

УДК 628. 94 (045)

**В. О. Шевченко,
В. І. Степура, канд. техн. наук**

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТЛОРОЗПОДІЛУ СВІТЛОДІОДНИХ МОДУЛІВ

Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: dnepr_30@ukr.net

Досліджено ряд потужних світлодіодів і випромінювальних модулів на їх основі. Розроблено програми для моделювання світлодіодних світильників на підставі експериментально визначених кривих сил світла. Запропоновано способи аналізу світлорозподілу світлодіодних модулів за допомогою цифрової обробки зображень, створюваних на екрані прохідними та відбитими променями.

Ключові слова: світлодіодний модуль, світлорозподіл, цифрова обробка зображень.

Широке використання світловипромінювальних діодів (СВД) головним чином пояснюється їхніми перевагами, які добре описано в літературі [1; 2]. Значну роль при цьому відіграють мале енергоспоживання, високі значення ККД світлових приладів і коефіцієнтів використання світлового потоку в освітлювальних установках, відсутність пульсації світлового потоку, можливість отримання випромінювання заданого спектрального складу, можливість зниження коефіцієнта запасу освітлювальних установок завдяки стабільності характеристик і тривалому терміну експлуатації; висока стійкість до впливу умов зовнішнього середовища, високий індекс кольоропередачі, можливість одержувати модульоване випромінювання зміною параметрів живлення.

Для використання всіх переваг СВД особливого значення набуває керування випромінюваним світловим потоком. Більшість потужних світлодіодів поставляється зі стандартною оптикою, яка фокусує та спрямовує світло. Ряд компаній окремо випускає спеціалізовану оптику для світлодіодів провідних світових виробників, розраховану на найрізноманітніші застосування цих пристроїв. Існує оптика з різними діаграмами напрямленості та оптика, розрахована на використання декількох СВД, що дозволяє створювати світлодіодні модулі (СДМ). Вартість оптики на один потужний світлодіод може досягати кількох доларів. Однак ці витрати забезпечують необхідний результат, зокрема надійне з'єднання оптики зі світлодіодами та спрощений монтаж.

Лінзи і рефлектори є найбільш часто використовуваними оптичними засобами, призначеними для формування діаграми напрямленості СВД. Ширина сформованого пучка світла при цьому може становити від одиниць до десятків градусів.

Структуру випромінювання СВД можна охарактеризувати як потік випромінювання, що поширюється в просторі. Більшість світлодіодів випромінюють потік симетрично навколо оптичної осі, тому структуру випромінювання визначає графік кутової залежності інтенсивності потоку. Основним параметром структури випромінювання є кут, що визначає ширину структури випромінювання на рівні половинної максимальної інтенсивності.

Потужні світлодіоди виготовляють з одним із трьох стандартних типів лінз: Lambert, Batwing або лінзи зі структурою випромінювання бічного розсіювання. У випадку застосування лінзи Lambert світлодіод генерує рівномірно розподілений потік світла, що характеризується косинусною залежністю інтенсивності випромінювання. Типову структуру випромінювання ламбертівського світлодіода Luxeon фірми Philips Lumileds показано на рис. 1 [3].

Застосування лінзи Batwing (англ. batwing – крило кажана) дозволяє одержати потік із провалом у напрямку оптичної осі та двома максимумами при кутах близько 40° (рис. 2).

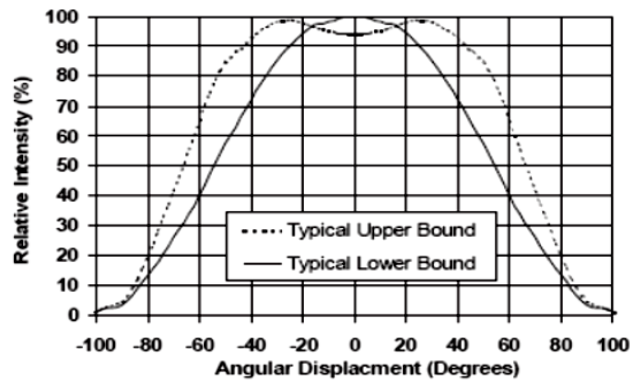


Рис. 1. Структура випромінювання лінзи типу Lambert

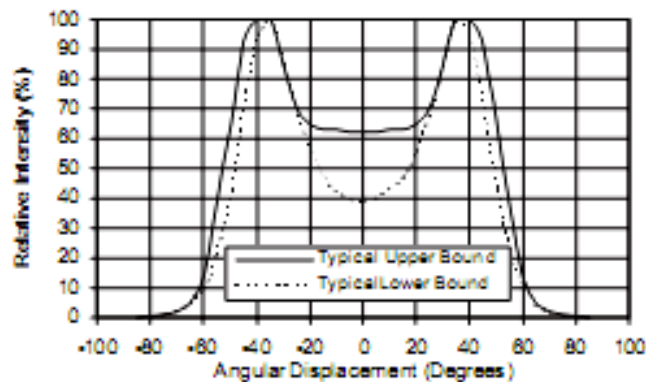


Рис. 2. Структура випромінювання лінзи типу Batwing

Лінза бічного розсіювання відрізняється від попередніх типів лінз своєю формою й структурою випромінювання. Застосування конічного рефлектора дозволяє сформувати вузький потік світла, розсіяного на 360° навколо осі на горизонтальній площині (рис. 3). Основне застосування – сигнальні фари, а також ділянки, де випромінюване світло має розділитися на дві частини і спрямовуватися в протилежних напрямках.

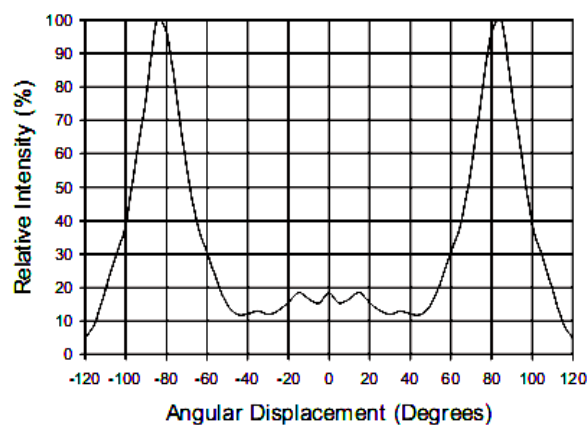


Рис. 3. Структура випромінювання лінзи зі структурою випромінювання бічного розсіювання

Часто для виконання світлотехнічного проекту потрібне застосування додаткових оптичних пристроїв, призначених або для концентрації світла, випромінюваного джерелом, або для розсіювання цього світла. Основні виробники оптики для світлодіодів провідних виробників – Luxeon, Seoul Semiconductor, Cree, Nichia-Carcelo Technical Plastics (Великобританія), Edison Opto Corporation (Тайвань), Ledil (Фінляндія), Khatod (Італія), Fraen SRL (Італія). Однак на ринку багато пропозицій від менш відомих фірм. Варто обережно підходити до вибору вторинної оптики, оскільки заявлені характеристики далеко не завжди підтверджуються на практиці.

Завданням оптичної системи, що використовується в парі зі світлодіодом, є найбільш раціональний розподіл світлового потоку у просторі. За правильного підбору оптики можна значно збільшити щільність світлового потоку і краще пристосувати роботу світлового приладу до вирішуваного технічного завдання.

Існує два основні типи оптичних систем – лінзові та відбивальні. Вони створюють різні діаграми напрямленості випромінювання в просторі. Параметром, що відображається діаграмами, є ефективний тілесний кут світлового потоку, в якому розподілено не менше 50 % усього випромінювання. Найбільш поширеними серед діаграм є вузька (кут ефективного випромінювання $5^\circ - 20^\circ$), середня ($20^\circ - 50^\circ$) та широка (від 50°).

Одним із найпростіших і дешевих додаткових оптичних пристроїв є лінзи, які фокусують світло, що проходить крізь них. Недоліком лінз є те, що вони не збирають світло, що генерується світлодіодом в бічних напрямках, тому концентрація світла лінзами – на рівні 50 %.

Досить ефективним оптичним пристроєм для перетворення випромінювання СВД є рефлектори, які виготовляються з пресованого металу або литого пластику з металевим відбивальним покриттям. Звичайні параболічні рефлектори також можуть призначатися для генерування широкої рівномірно освітленої площі із крутою межею інтенсивності світла.

Надійність і вихідні характеристики світлодіодів тісно пов'язані з температурою, тому під час розроблення пристроїв на основі СВД має бути вирішена проблема відведення надлишкового тепла від кристала до системи охолодження. Потрібно врахувати, що значна частина спожитої електричної енергії витрачається на нагрівання кристала й усього світлодіода в цілому. Крім того, на теплові режими великий вплив чинять зовнішні фактори. Теоретичний розрахунок залежності параметрів світлодіода від температури є досить складним завданням. Тому доцільно виконати експериментальне дослідження конкретних пристроїв (світлодіод, система охолодження, температура зовнішнього середовища) для встановлення залежності характеристик пристроїв від температури.

Оскільки окремий світлодіод характеризується порівняно малим світловим потоком, світлодіодний світильник може складатися з кількох або з кількох десятків таких діодів. Тому виникає потреба в попередньому моделюванні світлодіодних світильників для визначення кількості світлодіодів, їх взаємного розташування та необхідності додаткових оптичних елементів.

Зазвичай виробники СВД надають інформацію про свої вироби, зокрема характеристики світлорозподілу – криві сили світла (КСС) у перерізах фотометричного тіла. Конструкція більшості світлодіодів дозволяє використовувати спеціально розроблені додаткові оптичні пристрої для формування потоку випромінювання. Знати типові характеристики цих пристроїв недостатньо для визначення світлотехнічних характеристик модуля "світловипромінювальний діод – оптичний пристрій" без додаткових експериментальних досліджень. Тому моделювання світлодіодних світильників треба починати з експериментального дослідження КСС світлодіодів.

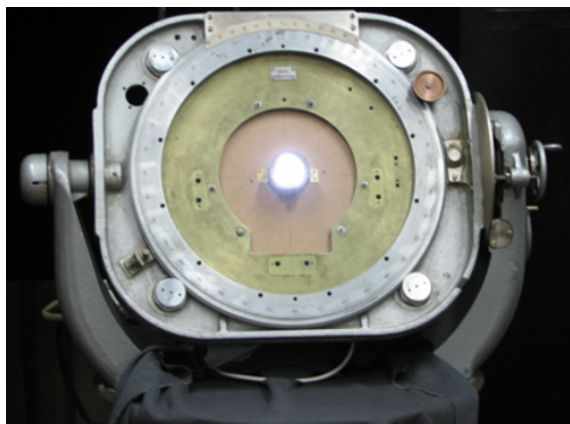


Рис. 4. Поворотний стенд

У фотометричній лабораторії кафедри електротехніки і світлотехніки НАУ були виконані дослідження світлотехнічних характеристик ряду світлодіодів білого та червоного світіння ламбертівського типу, в тому числі з різними вторинними оптичними пристроями, виготовленими для цих типів світлодіодів. Основними елементами дослідної установки є поворотний стенд КЯ 4.13200002 (рис. 4) та вимірювальний прилад – фотометр-радіометр ФР-2.

Як приклад на рис. 5 показано типову залежність відносної інтенсивності надяскравого світлодіода Edixeon KLC8 фірми Edison [6] та експериментальну КСС цього діода, отриману за значення 350 мА.

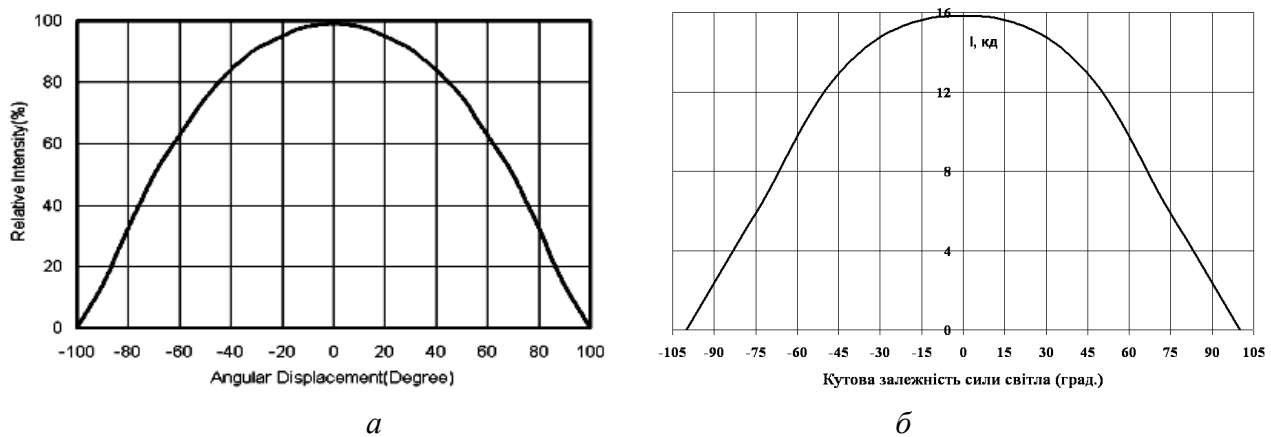


Рис. 5. Кутові залежності сили світла: *a* – типова залежність відносної інтенсивності СВД Edixeon KLC8, наведена в каталозі виробника; *б* – експериментальна КСС, отримана за значення 350 мА

Типову відносну залежність вихідного потоку СВД Edixeon KLC8 та виміряну експериментальну залежність (при цьому не враховано зміну температури кристала випромінювача у разі зміни струму) показано на рис. 6.

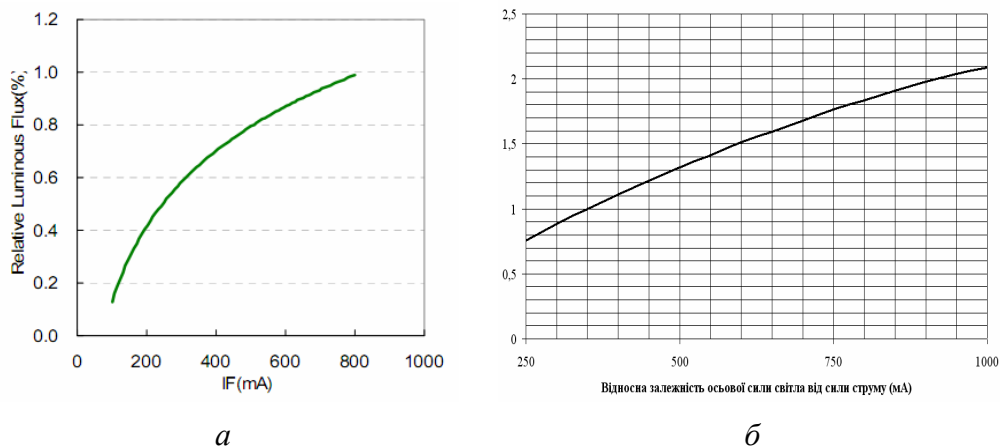


Рис. 6. Відносна струмова залежність світлового потоку СВД Edixeon KLC8: *a* – типова залежність за інформацією виробника; *б* – експериментальні дані

На основі експериментальних результатів створено базу даних окремих світлодіодів Luxeon, Edixeon та СДМ на їх основі. Розроблено спеціальні програми для розрахунку КСС світлодіодних світильників з довільно розташованими та зорієнтованими відносно певного центра діодами [4], які дозволяють отримувати дані для створення фотометричних файлів світильників в IES-форматі [5] та розраховувати освітленості, створювані такими світильниками. Отримані результати дозволяють виконати в першому наближенні моделювання світлових приладів на основі СВД, у тому числі світлосигнальних приладів. При цьому можна врахувати залежність вихідного потоку від сили струму і температури, а також оцінити зміну світлорозподілу світлодіодного світильника в разі відмови окремих діодів.

У разі використання додаткової оптики світлорозподіл СДМ може змінюватися в широких межах, але коефіцієнт використання світлового потоку діода в разі неправильного вибору оптики може значно зменшитися. Перевірка світлотехнічних характеристик пари "світловипромінювальний діод – оптичний пристрій" на гоніофотометричній установці потребує часу і певних зусиль. Тому в цій роботі пропонуються способи експрес-контролю світлового розподілу СВД та СДМ, які ґрунтуються на аналізі цифрового зображення екрана, освітленого світлодіодними пристроями.

Цифрове оброблення зображень дозволяє використовувати потужний математичний апарат для аналізу зображень. На першому етапі виконується цифрування зображень, отриманих фотографуванням у відбитому або прохідному світлі. Цифрування означає отримання цифрового зображення, перетворення візуальної інформації в цифрову форму.

Цифрування являє собою процес, в якому зображення розкладається на точки, і інформація про яскравість кожної точки вводиться в комп'ютер. У разі використання цифрового перетворювача, здатного розрізняти 256 рівнів сірого, на комп'ютер для чорних точок будуть передаватися значення 0, а для білих – значення 255. Значення для сірих точок будуть лежати між цими граничними значеннями.

За допомогою відповідних засобів і методів для регулювання тональності можна призначати мінімальні й максимальні рівні яскравості для півтонового або кольорового зображення, використовуючи значення від 0 до 255. Змінюючи ці значення, можна обмежити тоновий діапазон зображення, не змінюючи в ньому зв'язку відносної яскравості та контрасту.

Якість цифрованих зображень залежить від кількості окремих точок (пікселів), на які розкладається зображення, і від точності, з якою вимірюється яскравість або співвідношення кольорів у точках зображення.

Пікселі одного зображення мають однаковий розмір, який визначається роздільною здатністю, з яким отримано зображення. За вищих значень вхідної роздільної здатності генеруються пікселі меншого розміру, що забезпечує більшу кількість інформації і ймовірних деталей на одиницю площі, а також велику плавність тонових переходів. Розмір і кількість пікселів визначають кількість інформації, що міститься в зображенні.

Цифрові камери надають певне значення кольору або відтінку сірого кожному пікселю зображення. Ефект безперервності тону виникає через малі розміри пікселів, унаслідок чого сусідні пікселі трохи відрізняються один від одного за кольором або тоном.

Растрове зображення є матрицею дискретних пікселів, кожен з яких має певні горизонтальні та вертикальні координати усередині сітки.

Якщо оцінити тільки інформацію яскравості в зображенні, то в результаті отримаємо чисто чорно-біле (тобто двоградаційне) або півтонове зображення. У разі цифрового оброблення зображень розрізняють два види некольорових зображень, зокрема двоградаційні і півтонові зображення. Двоградаційне зображення складається тільки з чорних і білих елементів, півтонові зображення містять також і проміжні відтінки сірого.

Монохромне зображення є двовимірною матрицею яскравості в просторових координатах. Аналіз цифрового зображення зводиться до аналізу матриці, елементи якої описують яскравість точок зображення.

Зображення освітленого СВД екрана за не найкращого вибору вторинної оптики, коли зображення складається з яскравої центральної ділянки, навколо якої розташовано декілька менш яскравих кілець, показано на рис. 7. Візуальна картинка дозволяє відразу зробити висновки про світловий розподіл СДМ.



Рис. 7. Зображення освітленого екрана у відбитих променях

Висновки. У разі використання світловипромінювальних діодів та модулів на їхній основі не достатньо користуватись лише довідковими даними виробника, особливо у випадку використання вторинної оптики. Розроблено програми, які дозволяють виконувати моделювання світлодіодних освітлювальних приладів на основі експериментально визначеного світлорозподілу окремих світлодіодів (без оптики і з оптикою). Цифрове оброблення зображення, освітленого за допомогою СВД екрана, дає змогу виконати аналіз світлового розподілу випромінювальних пристроїв без застосування розподільного фотометра.

Список літератури

1. Юнович А. Э. Светодиоды как основа будущего / А. Э. Юнович // Светотехника – 2003. – № 3. – С. 2 – 6.
2. Коган Л. М. Полупроводниковые светодиоды: современное состояние / Л. М. Коган // Светотехника. – 2000. – № 6. – С. 11 – 15.
3. Lixeon Technical Datasheet. <http://www.LUMILEDSFUTURE.com>.
4. Шевченко В. А. Моделирование светодиодных световых приборов / В. А. Шевченко, В. И. Степура // Електроніка та системи управління. – 2007. – № 4 (14). – С. 114 – 119.
5. Коробко А. А. О некоторых аспектах светораспределения световых приборов для программ расчета освещения / А. А. Коробко // Светотехника. – 2001. – № 6. – С. 22 – 28.
6. Edison Opto Corporation. <http://www.edison-opto.com.tw>

В. А. Шевченко, В. И. Степура

Исследование светораспределения светодиодных модулей

Исследован ряд мощных светодиодов и излучающих модулей. Разработаны программы для моделирования светодиодных светильников на основе экспериментально определенных кривых сил света. Предложены способы анализа светораспределения светодиодных модулей с помощью цифровой обработки изображений, создаваемых на экране проходящими и отраженными лучами.

V. O. Shevchenko, V. I. Stepura

Research light distribution light-emitting diode modules

Researches of some powerful light-emitting diodes and radiating modules on their basis are executed. Programs for modeling of light-emitting diode fixtures on the basis of experimentally certain curve forces of light are developed. Are offered are capable the analysis light distribution light-emitting diode modules on the basis of digital processing of the images created on the screen by coming and reflected beams.