповідно до технічних, естетичних і енергоефективних вимог.

Висновки. Процес створення електричних схем освітлення є складним і багатогранним технічним завданням, що потребує глибоких інженерних знань, точного дотримання нормативних вимог і впровадження сучасних технологічних рішень. Ефективне проектування передбачає не лише забезпечення оптимального рівня освітленості, а й досягнення високих показників енергоефективності, безпеки та комфорту для користувачів. Такий комплексний підхід відповідає актуальним тенденціям розвитку інженерної інфраструктури та сприяє створенню надійних, адаптивних і довговічних систем освітлення.

Список використаних джерел

1. Тоценко В. О., Сарибоба Г. В., Бевза О. М. Автоматична система освітлення території підприємства. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2020. № 3–4. С. 28–33. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/54161/1/EAI2020_3-4_28-33.pdf
2. Кислиця Д. В., Грищенко А. В., Кислиця О. В. Перспективи розвитку систем автоматичного керування освітленням на основі HCL. *Сучасні напрями розвитку науки*. 2023. № 2. С. 45–52. URL: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/3509>
3. Третьякова Л. Д., Мітюк Л. О., Качинська Н. Ф. Розумні технології у проектуванні систем електричного освітлення. *Art&Design*. 2024. № 1. С. 147–160. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/26505/1/artdes_2024_N1_P147-160.pdf
4. Плешков П. Г., Орлович А. Ю., Серебренніков С. В. та ін. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів : навчальний посібник. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 246 с.
5. Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Ковальов О. О. Використання інформаційних технологій як ефективного засобу вивчення дисципліни «Основи проектування систем електрифікації». Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти : збірник науково-методичних праць ТДАТУ. 2023. Вип. 26. С. 37–46. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/16841>
6. Постол Ю. О., Гулевський В. Б. Цифрові технології управління сільським господарством. Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Запоріжжя, 8 листопада 2023 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 92–95. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/17175>
7. ДБН В.2.5-28:2018. *Природне і штучне освітлення*. Київ : Мінрегіон України. 2018. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2
8. ДСТУ EN 12464-1:2016. (2016). *Світло та освітлення. Освітлення робочих місць у приміщеннях*. Київ : ДП «УкрНДНЦ». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71838



9. EN 15193-1:2017. *Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting*. Brussels : CEN. 2017. URL: https://www.cencenelec.eu/standards/EN-15193-1_2017_1
10. ISO 50001:2018. (2018). *Energy management systems – Requirements with guidance for use*. Geneva : International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/standard/69426.html>
11. IEC 60364. (2020). *Low-voltage electrical installations*. Geneva : International Electrotechnical Commission. URL: <https://www.iec.ch/standard/60364>
12. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять / Я. Юзьків (керівн. розроб.). Вид. офіц. [Чинний від 2003-12-08]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. III, 51 с. (Національний стандарт України).

Стаття надійшла до редакції 25.10.2025

Стаття прийнята 12.11.2025

Статтю опубліковано 22.12.2025



V. Hulevskyi, Yu. Postol, K. Petrenko
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

DESIGN OF SMART AND ENERGY-EFFICIENT LIGHTING SOLUTIONS

Summary

This article presents a methodology for designing electrical lighting circuits that aligns with modern requirements for energy efficiency, automation, and digital integration. A structured approach is proposed, combining lighting engineering calculations, electrical modeling, and energy management principles. The findings support the transition to intelligent lighting systems as an effective means of enhancing both energy performance and the functional capabilities of buildings.

Keywords: electrical lighting circuits, lighting automation, engineering systems design, energy-efficient lighting, energy audit, energy management.