УДК 004

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ СВІТЛОТЕХНІЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Романчук Д.С.[1]; Шибаєв Д.С.[2]
[1]Міжрегіональна академія управління персоналом
[2]Приватний фаховий навчальний заклад Одеський коледж комп'ютерних технологій та дизайну «Сервер»
[1]Україна, Київ; [2]Україна, Одеса
shybaiev.ds@server.odessa.ua

Анотація. *У роботі розглянуто проблематику автоматизації процесів проєктування освітлення приміщень, що враховує нормативні, психологічні та енергоефективні аспекти. Запропоновано концепцію створення інформаційної системи, яка виконує розрахунки освітленості, підбір світильників та моделювання сценаріїв освітлення на основі алгоритмів геометричного аналізу й статистичної оптимізації. Описано архітектуру цільового рішення, його алгоритмічні принципи та перспективи практичного застосування у сфері архітектурного проєктування та енергоменеджменту.*

Ключові слова: *освітлення; інформаційна система; енергоефективність; моделювання; проєктування.*

Вступна частина. Якісне освітлення приміщень є одним із ключових чинників формування безпечного, комфортного та функціонального простору. Рівень освітленості впливає не лише на зорове навантаження, а й на психоемоційний стан людини, продуктивність праці та сприйняття архітектурного середовища. У контексті сучасних тенденцій енергоощадності та цифровізації архітектурного проєктування зростає потреба у використанні спеціалізованих інформаційних систем, які забезпечують точний розрахунок параметрів освітлення, моделювання світлового середовища та автоматизований підбір обладнання відповідно до нормативів [1,2].

Існуючі програмні продукти, що застосовуються у сфері світлотехнічного розрахунку, зокрема Dialux або Relux, є переважно закритими, орієнтованими на промислове використання й не дозволяють інтегрувати моделі освітлення з іншими проєктними системами чи адаптувати алгоритми під конкретні завдання користувача. Для освітнього, наукового й малобюджетного секторів актуальним стає створення відкритої, гнучкої та інтелектуально орієнтованої інформаційної системи, яка враховує фізичні, фізіологічні й архітектурні фактори під час розроблення світлових рішень [3,4].

В умовах переходу до «розумного» будівництва система автоматизованого проєктування освітлення може стати складовою більшої цифрової екосистеми, що об'єднує енергетичний моніторинг, контроль мікроклімату й управління ресурсами будівлі. Саме тому розробка сучасної інформаційної системи проєктування освітлення є не лише технічною, а й соціально-економічною потребою.

Метою дослідження є розробка концепції та архітектури інформаційної системи для автоматизації процесу проєктування освітлення, що забезпечує точні світлотехнічні розрахунки, враховує вимоги нормативних документів, енергетичну ефективність і психологічні аспекти світлового середовища. Завдання полягає у створенні алгоритмів моделювання освітленості на основі просторових характеристик приміщення, розробці бази даних світильників і формуванні інтерфейсу для інтерактивного підбору варіантів освітлення.

Основна частина. Освітлення безпосередньо впливає на фізичний та психологічний стан людини. Відхилення від рекомендованих норм може викликати підвищену втому, погіршення зору, безсоння або депресивні стани. Відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018,

параметри освітленості мають відповідати типу приміщення, його призначенню та рівню зорових завдань. Однак на практиці проектанти часто стикаються з труднощами точного розрахунку освітленості при складних геометріях приміщень чи комбінованих джерелах світла.

Крім того, сучасне проектування потребує врахування психологічного сприйняття кольору та динаміки світла. Теплі відтінки сприяють відпочинку, холодні — концентрації, а зміна інтенсивності протягом доби впливає на циркадні ритми людини. Врахування таких параметрів вручну є складним і потребує значних аналітичних ресурсів, що обґрунтовує необхідність автоматизації розрахунків.

Ще одним ключовим аспектом є енергоефективність. Системи освітлення споживають до 20 % загальної електроенергії будівель, а правильне планування та вибір світильників можуть скоротити споживання до 70–80 %. Це робить аналітичні модулі енергетичної оптимізації обов'язковим елементом сучасної системи проектування.

Розроблювана інформаційна система поєднує засоби геометричного моделювання, аналітичного розрахунку освітленості та інтелектуальної оптимізації. Її архітектура складається з п'яти логічних рівнів: вхідних даних, аналітичного ядра, бази параметрів освітлення, візуалізації результатів і рекомендаційного модуля.

Вхідні дані включають геометрію приміщення, характеристики поверхонь, типи світильників, коефіцієнти відбиття та вимоги до рівня освітленості. На цьому етапі використовується параметричний підхід до опису простору. Приміщення подається у вигляді тривимірної сітки з координатами точок контролю освітленості.

Аналітичне ядро системи виконує обчислення за формулою світлового потоку, яка визначає освітленість точки як суму прямих і відбитих складових. Для цього застосовуються методи лінійної алгебри та векторного аналізу, що дозволяють враховувати напрямок, кут падіння та інтенсивність світлового потоку. Розрахунок базується на принципі зворотного трасування світла, аналогічному методу *ray tracing* у комп'ютерній графіці.

Для оптимізації кількості світильників і їхнього розміщення використовується алгоритм генетичної оптимізації, який ітераційно добирає комбінації параметрів для досягнення цільових рівнів освітленості з мінімальним споживанням енергії. У межах кожної ітерації виконується оцінка функції пристосованості, що включає середньоквадратичне відхилення фактичної освітленості від нормативної, загальну потужність системи та рівномірність розподілу світла.

Система також реалізує модуль сценарного освітлення. Він використовує часову шкалу доби для динамічної зміни колірної температури, яскравості та CRI (індексу передачі кольору) відповідно до режиму «робота», «відпочинок» чи «вечір». Алгоритм сценаріїв базується на часових функціях, що моделюють природні зміни сонячного освітлення.

У базі даних системи зберігаються технічні характеристики світильників: світловий потік, кут розсіювання, потужність, CRI, колірна температура, ефективність. Користувач може додавати власні позиції або використовувати стандартні бібліотеки виробників.

На рівні реалізації система побудована за веб-архітектурою з використанням стеку Python (Flask) для серверної частини, PostgreSQL для зберігання даних і JavaScript-фреймворку React для клієнтського інтерфейсу. Візуалізація 3D-моделей приміщень і розподілу освітленості здійснюється за допомогою бібліотеки Three.js. Це дозволяє користувачеві інтерактивно переглядати результати розрахунку, змінювати параметри та одразу бачити вплив на світлове середовище.

Алгоритмічна частина системи побудована модульно. Базовий модуль виконує геометричний розрахунок освітленості за методом рівних сіток. Додатковий модуль машинного навчання формує прогнозну модель ефективності світильників на основі історичних даних про їхню експлуатацію. Застосування методу градієнтного спуску дозволяє знаходити мінімальні значення енергоспоживання при заданій освітленості, що підвищує загальну ефективність проєктних рішень.

Таким чином, система інтегрує три напрями: фізичне моделювання світла, енергетичну оптимізацію та психологічну адаптацію освітлення, що забезпечує комплексність проєктування.

Розроблена концепція має практичне значення для архітекторів, дизайнерів і енергоменеджерів. Система дозволяє автоматизувати процеси, які традиційно виконуються вручну або з використанням розрізнених програмних інструментів. Вона може бути інтегрована у BIM-платформи, забезпечуючи взаємодію з архітектурними моделями.

Застосування алгоритмів оптимізації дозволяє проектантам порівнювати варіанти освітлення не лише за рівнем освітленості, а й за енерговитратами. Для навчальних закладів така система має цінність як дидактичний засіб для демонстрації принципів світлотехнічних розрахунків та енергоефективного проєктування.

У перспективі передбачається впровадження нейромережевих моделей, здатних прогнозувати комфортність освітлення за суб'єктивними оцінками користувачів, що дасть змогу переходити від суто технічного до когнітивно-адаптивного підходу у проєктуванні.

Висновки. Проведене дослідження показало, що інформаційна система проєктування освітлення може суттєво підвищити точність, швидкість і якість прийняття рішень у сфері архітектурного та технічного проєктування. Вона здатна автоматизувати розрахунки, враховувати норми освітленості, забезпечувати енергоефективність і адаптувати світлове середовище до потреб користувача.

Запропонована концепція поєднує алгоритмічну точність з аналітичними можливостями сучасних інформаційних технологій. Її реалізація сприятиме підвищенню рівня цифрової компетентності фахівців, розвитку інтелектуальних інженерних систем і формуванню комфортного середовища життєдіяльності людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Boychuk, M. (2022). *Data-driven energy management systems*. Springer.
[2] Gielen, D., & Boshell, F. (2020). *The role of renewables in energy efficiency*. IRENA.
[3] International Energy Agency. (2023). *Energy efficiency 2023: Analysis and outlooks to 2030*. Paris: International Energy Agency.
[4] Zhang, G., & Eddy, P. (2021). Forecasting electricity consumption with LSTM neural networks. *Energy Reports, 7*, 1234–1245.

Romanchuk D.S.[1], Shybaev D.S.[2]

Modern approaches to automation of lighting design based on information systems

Annotation. *The paper examines the problem of automating lighting design processes that consider regulatory, psychological, and energy-efficient aspects. A concept of an information system is proposed that performs illumination calculations, luminaire selection, and lighting scenario modeling using algorithms of geometric analysis and statistical optimization. The architecture, algorithmic foundations, and practical implementation perspectives in architectural design and energy management are described.*

Keywords: lighting; information system; energy efficiency; modeling; design.