УДК 628.9

КРИТЕРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ СВІТИЛЬНИКІВ LED

А.І. Колесник
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова
м. Харків, Україна

Л.А. Назаренко
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова
м. Харків, Україна

Анотація- **Розглянуто особливості світлотехнічного проектування з використанням світлових приладів на світлодіодах. Наведено рекомендації, щодо покращення методики дизайну світильника на світлодіодах, що в свою чергу вирішує проблеми з поетапним розрахунком теплових, оптичних, електричних та світлотехнічних характеристик.**

Ключові слова- світлодіод, світильник, тепловий менеджмент, дизайн.

I. Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень та публікацій

Сьогодні в світлотехніці відбуваються революційні перетворення - на зміну традиційним джерелам світла приходять світлодіоди. І, звичайно, поява технічних новинок веде до нових технологій. Цілком очевидно, що світильники на світлодіодах виготовляються інакше, ніж звичайні освітлювальні прилади, але розглянемо ключові особливості заміни ламп розжарення на LED джерела.

Проектування світильників на основі потужних світлодіодів вимагає поетапного моделювання кожної частини від джерела світла до оптичної системи.

На сьогодні світильники на основі LED знижують сукупну собівартість, завдяки відмові від обслуговування (оскільки термін служби світлодіодів значно довше, ніж у традиційних ламп) і зниженому споживанню електроенергії. У світі налічується понад 20 мільярдів світлових приладів, які використовують лампи розжарення, галогенні або люмінесцентні лампи [1-3].

Багато цих світильників використовуються для джерел спрямованого світла, але засновані вони на лампах, які випромінюють світло у всіх напрямках.

Проектування світлодіодних світильників для загального освітлення вимагає вибору між розробкою нової конструкції світильника на основі світлодіодів, або модернізація світильника на основі світлодіодної лампи, яка призначена для установки в існуючу конструкцію. Як правило, розробка нової повної конструкції світильника, яка відповідає вимогам до світлового потоку, колірної температури та потужності буде мати кращі оптичні, теплові та електричні характеристики, ніж у ламп «ретрофітів», так як розробка світильника не обмежує дизайн.

Тому поетапна розробка світлового приладу (габаритний та світлотехнічний розрахунок) з урахуванням ефективності має кілька переваг.

По-перше, існуючий дизайн вже оптимізований для роботи зі світлодіодами та може надати рекомендації щодо визначення цілей проектування щодо світловіддачі, вартості та сфери використання.

По-друге, існуючий дизайн конструкції корпус-радіатора вже прийнятий в форм-факторі.

Кінцевий користувач має змогу змінити лампу на LED, якщо форм-фактори однакові.

На жаль, деякі виробники світлодіодних світильників вказують інформацію щодо ефективності і довговічності ґрунтуючись на характеристиках світлодіодів, а не в цілому світлового приладу.

Індустрія освітлення зіткнулася з аналогічними проблемами в перші роки заміни лампочок люмінесцентних. Відсутність галузевих стандартів і широкі відмінності від старої продукції затримували прийняття технології люмінесцентної лампи (ЛЛ) на багато років.

Світлодіоди не виходять з ладу катастрофічно швидко, як лампочки «ретрофіти». Замість цього вони можуть забезпечити принаймні 50 000 годин корисного терміну служби, перш ніж рівень світлового потоку стане нижче 70% від їх первісної світловіддачі. Це дорівнює 5,7 років, якщо залишити їх включеними безперервно!

Цікавий факт, скільки впливу на навколишнє середовище приблизно було б попереджено за ці

50 000 годин терміну служби світлодіодних світильників:

• щонайменше на 25 ламп розжарення відправлено на звалища і в п'ять разів менше використано електричної енергії (ЕЕ).

• як мінімум 5 ЛЛ, що містять ртуть, відправлено на утилізацію.

II. Виклад основного матеріалу

На сьогодні існує два варіанти розробки світлового приладу: заміна джерела світла під загальновживані корпуси відомих моделей світильників, розробка індивідуального дизайну світлового приладу.

Виробник для початку розробляє лінійку моделей, які, за його припущенням, будуть мити попит на ринку. Чому сприяє попереднє дослідження ринку і потреб потенційного кола клієнтів.

Звичайно, є виробники світильників, які не заморочуються на дизайні, а просто беруть один з стандартних варіантів (як, наприклад, повсюдно поширені однотипні світильники для стель «армстронг») або взагалі купують готові корпуси. Якщо перед виробником стоїть завдання створення світлодіодних світильників по максимально низькій ціні, то такий підхід є виправданим. На жаль, виробників світлодіодних світильників на використання типових корпусів, часто спочатку розроблених для люмінесцентних та натрієвих ламп, штовхає не тільки жага наживи або нерозуміння законів ринку, а й об'єктивні причини. Умови тендерів і відсутність нормативної бази з боку стандартизації змушують виробників випускати максимально дешеві моделі з низькими технічними характеристиками.

З точки зору стратегії мінімізація ціни будь-якими засобами - це шлях «в нікуди». Світильник в безликому типовому корпусі легко підробити. Ось чому провідні світові виробники світлотехнічного обладнання завжди використовують індивідуальний дизайн своїх світильників. При цьому світильники з оригінальним дизайном, якщо вони правильно розроблені, без проблем можна встановлювати в стандартні підвісні стелі або в інші будівельні конструкції, точно так же, як і продукцію з «типовими» зовнішнім виглядом. Втім, деякі дизайнерські рішення в світлодіодних світильниках спрямовані на цілком утилітарні функції - підвищення технічних характеристик. Наприклад, закруглені форми корпусу не дозволяють затримуватися бруду, що важливо для використання в промислових цехах зі складними умовами.

Як згадувалося раніше, відмова від технічного обслуговування є важливою перевагою для світлодіодних світильників. Тому проектування світлодіодного світильника для забезпечення максимального терміну служби і економії ЕЕ є відмінною стратегією для подолання перешкоди, пов'язаної з більш високою початковою вартістю світильників на основі LED.

Поетапні кроки проектування світильника на основі потужних світлодіодів з урахуванням теплового дизайну наведені у таблиці 1.

TABLE I. ПОЕТАПНІ КРОКИ ПРОЕКТУВАННЯ

Крок	***Опис***
Визначення вимог до освітлення	Цілі проектування мають базуватися як на існуючих властивостях світильників, так і на вимогах до освітлення середи.
Визначення мети дизайну	-Визначення типу світильника (клас виконання). - Дизайнер повинен вказати будь-які інші цілі, які можуть вплинути на кінцевий дизайн, наприклад, спеціальні оптичні вимоги або здатність витримати високі температури.
Оцінка ефективності оптичної, теплової та електричної системи	-Дизайн цілей буде розміщувати обмеження на оптичні, теплові та електричні системи. - Добре оцінка ефективності кожної системи може бути зроблена на основі цих обмежень. - Комбінація цілей освітлення та ефективності системи дозволить збільшити кількість світлодіодів, необхідних у світильнику. - На підставі загальної концепції пишеться технічне завдання на проектування світильника, визначається максимальна вартість комплектуючих і операцій з виробництва, для досягнення запланованих термінів окупності світильника.
Обчислення кількості необхідних світлодіодів	На основі цілей проектування та очікуваних збитків дизайнер може обчислити кількість світлодіодів, необхідних для досягнення цілей проектування.
Розглянення всіх можливостей дизайну і вибір найкращого	- Як і будь-який дизайн, існує багато різних способів досягнення цілей дизайну. -LED освітлення все ще є новим польотом, тому припущення, які працюють для звичайних джерел освітлення, можуть не застосовуватися до дизайну освітлення LED.
Виконання остаточних кроків	• Завершити макет монтажної плати. • Випробувати вибір дизайну, побудувавши пробний світильник. • Переконайтеся, що дизайн відповідає всім дизайнерським цілям. • Використовуйте конструкцію прототипу для подальшого вдосконалення дизайну світильника. • записувати спостереження та ідеї для вдосконалення.

III. СВІТЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

На цьому етапі здійснюються підбір оптичної системи для отримання потрібної кривої сили світла (КСС), а також вибір світлодіодів. Не слід думати, що оптична система - це неодмінно якісь лінзи і відбивачів. Скло, яке закриває світлодіоди - це теж частиною оптичної системи, яка робить свій вплив на КСС. Розсіювач - це теж оптична система. І тут дрібниць не може бути [5].

У ряді випадків первинна оптика вже дає необхідну КСС, але, як правило, в світильниках, призначених для приміщень з високими стелями, а також в прожекторах, вторинна оптика є обов'язковою, тому що потрібно забезпечити невеликий (близько 15 ... 30 градусів) кут розподілу світла .

Вибір світлодіодів є важливим моментом в проектуванні світильників. Не слід забувати про велику кількість підробленого, дешевого товару. Тобто або використовуються якісь вилучені світлодіоди, нехай і іменитого виробника, або просто під «розкручений бренд» насправді ставлять щось інше.

Слід зазначити, що на заводи з виробництва світильників все частіше надходять непоодинокі світлодіоди, а готові світлодіодні матриці. Світильник LED повинен відповідати заявленим характеристикам виробника та вимоги до освітлення. Тому, перш ніж встановлювати цілі проектування, необхідно врахувати вимоги щодо освітлення.

Одним з найважливіших параметрів в процесі проектування є кількість LEDs, необхідних для досягнення цілей проектування. Решта дизайнерських рішень обертається навколо кількості LEDs, оскільки це безпосередньо впливає на світловий потік, споживання енергії та вартість світильника. Спокусливо розрахувати кількість світлодіодів, дивлячись на типові КСС, представлені на інформаційному аркуші світлодіодів, і отримати ефективність без врахування теплових втрат. Однак цей підхід занадто спрощений і призведе до дизайну, який не відповідатиме вимогам до освітлення середовища. Світловий потік світлодіодів залежить від багатьох факторів, включаючи струм та температуру p-n переходу. Щоб точно розрахувати необхідну кількість світлодіодів, слід оцінювати неефективність оптичних, теплових та електричних систем [6].

IV. Вибір електроніки для світильника

Найважливіший елемент світлодіодного світильника - блок живлення (драйвер). Як показує практика експлуатації світлодіодних світильників, блок живлення зазвичай виходить з ладу швидше, ніж світлодіоди. І якщо в побутових світильниках ця обставина призводить до необхідності нести пристрій в ремонтну майстерню, то при установці світильника на виробництві доведеться зупиняти конвеєр, демонтувати прилад, замість нього ставити новий. За час простою утворюється значний втрачений прибуток. Ось чому електронні компоненти, що використовуються в блоках живлення та інших вузлах світильника, повинні мати надійність на рівні [2].

Крім блоку живлення, в світильник іноді встановлюються і інші електронні вузли: диммери, модулі бездротового зв'язку і т. п. Як правило, ці вузли встановлюються опціонально, відповідно до побажань замовника.

V. Тепловий менеджмент світлодіодного світильника

Більш детально звернемо увагу на теплові характеристики – тепловий менеджмент. Світловий потік падає при відносній потужності, оскільки температура переходу (Tj) зростає. Більшість листів з інформацією про світлодіодні зображення називають типовий струм при Tj = 25 °C, тоді як більшість світлодіодних додатків використовують більш високі температури p-n переходу. При використанні Tj> 25 °C світловий потік повинен бути зведено з значення, зазначеного в специфікації LED.

Провідні виробники світлодіодних світильників приділяють цього етапу проектування велику увагу. Однак не рідкі випадки, коли недобросовісні виробники роблять спрощений тепловий розрахунок. Або ж і зовсім - нехтують ним.

На цьому етапі визначається, в якому температурному режимі повинні працювати світлодіоди і інша електроніка, встановлена в корпусі. Виходячи із значення виділеної теплової енергії, визначаються тепловий опір корпусу і вимоги до тепловідводу.

У разі перегріву знижується термін служби світлодіодів та інших електронних компонентів. Тобто, якщо не проводився розрахунок теплових характеристик, або був зроблений неправильно, світлодіодний світильник, при більш високій вартості, ніж у світильників з традиційними джерелами світла, не дасть ніяких переваг в енергоспоживанні і терміні служби в порівнянні з ними.

VI. Проектування корпусу

Виходячи із задуму дизайнера, параметрів оптичної системи і електронних блоків, а також вимог, отриманих в результаті температурного розрахунку, розробляється конструкція корпусу.

Залежно від вимог вибирається матеріал, з якого буде зроблений світильник (пластмаса, метал) і технологія виготовлення (складання з листів, лиття, екструзія). Найскладніша і дорога процедура на цьому етапі - розробка і виготовлення форми для лиття або екструзії. Зазвичай виготовленням форм по документації замовника займаються спеціалізовані фірми. До виготовлення форми повинна бути налагоджена електроніка і зроблено необхідні техніко-економічні розрахунки. Потім переробляти форму буде дуже дорого.

Після виготовлення корпусу і установки туди елементів електроніки ми отримуємо дослідний зразок. Бажано провести випробування його в різних умовах і потім внести необхідні корективи. Причому навіть якщо ви ідеально спроектували і зібрали світильник, деякі моменти можна буде відкоригувати тільки за підсумками випробувань. Наприклад, визначення оптимального для того чи іншого виду рослин спектра світильника для теплиць.

VII. Створення світлодіодних світильників. Збірка

У складальний цех елементи світильника надходять у вигляді готових блоків. Збірка їх не представляє великої проблеми, в ряді випадків вдається обійтися навіть без пайки. Природно, складальний цех повинен бути обладнаний за всіма нормами, повинні бути вжиті заходи щодо захисту від статичної електрики.

Зазвичай послідовність наступна. Спочатку світлодіодний модуль прикріплюється до оптики. Потім ця збірка закріплюється на тепловідведення з застосуванням термопасти. Після встановлюється блок живлення і (при необхідності) керуюча електроніка. Корпус закривається і загвинчується, світильник відправляється на вихідний контроль і упаковку.

VIII. Висновки

У зв’язку із викладеним, розробка нового світлодіодного приладу потребує комплексного підходу з розрахунком теплових характеристик, оптичної системи і вибору основних компонентів.

Перелік літературних джерел

[1] Kolesnyk A.I. The research of therma characteristics of the LEDs / A.I. Kolesnyk, LA Nazarenko // Lighting engineering and power engineering. – 2016. – No. 46 (2). – P. 27-30.

[2] Колесник А. І. Методики та результати експериментальних досліджень відводу тепла від світлодіодного приладу / А.І. Колесник, Д.О. Усіченко, Л.А. Назаренко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – № 49 (2). – С. 25-29.

[3] Колесник А. І. Результати дослідження світлодіодного світильника з корпус-радіатором безреберного виконання / А.І. Колесник, Д.О. Усіченко // Комунальне господарство міст. – 2018. – № 7(146). – С.116-120.

[4] Mashkov P. et al. Design of LED Lamp with special spectral characteristics //Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference. Volume I. – 2015. – Т. 147. – С. 152.

[5] Ramos-Alvarado B., Feng B., Peterson G. P. Comparison and optimization of single-phase liquid cooling devices for the heat dissipation of high-power LED arrays //Applied Thermal Engineering. – 2013. – Т. 59. – №. 1-2. – С. 648-659.

[6] An examination of the fundamentals of street lighting for pedestrians and drivers (2004). P Raynham. Lighting Res. Technol. 36, 4 2004 pp. 307–316

References

[1] Kolesnyk A.I. The research of therma characteristics of the LEDs / A.I. Kolesnyk, LA Nazarenko // Lighting engineering and power engineering. – 2016. – No. 46 (2). – P. 27-30.

[2] Kolesnyk, A. I., Dmytro, O. U., & Nazarenko, L. A. (2017). METODYKY TA REZUL′TATY EKSPERYMENTAL′NYKH DOSLIDZHEN′ VIDVODU TEPLA VID SVITLODIODNOHO PRYLADU. Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka, (2), 25-29.

[3] Kolesnyk A. I. Rezul′taty doslidzhennya svitlodiodnoho svityl′nyka z korpus-radiatorom bezrebernoho vykonannya / A.I. Kolesnyk, D.O. Usichenko // Komunal′ne hospodarstvo mist. – 2018. – № 7(146). – S.116-120.

[4] Mashkov, P., Teirumnieks, E., Gyoch, B., Beloev, H., Pencheva, T., & Kandilarov, R. (2015). Design of LED Lamp with special spectral characteristics. In Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference. Volume I (Vol. 147, p. 152).

[5] Ramos-Alvarado, B., Feng, B., & Peterson, G. P. (2013). Comparison and optimization of single-phase liquid cooling devices for the heat dissipation of high-power LED arrays. Applied Thermal Engineering, 59(1-2), 648-659.

[6] An examination of the fundamentals of street lighting for pedestrians and drivers (2004). P Raynham. Lighting Res. Technol. 36, 4 2004 pp. 307–316

КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ СВЕТИЛЬНИКОВ LED

А.И. Колесник
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова
г. Харьков, Украина

Л.А. Назарено
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова,
г. Харьков, Украина

Рассмотрены особенности светотехнического проектирования с использованием световых приборов на светодиодах. Приведены рекомендации по улучшению методики дизайна светильника на светодиодах, что в свою очередь решает проблемы с поэтапным расчетом тепловых, оптических, электрических и светотехнических характеристик.

***Ключевые слова**: светодиод, температура p-n перехода, тепловые потоки.*

OPTIMIZATION CRITERIA FOR LED LAMPS

A. Kolesnyk
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine

L. Nazarenko
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine,

The steps to optimize the design of an LED lamp are presented.

The LED luminaire must meet or exceed the lighting requirements for the target application. Therefore, the lighting requirements must be defined before establishing the design goals. For some applications, there are existing lighting standards that will define the requirements directly. For other applications, a good approach is to characterize an existing luminaire.

The long lifetime of LED light may make the idea of a lamp outdated. Lighting-class LEDs do not fail catastrophically like light bulbs. Instead, they can provide at least 50,000 hours of useful lifetime before they gracefully degrade below 70% of their initial light output (also called lumen maintenance). That's equal to 5.7 years if left on continuously!

This application note provides guidelines for the process of designing high-power LEDs into luminaires. This paper uses an indoor luminaire design as an example, but the process described can be applied to the design of any LED luminaire.

Table 1 lists a general process for designing high-power LEDs into a luminaire. The rest of the document walks through these design steps in order. To better illustrate these design concepts, this document includes example calculations for an LED luminaire meant to replace a 23-W CFL downlight. This design process is repeatable for all kinds of luminaires and not just the example included.

With all the system efficiencies estimated, the actual number of LED lumens required to achieve the design goals can be calculated. For this calculation, only the light efficiencies (optical and thermal) are used. The electrical efficiency affects only the total power consumed and fixture efficacy, not the amount of light coming out of the luminaire. LEDs will decrease in relative flux output as junction temperature (Tj) rises. Most LED data sheets list typical luminous flux at Tj = 25 °C, while most LED applications use higher junction temperatures. When using Tj > 25 °C, the luminous flux must be derated from the value listed on the LED's data sheet.

Keywords: *LED, lamp, thermal management, design*