

УДК 7.012:004.6

¹ХОПЕРСЬКИЙ С. В., ²КУЗЬМЕНКО В. В.,²ОСТАПЕНКО Н.В., ³ЧУМАЧЕНКО С. М., ²РЕЗНИКОВ Є.В.¹Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Україна²Київський національний університет технологій та дизайну, Україна³Національний університет харчових технологій, Україна

DOI:10.30857/2617-0272.2022.4.10.

**ЕКОДИЗАЙН СВІТЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА СУЧАСНОГО МІСТА:
ФОРМУВАННЯ ПІДХОДІВ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ
ВИМІРЮВАНЬ ОСВІТЛЕННЯ МІСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ**

Метою дослідження є визначення відповідності існуючих методів оцінювання проєктів зовнішнього освітлення структур міської забудові показнику освітленості за державними будівельними нормами (ДБН) сучасним вимогам екодизайну світлового середовища міста.

Методологія. Методологічною основою дослідження є комплексний підхід: застосовано загальнонаукові порівняльний, аналітичний, системно-інформаційний, експертний методи як інтеграцію можливостей впровадження перспективних інноваційних технологій для якісної оцінки змін у освітленні рекреаційних середовищ сучасних міст. Використано основні положення системного підходу – контент-аналіз, методи моделювання дизайн-об'єктів промислового призначення.

Результати. Проведено аналіз стандартизованих методів визначення освітленості як нормованого показника якості освітлення елементів міської забудови (вулиць, скверів, площ тощо). На основі аналізу виконано зіставлення та представлено можливості поєднання нормативних показників, що вимірюються, до вимог екодизайну сучасного світлового середовища міста (за показниками енергоефективності, комфорту та безпеки; створено порівняльні таблиці відповідно до визначених показників). Встановлено недоліки існуючої методики вимірів освітлення та сформульовано основні результати аналізу: висока трудомісткість, обмежена кількість об'єктів/ділянок обстеження; недостатній масив вихідних даних для проектування освітлення об'єктів. Створено алгоритм, виконано моделювання та запропоновано промислове обладнання для автоматизації процесу отримання необхідної та достатньої кількості фактичних даних як характеристик світлового середовища.

Наукова новизна. Обґрунтовано доцільність удосконалення методики збору вихідних даних для вирішення проєктних завдань. Запропоновано варіант застосування розробленого апаратно-програмного комплексу, що дозволить автоматизувати елементи системи у процесі збору первинних даних для моделювання рівнів освітлення міських об'єктів. Теоретичні дослідження базуються на методах роботи експертних груп та регламентом Комісії (ЄС) №2019/2020. Проведено аналіз наслідків застосування сучасних вимог екодизайну до результатів аудиту систем зовнішнього освітлення.

Практична значущість. Проведений обсяг наукових досліджень і практичних робіт з визначення рівня освітленості вулиць дозволив запропонувати нові підходи до формування та розробки комплексу заходів та методології збору вихідних даних для вирішення завдань проектування.

Ключові слова: промисловий дизайн; екодизайн; освітлення міста; апаратно-програмний комплекс; мікроконтролери.

Вступ. В теперішній час європейські країни цікавлять екологічний дизайн урбаністичного середовища, що містить у собі: економічні характеристики джерел освітлення, екологічні властивості (безпеку для людини, можливість переробки), вплив освітлення на здоров'я та психіку людини. Цей підхід спрямований не лише на примітивну економію коштів на освітлення, а й в цілому, на доцільність використання нових систем для комфортного життя людини.

Сучасні екологічні нормативи до урбаністичного середовища значною мірою залежать від експертного аналізу – більш, ніж від об'єктивних показників. Нині в Україні працює невелика кількість експертних груп. Для збору даних освітлення міста вони використовують наземну групу, роботу якої часто можна доручити й дронам. Це дозволить зробити моделювання освітленості вулиць міста більш об'єктивним.

Моделювання рівня освітленості вулиць та інших соціально значущих територій у містах можна розподілити за ієрархією об'єктів, що потребує екологічного підходу до проєктування та експлуатації систем – від найпростішого та найбільш доступного для аналізу вуличного світильника, характеристики якого виміряні лабораторно, до надскладної для моделювання системи освітлення міста у цілому. Це містить у собі величезну кількість об'єктивних і суб'єктивних чинників, які разом визначають комфорт та безпеку системи як найголовніших складових екодизайну. У загальне поняття комфорту та естетичного сприйняття якості освітлення у місті (окрім об'єктивних показників, які частково викладені у ДБН), входить також значна частина суб'єктивних показників. До них, наприклад, відносяться архітектурна доцільність, відповідність історично сформованому вигляду міста тощо, які можуть оцінюватися тільки комплексно та на базі візуального оцінювання фізичних розмірів і особливостей дизайну окремих елементів.

До останнього часу завданням проєктування та проведення реновації (або

встановлення нових сучасних систем) вуличного і декоративного зовнішнього освітлення міст, реалізовувалось на основі двох основних критеріїв:

– енергоефективністю (коефіцієнтом світловіддачі джерел освітлення разом з оптимальними параметрами світлової плями, так званим ефективним світловим потоком, що визначається за функцією приладу освітлення), а також включеного до цього поняття терміну гарантованої експлуатації (разом з деякими іншими другорядними показниками, що називається «ціною володіння» – економічним показником, що є еквівалентом ефективності заміни одного приладу на інший);

– збереженням існуючого на поточний момент технічного та загального архітектурного рішення системи зовнішнього освітлення міста загалом (тобто, в рамках відсутності потреби погодження з архітектурним наглядом міста та погодженням з думкою населення).

Крім того, виникла потреба максимального наближення показників апаратного вимірювання світлового потоку за існуючими методами до показників регламентованих у ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення»[8], що значною мірою вже визначені у показнику яскравості освітлення простору навколо та на поверхні об'єкту (у новій методиці вона може вимірюватися безпосередньо, тоді коли раніше вона визначалася перерахунком на базі вимірювання світлового потоку через низку доволі приблизних коефіцієнтів).

Ключовим питанням для передпроектного дослідження та прийняття загального рішення міської влади про реновацію систем освітлення було (практика 2018–2022 рр.) покращення якості освітленості при дотриманні нормативів ДБН за мінімальні кошти. Цей підхід вимагав створення простої моделі, що пов'язує якість освітленості міського об'єкту: вулиця, сквер тощо на реноваційній ділянці з економічним обґрунтуванням та технічною параметризацією нових джерел зовнішнього освітлення (комплекс вартості

освітлення як послуги, що містить вартість джерела світла, його обслуговування та живлення). Ця модель зводилась до матриці витрат на роботи та експлуатацію нової системи «DIALux модель освітленості». При цьому, вхідні параметри для моделювання отримуються простими трудомісткими процедурами фізичного ручного заміру показників освітленості по точках розмітки поверхонь об'єктів (тротуари, площі, проїжджа частина доріг) за допомогою ручного люксметра. Все вищевикладене у комплексі й визначає актуальність дослідження.

Аналіз попередніх досліджень.

Серед останніх за часом вітчизняних наукових розробок, в яких актуалізується проблематика екологічного та нормативного регулювання дизайн-підходів до удосконалення світлового середовища міських об'єктів, а також методології моделювання та вимірювання рівня освітлення міських рекреацій в Україні та країнах ЄС, слід назвати праці таких авторів: В.М. Сорокін [8] у своєму дослідженні описав стан та перспективи розвитку технологій штучного освітлення та стан освітлення міст та стратегічних доріг України на 2018 рік. Ю.П. Мисюк [6] дослідив тему дизайну світлового середовища міста саме з позицій екології. В своїх роботах К. Вега, К. Зелінська-Дабковська, в тому числі у статті [15], розглянули проблему екодизайну з точки зору світлового забруднення міста та його негативного впливу на здоров'я людей та тварин. Екодизайн як явище у предметному середовищі висвітлювали в своїх наукових роботах Н.Я. Крижановська, О.В. Смірнова [5]. А. Хаммад та А. Акбарнежад в статті [11] запропонували математичну модель розташування точок освітлення, на основі розподілу міста на квадрати (grid-based location), що дозволяє економічно розміщувати освітлення (так званий компромісний підхід) в парках та місцях роздрібної торгівлі, де вимоги не є критичними для безпеки. Водночас завдання дизайну і проектування освітлення міст в

нашій країні досі залишається відносно незаповненою дослідницькою лакуною.

Постановка завдання. Саме тому, завдання представленого дослідження полягає у встановленні відповідності існуючих методів оцінювання проектної доцільності рівня зовнішньої освітлюваності структур міської забудови (по ДБН показнику) сучасним вимогам екодизайну світлового середовища міста. Також до завдань дослідження віднесено аналіз роботи експертних груп з метою автоматизації елементів роботи системи визначення вихідних показників для проектування відповідно до мети дослідження.

Результати дослідження та їх обговорення. Відомо, що екодизайн являє собою окремий напрям у дизайні, де ключова увага приділяється захисту навколишнього середовища протягом всього життєвого циклу існування дизайн-систем. У розрахунок в комплексі беруться всі витрати на створення, використання та утилізації виробів системи, витрати та складність заміни її елементів, в нашому дослідженні світлоточки.

Екодизайн, на рівні з очевидними і звичайними вимогами краси, ергономіки, зручності, економіки, особливу увагу приділяє:

– споживанню ресурсів при проектуванні, виготовленні, використанні та утилізації. Запропонована методика спрямована на спрощення та оптимізацію витрат на експлуатацію системи освітлення, оптимізує джерела освітлення (тобто входить у складові екодизайну опосередковано);

– походженню матеріалів. У розрахунок береться безліч аспектів, починаючи з захисту навколишнього середовища виробником (постачальником) і закінчуючи дотриманням прав працівників на підприємствах, коректним ставленням до користувачів тощо. Прикладом можуть слугувати фермерські господарства, де існує сертифікація різного роду, подібна до тієї, яку здійснює Лісова наглядова рада;

– безпеці у використанні виробів, відсутність шкоди здоров'я споживачів (користувачів), зведенню до мінімуму шумів, викидів, шкідливого випромінювання, вібрації тощо. Через максимальне наближення до норм ДБН, методика впливає на показник безпеки користування – Правил Дорожнього Руху;

– простоті і безпеці використання та утилізації, можливості повторного використання матеріалів з мінімальним екологічним збитком.

У статті пропонується розроблена авторська спрощена модель оцінювання взаємозалежності окремих характеристик освітлення. Спрощена матриця-схема відпо-

відності комплексу системи вуличного освітлення міста вимогам сучасного екодизайну наведена у таблиці 1. Сьогодні у практиці використання відсутні зведені або порівняльні таблиці, а також схеми урахування важливості (або порівняння значущості) окремих технічних та естетичних характеристик систем освітлення. У авторській пропозиції матриця-таблиця дозволяє відобразити, яким чином різні елементи системи на різних рівнях інтеграції проходять оцінювання (можна вважати це дослідженням на відповідність комплексним вимогам системи).

Таблиця 1

Матриця екодизайну міського середовища – схема відповідності вимогам та методи аналізу

Характеристика системного об'єкта	Вуличний світильник (світлодіодний)	Вулична світлоточка – сукупність світильника, стовпа або підвісу, а також місця встановлення	Функціональна світлоточка (світильник, пристрій кріплення) + у конкретному місці розташування. архітектурне або технічне завдання – вулиця, сквер, площа, архітектурний об'єкт підсвічування	Об'єкт освітлення – вулиця, сквер, парк, площа, об'єкт (район частина міста, цільовий комплекс – житлова\ пром. зона), включаючи сукупність світлоточок та його архітектурну і соціальне завдання
1	2	3	4	5
Засоби опису та нормування	Технічні умови виробника, сертифікат відповідності, стандарти, ДБН (у т.ч. параметрів приладу)	Технічні регламенти, стандарти, ДБН. Конструкторська будівельна документація цільових проєктів	Проєктна документація. Технічні та будівельні нормативи. ДБН, документи технічного та будівельного нагляду. Вимоги безпеки експлуатації у межах правил дорожнього руху. Містобудівельні документи	Те саме, що й вище, але в узагальненому вигляді
Методи вимірювань та верифікації	Заводські випробування. Лабораторні дослідження, у т.ч. сертифікованих лабораторій	Проєкти, проєктна та будівельна експертиза. Технічні та будівельні випробування, тех. прийом замовником	Набір експертиз у рамках прийому та здачі робіт, об'єктів. Висновки комунальних організацій під час приймання в експлуатацію	Набір експертиз у рамках прийому та здачі робіт, об'єктів. Укладання комунальних організацій під час приймання цілісних об'єктів в експлуатацію. Процедури пов'язані з архітектурними рішеннями та думкою (комфортом) населення
Точність, системність та об'єктивність вимірювань	Точність у межах можливостей заводського та лабораторного обладнання	Точність та об'єктивність у межах можливостей наглядових організацій та експертних груп залучених ними		Матеріали комплексних експертиз та випробувань елементів об'єктів – інтерполяція та експертні процедури. Натурні виміри оптичного

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
			та загального характеру (лінійні розміри, описи об'єктів та їх призначення)	та загального характеру (лінійні розміри, описи об'єктів та їх призначення). Методи об'єктивізації на основі фото- і відеофіксації параметрів роботи систем
Методи зниження трудомісткості аналізу, на предмет взаємодії із зовнішнім середовищем (Екоди-зайн) підвищення об'єктивності	Отримання IES-файлів для програм, що моделюють рівні освітлення) Програми тематичного моделювання	Трудомісткість висока – можливості контролю відповідності обмежені можливостями проєктних/експертних організацій та їх досвіду й оснащення	Висока міра трудомісткості з урахуванням множинності та варіантів об'єктів. Моделювання безлічі об'єктів за допомогою спец. Програм DIALux та інші професійні моделюючі програми. Точність та об'єктивність досить умовна	Висока дорожнеча та великий обсяг експертних робіт. Умовна об'єктивність за допомогою фото та відеофіксації. Можливе підвищення точності та зниження трудомісткості за рахунок застосування методів ДЗЗ, дронів, стаціонарних муніципальних камер оптичного стеження

Наведена схема надає можливість виявити зв'язок проведених конкретних вимірювань з кінцевим результатом експертного висновку про прогнозовану якість системи на стадії аудиту (для формування передпроектного завдання на реконструкцію/реновацію) з високим ступенем достовірності та точності. Протягом 2021 року такий метод (матриця – таблиця) використовувався при погодженні технічного завдання на аудит старих систем зовнішнього освітлення восьми обласних та районних міст України, а також при захисті результатів конкурсів на фінансування робіт по реконструкції існуючих систем зовнішнього освітлення (м. Хмельницький, м. Славутич, Київська область).

Проведені на цієї основі роботи допомогли визначити можливість спрощення та автоматизації робіт (зокрема вимірювання освітленості поверхні доріг та інших міських об'єктів застосування зовнішнього освітлення). До цього часу таке вимірювання виконується за допомогою ручного люксметра по точкам умовної геофізичної сітки, нанесеної на поверхню об'єкту. Як зазначено вище, ця процедура складна, надає результати невисокої точності, тому може

застосовуватись лише до окремих, невеликих частин дизайн-об'єкту. В табл. 1 детально представлено ієрархію об'єктів екодизайну міського середовища. Оскільки перший об'єкт ієрархії (світильник) досліджується лабораторно (в тому числі задля визначення відповідності технічним умовам (ТУ) та порівняння з іншими вимогами – присвоєння, так званого IES файлу, а другий (світильник, пристрій кріплення) моделюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (програма працює з іміджами (3D-зображення) на базі генерування ідеальних IES файлів за наданими параметрами простору), до лабораторних даних світильника додають дані про пристрій кріплення (висота, кут закріплення консолі, рефлектор), а робота експертних груп починається з функціональної світлоточки. Через наявність безлічі джерел світла, таких як рекламні щити, світло з будинків та офісів, математична модель децю відрізняється від реальних показників освітлення. Наземні групи розподіляють вулиці по схожих архітектурних характеристиках та проводять дослідження на кількох типових вулицях. Вулиця (або її ділянка) розподіляється на

квадрати та проводиться вимірювання рівня освітленості. Оскільки виміри та запис даних виконують вручну – на трудомісткій процес витрачається велика кількість часу. Завдяки

розвитку технологій та здешевленню апаратних частин запропонованої системи, відкривається можливість автоматизації процесу.

Резюме (по EN 13201:2015)

Результаты для полей оценки

	Размер	Рассчитано	Заданное	Проверить
Проезжая часть 3 (M4)	L ₀₉	0.38 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✗
	U _e	0.44	≥ 0.40	✓
	U _i	0.34	≥ 0.60	✗
	TI	13 %	≤ 15 %	✓
	R _{BI}	0.62	≥ 0.30	✓

Инсталляция выполнена в предположении фактора стабильности 0.67.

Результаты для показателей энергоэффективности

	Размер	Рассчитано	Потребление
Садова	D ₀	0.037 Wlx ² /m ²	-
собра 100W 85-245V (односторонне вверху)	D _e	1.0 кВт·ч/м ² год	400.0 кВт·ч/год

Рис. 1. Резюме моделювання рівня освітленості вулиці в програмі DIALux

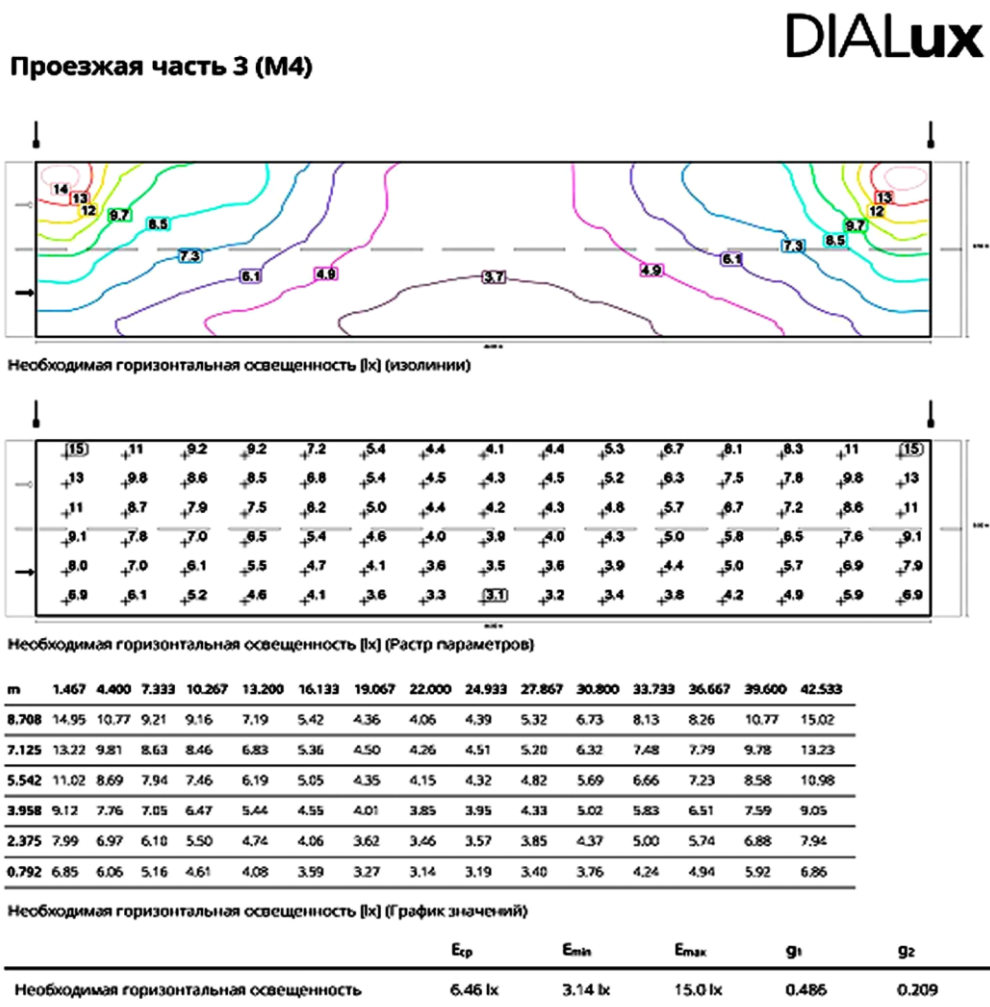


Рис. 2. Лист моделювання рівня освітленості вулиці в програмі DIALux



Рис. 3. Фотофіксація рівня освітленості

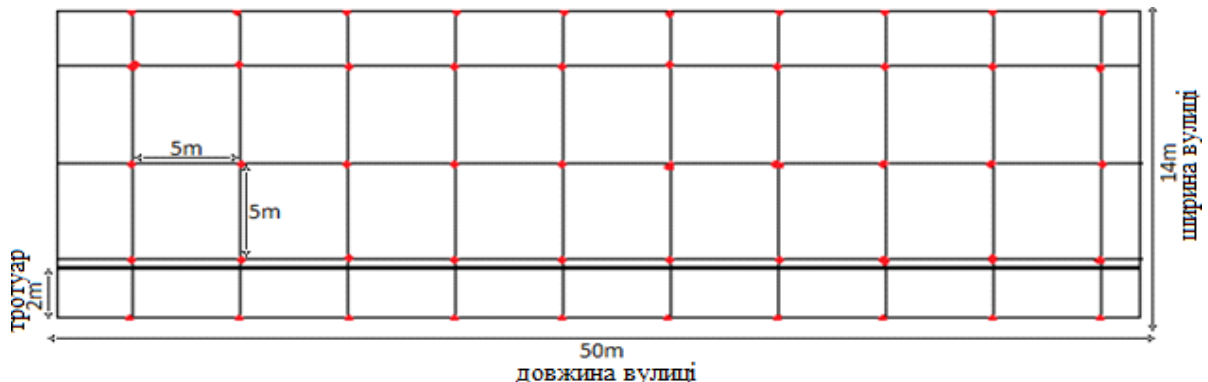


Рис. 4. Матриця вимірів наземних груп

З іншої сторони, аналіз сучасного стану зовнішнього освітлення в країні, за невеликим винятком, вказує на незадовільний стан для великих міст і майже критичний для районних центрів і селищ. Близько 90% вуличних світильників не відповідає сучасним вимогам та нормативам [8]. Через низьку ефективність світильників і джерел світла, що в них встановлені, питома вага витрат електроенергії на освітлення в Україні в 1,7 разів перевищує показник розвинених країн. Основними причинами такого стану є [8]:

- експлуатація старих, фізично зношених світильників, в яких характеристики відбивачів і розсіювачів значно знизилась, коефіцієнт корисної дії зменшився до 25–40%;
- використання в світильниках мало-ефективних джерел світла;

– експлуатація світильників з нераціональним розподілом світла;

– невиконання періодичних заходів по забезпеченню належного світлотехнічного стану засобів освітлення.

На рис. 1, рис. 2 представлено моделювання освітленості вулиць за допомогою програми DIALux. [8]. Вихідні дані для побудови моделі візуального сприйняття результатів покращення освітлення, обиралися від моделі DIALUX (різниця у освітленні «До (рис. 3а) і Після (рис. 3б) реновації (проект)» та вводилися як коефіцієнт побудови нової моделі через Adobe Photoshop. Результат такого моделювання є дуже приблизним і потребує уточнення. Робота наземних експертних груп передбачає вимірювання рівня освітлення обраної ділянки типової вулиці та передбачає величезну кількість замірів. Мат-

риця (рис. 4) з точками для виміру будується на основі квадратів 5м x 5м та на важливих точках (повороти, пішохідні переходи, перехрестя та ін.) проїзної частини та тротуару. Оскільки для вимірювання потрібно пересуватись між точками, використовувати ручні люксметри та вручну записувати результати,

процес визначається як економічно недоцільний. Для розробки PoC (Proof of concept) апаратно-програмного комплексу було обрано платформу Arduino через простоту розробки апаратної (доступність широкого спектру модулів) та програмної частини (Open Source бібліотеки для IDE).

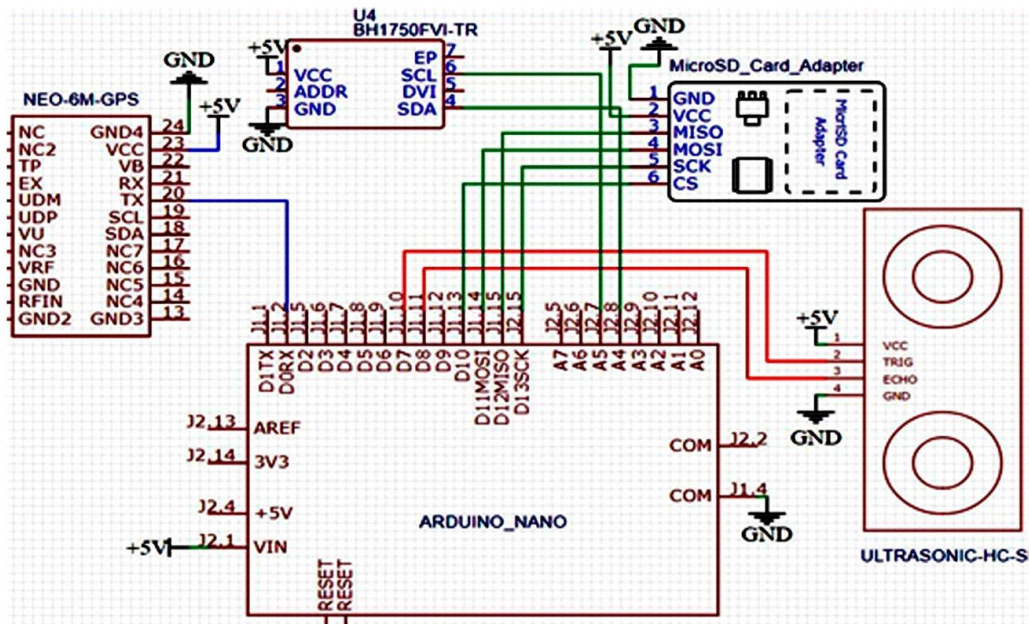


Рис. 5. Принципова електрична схема модуля для збору даних рівня освітленості вулиць



Рис. 6. Приклад heatmap: візуалізація рівня освітленості вулиці (у відносних показниках)

Для визначення рівня освітленості дорожнього покриття можна використовувати наземні дрони з люксометром, оскільки висота для вимірювання освітленості дорожнього полотна не повинна перевищувати 200 мм. Для сканування рівня яскравості освітлення потрібно використовувати дрони (dji mini 2) з можливістю зависання на певній висоті та закріпленими оптичними приладами, оскільки висота вимірювання освітлення, що бачить водій, дорівнює 1,2 м.

Для апаратної реалізації модуля збору даних (рис. 5) на базі мікроконтролера Arduino Nano V3 (на базі ATmega328P з частотою 16МГц, пам'ять: 32 кБ з яких 2кБ запропоновано використання бутлоадера SRAM: 2 кБ, EEPROM: 1 кБ) можна використати GPS-модуль (NEO 6M з напругою живлення: 3–5 В, швидкістю передачі за замовчуванням: 9600 біт/с) для визначення координат, а також вимірювальні прилади (датчик освітленості, ультразвуковий далекомір, SD-кардрідер для запису даних на SD-носії).

Для реалізації модуля збору даних можна використовувати бібліотеки bh1750 [14] (luxmetr i2c 1-15000 lux) – для роботи люксометра, tinyGPS (uart gps neo6) – для роботи GPS-навігатора, sd – для запису отриманих даних на SD-карту пам'яті).

Для опрацювання створеного масиву даних можна використати засоби мови Python 3 і бібліотеки matplotlib [10] та numpy [13]. Візуалізація heatmap засобами

matplotlib відбувається шляхом відображення значень масиву сіткою холодних та теплих кольорів, від найменших до найбільших значень відповідно; приклад у відносних значеннях показників зображено на рис. 6.

Висновки. Проведені дослідження дають змогу стверджувати, що існуючі технології дослідження та визначення показників зовнішнього світлового середовища міст являють собою складні системи, які не дозволяють оперативно отримувати відомості про їх відповідність показникам якості, комфорту та безпеки урбаністичного середовища. Зазначені технології відстають від темпів розвитку технологій смарт та екодизайну міст, а також перешкоджають обґрунтуванню показників економічної доцільності, що часто є первинною умовою для реновації систем організації світлового середовища та систем, що його забезпечують. Представлене дослідження аналізу методів, логістиці підходів з метою удосконалення можливостей визначення показників рівнів освітленості дозволило запропонувати апаратно-програмний комплекс для автоматизації елементів системи технологічних процесів. Саме шлях IT-рішень та автоматизації технологій визначення показників загального стану, комфорту та безпеки при проектуванні освітлення міст в умовах післявоєнної реконструкції, являє собою один з ефективних засобів для реалізації роботи запропонованих систем.

Література:

1. Завгородня В. І. Екодизайн як новий підхід до проектування: розвиток та проблеми. *Сучасна мистецька освіта: досвід, проблеми та перспективи*: Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Київ, 20 квіт. 2018 р. Київ, 2018. С. 54–56. URL: http://kdidpamid.edu.ua/jm/images/2018/docpdf/konf_20-04-2018.pdf#page=54 (дата звернення: 02.08.2022).

2. Законодавство ЄС у сфері енергоефективного освітлення. Київ: «Центр учбової літератури», 2016. 253 с.

3. Кващук Ю. В., Степаненко М. П. Екодизайн у контексті оптимізації містобудівної сфери. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*: VII міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 24–27 квіт. 2017 р. Чернігів, 2017. С. 88.

4. Кузьменко В. В., Олещенко Л. М., Хоперський С. В., Чумаченко С. М. Моделювання екодизайну середовища сучасного міста: методи дослідження рівня освітленості. *Сучасні*

тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій: Наукові праці Четвертої міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 1–2 лют. 2022 р. Київ, 2022. С. 222. URL: http://is.nuft.edu.ua/upload/files/Conf_STRISITT04_2022-02_final.pdf (дата звернення: 12.03.2022).

5. Крижановська Н. Я., Смірнова О. В. Екодизайн. Харків: Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, 2019. 65 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/200210016.pdf> (дата звернення: 03.09.2022).

6. Мисюк Ю. П. Світловий дизайн міського середовища. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2009. №3. С. 90–95. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/12146/1/90-95.pdf> (дата звернення: 16.07.2022).

7. Регламент комісії (ЄС) № 2019/2020 від 01 жовтня 2019 року про встановлення вимог до екодизайну для джерел світла та відокремлених пускорегулювальних апаратів відповідно до Директиви Європейського Парламенту і Ради 2009/125/ЄС та про скасування регламентів Комісії (ЄС) № 244/2009, (ЄС) № 245/2009 і (ЄС) № 1194/2012. *Верховна Рада України*. 2019. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_019-19#Text (дата звернення: 23.04.2022).

8. Сорокін В. М., Волощук В. П., Пастух І. І. Стан і перспективи розвитку освітлення автомобільних доріг. *Проблеми природного і штучного освітлення*: посібник до ДБН.В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Київ, 2019. 180 с.

9. Ультразвуковий датчик відстані Arduino HC SR04. *Wiki ТНТУ*. URL: https://wiki.tntu.edu.ua/Ультразвуковий_датчик_відстані_Arduino_HC_SR04 (дата звернення: 22.05.2022).

10. Creating annotated heatmaps. *Matplotlib*. URL: https://matplotlib.org/stable/gallery/images_contours_and_fields/image_annotated_heatmap.html (дата звернення: 09.05.2022).

11. Hammad A. W. A., Akbarnezhad A. Sustainable lighting layout in urban areas: maximizing implicit coverage and minimizing installation cost. *Frontiers in Built Environment*. 2018. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2018.00042/full> (дата звернення: 04.05.2022).

12. Kim H., Cluzel F., Leroy Y., Yannou B., Yannou-Le Bris G. Research perspectives in ecodesign. *Design science*. 2020. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/research->

[perspectives-in-ecodesign/2485F1098847037823E79FD933684CB9](https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/research-perspectives-in-ecodesign/2485F1098847037823E79FD933684CB9) (дата звернення: 04.05.2022).

13. NumPy Documentation. Version: 1.22. *NumPy*. URL: <https://numpy.org/doc/stable> (дата звернення: 22.04.2022).

14. Project 017: Arduino BH1750 Light Sensor Project Electorials Electronics. URL: <https://create.arduino.cc/projecthub/infoelectorials/project-017-arduino-bh1750-light-sensor-project-640075> (дата звернення: 9.05.2022).

15. Vega C., Zielinska-Dabkowska K. Urban Lighting Research Transdisciplinary Framework A Collaborative Process with Lighting Professionals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. 18(2). С. 624. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/2/624> (дата звернення: 24.05.2022).

References:

1. Zavorodnia, V. I. (2018). Ekodyzajn iak novyj pidkhid do proektuvannia: rozvytok ta problemy [Ecodesign as a new approach to design: development and problems]. *Modern art education: experience, problems and prospects: Materialy vseukrains'koi naukovy-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyschoi osvity i molodykh uchenykh (20 kvitnia 2018 r.) – Materials of the all-Ukrainian scientific and practical conference of higher education and young scientists* (pp. 54–56). Kyiv. URL:

http://kdidpamid.edu.ua/jm/images/2018/docpdf/konf_20-04-2018.pdf#page=54 (Last accessed: 02.08.2022) [In Ukrainian]

2. Zakonodavstvo YeS u sferi enerhoefektyvnoho osvittlenia [EU legislation in the field of energy-efficient lighting]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 2016. 253 p. [In Ukrainian].

3. Kvaschuk, Yu. V., Stepanenko, M. P. (2017). Ekodyzajn u konteksti optymizatsii mistobudivnoi sfery [Ecodesign in the context of urban planning optimization]. *Comprehensive quality assurance of technological processes and systems: VII mizhnarodna naukovy-praktychna konferentsiia (24–27 kvitnia 2017 r.) – VII international scientific and practical conference* (p. 88). Chernihiv [In Ukrainian].

4. Kuz'menko, V. V., Oleschenko, L. M., Khoperskyj, S. V., Chumachenko, S. M. (2022). Modeliuvannia ekodyzajnu sere dovyscha suchasnoho mista: metody doslidzhennia rivnia osvittlenosti [Modeling modern city environment eco-design: methods of studying the illumination level]. *Modern trends in the development of*

- information systems and telecommunication technologies: *Naukovi pratsi Chetvertoi mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (1–2 liutoho 2022) – *Scientific works of the Fourth International Scientific and Practical Conference* (p. 222). Kyiv. URL: <http://is.nuft.edu.ua/upload/files/Conf STRISITT04 2022-02 final.pdf> (Last accessed: 12.03.2022) [In Ukrainian].
5. Kryzhanovs'ka, N. Ya., & Smirnova, O. V. (2019). *Ekodyzajn [Eco-design]*. Kharkiv: Kharkivs'kyj natsional'nyj universytet mis'koho hospodarstva im. O. M. Beketova. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/200210016.pdf> (Last accessed: 03.09.2022) [In Ukrainian].
6. Mysiuk, Yu. P. (2009). *Cvitlovyj dyzajn mis'koho seredovyscha [Light design of the urban environment]*. *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka – Lighting and electrical engineering*. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/12146/1/90-95.pdf> (Last accessed: 16.07.2022) [In Ukrainian].
7. Rehlament Komisiy (YeS) № 2019/2020 vid 01 zhovtnia 2019 roku pro vstanovlennia vymoh do ekodyzajnu dlia dzherel svitla ta vidokremlenykh puskorehuliuval'nykh aparativ vidpovidno do Dyrektyvy Yevropejs'koho Parlamentu i Rady 2009/125/YeS ta pro skasuvannia rehlamentiv Komisiy (YeS) № 244/2009, (YeS) № 245/2009 i (YeS) № 1194/2012 [Commission Regulation (EU) No. 2019/2020 from October 1, 2019 on the establishment of ecodesign requirements for light sources and separate ballasts in accordance with Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and on the repeal of Commission Regulations (EC) No. 244/2009, (EC) No. 245/2009 and (EC) No. 1194 /2012]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_019-19#Text (Last accessed: 23.04.2022) [In Ukrainian].
8. Sorokin, V. M., Voloschuk, V. P., Pastukh, I. I. et al. (2019). Stan i perspektyvy rozvytku osvittennia avtomobil'nykh dorih [State and prospects of road lighting development]. *Problemy pryrodnoho i shtuchnoho osvittennya: Posibnyk do DBN.V.2.5-28:2018 – Problems Of Natural And Artificial Lighting: Guide to DBN.V.2.5-28:2018*. Kyiv [In Ukrainian].
9. Ul'trazvukovyj datchyk vidstani Arduino HC SR04 [Ultrasonic distance sensor HC SR04 Arduino]. Wiki TNTU. URL: https://wiki.tntu.edu.ua/Ul'trazvukovyj_datchyk_vidstani_Arduino_HC_SR04 (Last accessed: 22.05.2022) [In Ukrainian].
10. Creating annotated heatmaps. *Matplotlib*. URL: https://matplotlib.org/stable/gallery/images_contours_and_fields/image_annotated_heatmap.html (Last accessed: 09.05.2022) [In English].
11. Hammad, A. W. A., Akbarnezhad, A. (2018). Sustainable lighting layout in urban areas: maximizing implicit coverage and minimizing installation cost. *Frontiers in Built Environment*. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2018.00042/full> (Last accessed: 04.05.2022) [In English].
12. Kim, H., Cluzel, F., Leroy, Y., Yannou, B., Yannou-Le, Bris G. (2020). Research perspectives in ecodesign. *Design science*. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/research-perspectives-in-ecodesign/2485F1098847037823E79FD933684CB9> (Last accessed: 04.05.2022) [In English].
13. NumPy Documentation. Version: 1.22. *NumPy*. URL: <https://numpy.org/doc/stable> (Last accessed: 15.04.2022) [In English].
14. Project 017: Arduino BH1750 Light Sensor Project Electorials Electronics. URL: <https://create.arduino.cc/projecthub/infoelectorials/project-017-arduino-bh1750-light-sensor-project-640075> (Last accessed: 9.05.2022) [In English].
15. Vega, C., Zielinska-Dabkowska, K. (2021). Urban Lighting Research Transdisciplinary Framework A Collaborative Process with Lighting Professionals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, No. 18(2), P. 624. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/2/624> (Last accessed: 24.05.2022) [In English].

ECO-DESIGN OF THE LIGHTING ENVIRONMENT OF THE MODERN CITY: FORMULATION OF APPROACHES TO THE IMPROVEMENT OF LIGHTING MEASUREMENTS OF URBAN FACILITIES

¹KHOPERSKYI S., ²KUZMENKO V., ²OSTAPENKO N.,

³CHUMACHENKO S., ²REZNIKOV Ye.

¹*V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Ukraine*

²*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

³*National University of Food Technologies, Ukraine*

The purpose of the research is to determine the compliance of the existing methods of evaluating projects of urban outdoor lighting both with the illuminance index according to the State Building Code (DBN) and the modern requirements of eco-design of the city's light environment.

Methodology. The research is based on the comprehensive approach: general scientific comparative, analytical, system-informational, expert methods are applied as an integration of the possibilities of introducing promising innovative technologies for qualitative assessment of changes in the lighting of recreational environments of modern cities. Content analysis and methods of modeling design industrial objects as the main provisions of the system approach were used in this work.

The results. The analysis of standardized methods of determining illumination as a standardized indicator of the quality of urban planning elements (streets, green areas, squares, etc.) enabled the researchers to make a comparison and combine the measured normative indicators with the requirements of the eco-design of the modern urban lighting (according to energy efficiency, comfort and safety indicators) as well as to create comparative tables according to the determined indicators. The attention was also focused on the weak points of the existing method of lighting measurements and the main results of the analysis: high labor intensity, limited number of objects/survey areas; insufficient array of initial data for the design of the object lighting. An algorithm was created, modeling was performed and industrial equipment was proposed to automate the process of obtaining the necessary and sufficient amount of actual data as a characteristics of the light environment.

Scientific novelty. The expediency of improving the method of collecting initial data for solving project tasks is substantiated. An option to use the developed hardware and software complex is proposed, which will allow to automate the elements of the system in the process of collecting primary data for modeling the illumination levels of urban objects. Theoretical studies are based on the working methods of expert groups and Commission (EU) Regulation No. 2019/2020. An analysis of the consequences of application of modern eco-design requirements to the audit results of the external illumination system was carried out.

Practical significance. The volume of scientific research and practical works on determining the level of street lighting made it possible to propose new approaches to the formulation and development of a set of measures and the methodology of collecting initial data for solving design tasks.

Keywords: *industrial design; eco-design; city lighting; hardware and software complex; microcontrollers.*

ІНФОРМАЦІЯ
ПРО АВТОРІВ:

Хоперський Сергій Васильович, мол. наук. співр., Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, ORCID 0000-0002-7771-762X, **e-mail:** ssvh@ukr.net

Кузьменко Володимир Володимирович, аспірант, кафедра моделювання та художнього оздоблення одягу, Київський національний університет технологій та дизайну, ORCID 0000-0002-7983-1688, **e-mail:** kuzmenko.volodymyr.95@gmail.com

Остапенко Наталія Валентинівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри моделювання та художнього оздоблення одягу, Київський національний університет технологій та дизайну, ORCID 0000-0002-3836-7073, Scopus 57191843580, **e-mail:** cesel@ukr.net

Чумаченко Сергій Миколайович, д-р техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем, Національний університет харчових технологій, ORCID 0000-0002-8894-4262, **e-mail:** sergiy23.chumachenko@gmail.com

Резніков Євген Вікторович, аспірант, кафедра мистецтва та дизайну костюма, Київський національний університет технологій та дизайну, ORCID 0000-0003-2943-3013, **e-mail:** er22345@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Хоперський С. В., Кузьменко В. В., Остапенко Н. В., Чумаченко С. М., Резніков Є. В. Екодизайн світлового середовища сучасного міста: формування підходів щодо удосконалення вимірювань освітлення міських об'єктів. *Art and design*. 2022. №4(19). С. 108–120.

<https://doi.org/10.30857/2617-0272.2022.4.10>

Citation APA: Хоперський, С. В., Кузьменко, В. В., Остапенко, Н. В., Чумаченко, С. М., Резніков, Є. В. (2022) Екодизайн світлового середовища сучасного міста: формування підходів щодо удосконалення вимірювань освітлення міських об'єктів. *Art and design*. 4(20). 108–120.