

## АРХІТЕКТУРА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІОТ-ПЛАТФОРМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ШТУЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ БУДІВЕЛЬ

*Вовк А.О.* – гр. МгЕМ-1-24, [foksivity@gmail.com](mailto:foksivity@gmail.com)

*Романюк Є.О.* – к.т.н., доцент, [romanyuk.yo@knutd.edu.ua](mailto:romanyuk.yo@knutd.edu.ua)

*Демішонкова С.А.* – к.т.н., доцент, [demishonkova.sa@knutd.edu.ua](mailto:demishonkova.sa@knutd.edu.ua)

*Київський національний університет технологій та дизайну*

**Метою роботи** є проектування та оптимізація енергоефективної системи управління світлодіодним освітленням з інтеграцією технологій Інтернету речей (IoT), датчиків руху та освітленості, хмарної аналітики для підвищення зручності користувачів та економії енергії у сучасних будівлях.

**Актуальність роботи.** Дослідження зумовлена стрімким впровадженням концепції Smart Building та зростанням запитів на енергоефективність. За даними досліджень, системи освітлення споживають до 20-40% електроенергії будівель, тому їхня оптимізація є критично важливою. Використання IoT у світлодіодному (LED) освітленні дозволяє скорочувати енергоспоживання на 25–50% порівняно з традиційними системами завдяки адаптивному керуванню яскравістю на основі реальних умов експлуатації [1, 2, 3].

Сучасні IoT-системи LED-освітлення включають датчики присутності (PIR), датчики освітленості, бездротові протоколи передачі даних (Zigbee, LoRa, Wi-Fi) та платформи хмарної аналітики. Попередні дослідження КНУТД показали ефективність використання датчиків руху для керування світлодіодним освітленням у гуртожитках та прикладне застосування LED-техніки для складних геометричних конфігурацій [4, 5].

Розроблена система базується на багаторівневій архітектурі (рис. 1), що включає рівень користувацького інтерфейсу, IoT-шлюз, сенсорну мережу, LED-світильники з керуванням, хмарне сховище та модулі безпеки й енергомоніторингу.

Користувацький інтерфейс надає можливість віддаленого керування освітленням через мобільний застосунок або веб-платформу. IoT-шлюз виконує функцію центрального контролера, забезпечуючи передачу команд керування та телеметричних даних між рівнями системи. Інтеграція протоколів Zigbee та Wi-Fi дозволяє створити масштабовану бездротову мережу для комерційних та житлових будівель[4].



*Рисунок 1 – Архітектура системи сучасного штучного освітлення з використанням IoT*

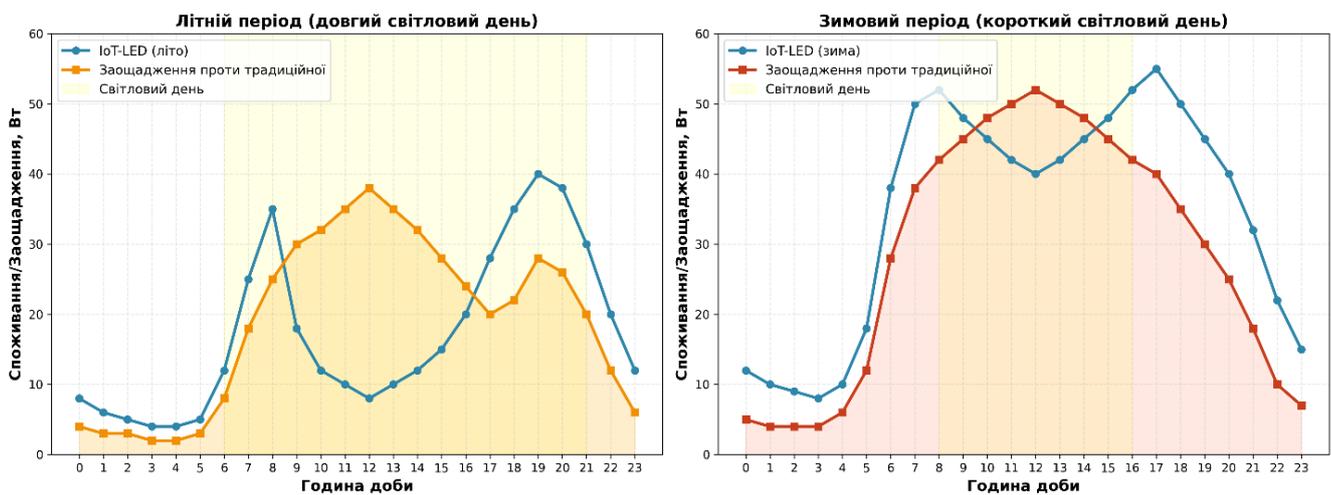
Сенсорна мережа складається з розподілених вузлів, кожен з яких включає датчики руху (PIR), датчики освітленості та мікроконтролер для локальної обробки даних. Дослідження показують, що PIR-сенсори здатні виявляти присутність людей у радіусі до 10 метрів з точністю до 96%, що забезпечує ефективне автоматичне керування освітленням. LED-світильники обладнані драйверами з підтримкою PWM-димування, що дозволяє плавно регулювати яскравість від 0% до 100% залежно від умов навколишнього середовища [5].

Ключовою перевагою IoT-системи є динамічне керування освітленням на основі реальних умов експлуатації з урахуванням сезонних варіацій тривалості світлового дня. Алгоритм керування враховує три основні параметри: присутність людей у зоні, рівень природного освітлення та час доби. Згідно з експериментальними даними, використання датчиків присутності дозволяє зменшити час роботи освітлення на 30-40% у приміщеннях з нерегулярним використанням (коридори, санвузли, складські приміщення).

Таблиця 1 – Опис функціональних модулів IoT-системи LED-освітлення

Модуль	Функції
Інтерфейс користувача	Віддалене керування, налаштування сценаріїв освітлення, контроль увімкнення/вимкнення та яскравості через мобільний додаток або веб-панель
IoT-шлюз	Передача команд керування та телеметрії між рівнями системи, інтеграція протоколів Zigbee/Wi-Fi, координація роботи сенсорних вузлів
Сенсорна мережа	Збір даних від датчиків присутності та освітленості, бездротова передача інформації до шлюзу, масштабування через mesh-топологію
LED-світильники	Дистанційне вмикання/вимикання, PWM-димування (0-100%), контроль енергоспоживання, адаптація кольорової температури (2700K-6500K)
Сенсори руху/освітленості	Виявлення присутності людей (PIR-датчики), вимірювання рівня природного освітлення (фотодатчики), автоматична адаптація режимів роботи
Хмарна аналітика/сховище	Збір та зберігання історичних даних експлуатації, статистичний аналіз, машинне навчання для прогнозування споживання та оптимізації
Модуль енергомоніторингу	Вимірювання миттєвого та накопиченого споживання електроенергії по зонах освітлення, формування звітів, аналіз витрат
Модуль безпеки	Шифрування даних (AES-256), автентифікація користувачів та пристроїв, захист від несанкціонованого доступу до мережевої інфраструктури

Графік на рисунку 2 демонструє принципові відмінності у режимах роботи системи протягом року для офісної будівлі площею 500 м<sup>2</sup>. У літній період тривалість світлового дня становить 15 годин (6:00-21:00). У денний час (9:00-17:00) система працює в режимі мінімального споживання (8-15 Вт) завдяки інтеграції датчиків освітленості, які автоматично знижують яскравість LED-світильників при достатньому рівні природного світла. Максимальне споживання спостерігається у ранковий (7:00-8:00) та вечірній (19:00-21:00) періоди при приході/відході працівників. Середнє добове споживання у літній період становить 18-20 Вт/год, що забезпечує економію до 38 Вт/год порівняно з традиційною системою освітлення без адаптивного керування. У зимовий період тривалість світлового дня скорочується до 8 годин (8:00-16:00), що суттєво збільшує потребу у штучному освітленні. Система демонструє два піки споживання: ранковий (7:00-9:00) з показниками 50-52 Вт при недостатньому природному освітленні, та вечірній (16:00-19:00) з максимумом 52-55 Вт при повній темряві та продовженні робочого часу. У денний час (10:00-15:00) споживання підтримується на рівні 40-48 Вт через часткове використання природного освітлення біля вікон. Середнє добове споживання взимку становить 32-35 Вт/год, що все одно забезпечує економію до 52 Вт/год завдяки датчикам руху у порожніх приміщеннях.



*Рисунок 2 – Порівняння добового споживання енергії IoT-системи LED-освітлення у літній та зимовий періоди*

Порівняльний аналіз показує, що річна економія енергії становить близько 40-45%, причому максимальний ефект досягається у літній період завдяки оптимальному використанню природного освітлення. Ці результати узгоджуються з даними досліджень впровадження IoT-освітлення у складських та офісних приміщеннях.

Для забезпечення надійної передачі даних система використовує комбінацію протоколів Zigbee та LoRa. Zigbee забезпечує локальну mesh-мережу між сенсорними вузлами та IoT-шлюзом із дальністю передачі до 100 метрів у приміщеннях. Протокол LoRa використовується для зв'язку між поверхами багатоповерхових будівель, забезпечуючи дальність до 2 км при низькому енергоспоживанні (15-20 мА у режимі передачі). Така гібридна архітектура дозволяє створювати масштабовані системи для будівель різної конфігурації без необхідності прокладання додаткових кабельних ліній.

Система підтримує до 250 сенсорних вузлів на один IoT-шлюз, що достатньо для обслуговування офісної будівлі площею до 3000 м<sup>2</sup>. Mesh-топология Zigbee-мережі забезпечує самовідновлення при виході з ладу окремих вузлів, підвищуючи загальну надійність системи.

**Висновок.** Розроблена система сучасного штучного освітлення з використанням IoT демонструє значний потенціал для підвищення енергоефективності будівель з урахуванням сезонних варіацій. Інтеграція датчиків руху та освітленості, бездротових протоколів передачі даних та хмарної аналітики дозволяє досягти економії електроенергії до 38-52 Вт/год (40-45% річної економії) порівняно з традиційними системами освітлення. Запропонована багаторівнева архітектура забезпечує масштабованість,

надійність та зручність керування, що робить систему придатною для впровадження у житлових, комерційних та промислових об'єктах. Подальші дослідження будуть зосереджені на інтеграції алгоритмів машинного навчання для прогнозування патернів використання освітлення та додаткової оптимізації енергоспоживання.

#### Список використаних джерел:

1. Smart Street Light Management System Using IoT for Enhanced Energy Efficiency and Control / A. Kumar, S. Sharma. IEEE, 2024. DOI: 10.1109/IC3IoT60841.2024.10468028
2. IoT-Driven Energy Savings in Warehouses Cloud-Integrated Lighting Management / R. Patel, M. Johnson. IEEE, 2024. DOI: 10.1109/ICCES60529.2024.10533577
3. Intelligent Lighting System Controlled by IoT / M. Novak, P. Kowalski. IEEE, 2024. DOI: 10.1109/AEESA62739.2024.10794966
4. Пилипенко В. І., Коньков Г. І., Павленко В. М. Розроблення системи управління освітленням на світлодіодах для заощадження електроенергії в гуртожитку блочного типу // Вісник КНУТД. Серія "Технічні науки". – 2015. – №5 (90). – С. 130-134.
5. Прохоренко К. І., Павленко В. М. Застосування світлодіодної техніки для підсвічування виставкових зразків складної геометричної конфігурації // Електромеханічні та інформаційні системи: матеріали конф. КНУТД, 2020. – С. 139-140.