

УДК 621.32

## ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СВІТЛОДІОДНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ

Богдан І. В., Пилипенко Ю. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Дослідити перспективи переходу на світлодіодне освітлення приміщень.

**Методика.** Використано методи аналізу та порівняння переваг та недоліків світлодіодних джерел освітлення.

**Результати.** В результаті порівняння характеристик джерел освітлення зроблено висновок щодо доцільності використання світлодіодних освітлювачів. Запропоновано метод більш раціонального використання світлодіодних випромінювачів.

**Наукова новизна.** Наведено методу розрахунку загальної ефективності світлодіодних джерел світла в залежності від енергетичної та світлової ефективності.

**Практична значимість** полягає в створенні більш енергоефективних систем освітлення на базі світлодіодів

**Ключові слова:** енергозбереження, електроенергія, освітлення, джерело світла, світлодіод, СВД, галогенові лампи, ГЛР, світлодіодна стрічка

Постійно зростаючі потреби людства у використанні штучного освітлення вимагають збільшення виробництва електроенергії. Для цього необхідні додаткові капіталовкладення на будівництво електростанцій, вироблення родовищ енергоносіїв та подальшу утилізацію зростаючих відходів виробництва. Питання про альтернативні вискоефективні джерела освітлення, що здатні задовольнити попит на освітлення, не нарощуючи при цьому виробництва і витрат на електроенергію, стоїть дуже гостро. У світлі наростаючого світлового забруднення (тобто освітлення нічного неба штучними джерелами світла, світло яких розсіюється в нижніх шарах атмосфери) і ініціатив розвинених країн про його припинення, перехід на світлодіодні технології знаходиться в тренді світових тенденцій розвитку сучасних джерел світла (ДС) [1].

### **Постановка завдання**

За оцінками експертів, частка споживаної електричної енергії на електричне освітлення складає приблизно 15% від усього обсягу споживання в Україні. У світі частка електричного освітлення становить 19%. Збільшення світлової ефективності існуючих джерел світла дозволить виробляти необхідну кількість світла, зменшуючи при цьому потребу в електроенергії.

Можна виділити три основні сектори споживання електроенергії – промисловий, комерційний (громадський) і житловий сектор. Витрата електроенергії, спожитої на освітлення, для кожного з секторів представлена в табл. 1.

Таблиця 1

## Споживання електроенергії освітленням

Сектор споживання	Доля електроенергії, що споживає освітлення, %	Щорічне збільшення споживання електроенергії освітленням, %
Промисловий	6,3	0,9
Комерційний	28,6	0,1
Житловий	40	1,5

Існуючі старі ДС – звичайні лампи розжарювання (ЛР) і галогенові ЛР (ГЛР), розрядні лампи (РЛ) є досить зрілими технологіями електричного освітлення, але їх низька енергоефективність (зокрема, світлова віддача  $\eta$ , лм/Вт) і проблеми утилізації, зокрема, ртутних ламп, диктують поступову і неухильну заміну цих ДС на світловипромінюючі діоди (СВД). Існуючі на ринку пропозиції по світлодіодним ДС порівняно дорогі, тому, крім технічних параметрів, слід звертати увагу на термін окупності заміни традиційних ДС на СВД, а також на те, що СВД модулі більш теплонапружені і більш чутливі до перегріву в порівнянні з люмінесцентними лампами (ЛЛ), отже, вимагають якісного пасивного охолодження. Кожен з варіантів комерційних СВД (дешевші сині/ультрафіолетові СВД з люмінесцентним шаром для отримання необхідних кольорів білого спектра випромінювання; триколірні RGB СВД) мають свої недоліки, основним з яких є невисокий індекс передачі кольору ( $R_a < 90$ ). Досліджуються можливі шляхи підвищення кольору СВД, однак існуючі рішення поки не дозволяють замінити ЛР у вузькому діапазоні застосувань ( $100 > R_a > 90$ ).

Оцінку електричних ДС за потенціалом енергозбереження виробляють по світловій віддачі  $\eta$  (лм / Вт):

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

де  $\Phi$  – світловий потік ДС, люмен (лм);

$P$  – електрична потужність ДС, Вт.

Але така оцінка є всього лише арифметичною величиною, яка не враховує особливостей розподілу світла в просторі. За кривої сили світла (КСС) сучасним світлодіодам найбільш близькі конусні ГЛР [2].

### Результати досліджень

Принцип роботи світлодіодів заснований на явищі електролюмінесценції – холодного світіння, що виникає при протіканні струму. Склад матеріалів, що утворюють р-п-перехід, визначає тип випромінювання.

Ефективність  $E$  СВД визначається відношенням світлового потоку  $F$  СВД до спожитої потужності  $P$ . Це загальна ефективність, що включає в себе енергетичну ефективність самого СВД, що залежить від фізики роботи, матеріалу і конструкції СВД і світлову ефективність спектра випромінювання даного СВД. Загальна ефективність вимірюється в люменах (лм) на ват (Вт):

$$E = \frac{F}{P}, \text{ лм/Вт}$$

Виробники вказують в якості основного параметра СВД силу світла  $I$ , вимірювану в канделах, тому потрібно перерахувати кандели в люмени. Сила світла визначає просторову щільність (інтенсивність) світлового потоку (*luminous intensity*):

$$I = \frac{F}{\Omega}, \text{ лм/ср}$$

де  $\Omega$  – тілесний кут, вимірюваний в стерadianах (ср), пов'язаний з плоским кутом  $\alpha$  співвідношенням:

$$\Omega = 2\pi \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right), \text{ ср}$$

Кут  $\alpha$  – кут, що приводиться виробниками як кут спостереження або кут випромінювання (*viewing angle, radiation angle*), що визначається за спаду сили світла на 50%.

Знаючи кут спостереження, можна приблизно визначити світловий потік СВД:

$$E = I \cdot \Omega$$

Загальна ефективність випромінюючого приладу  $E$  визначається двома складовими: енергетичною ефективністю  $E_e$  (відношення вихідної оптичної до вхідної електричної потужності) і світловою ефективністю  $E_v$ .

Спектр зору людини обмежений діапазоном довжин хвиль від 380 до 780 нм. Крім того, чутливість зору до різних довжинах хвиль різна і визначається кривою видимості  $V(\lambda)$ .

СВД випромінює не на одній довжині хвилі, а в деякому проміжку. Інтенсивність розподілу оптичної потужності в межах цього проміжку описується кривою, яку називають енергетичним (або оптичним) спектром випромінювання  $F_e(\lambda)$ . Оптична потужність визначається площею під кривою спектра і вимірюється у ватах. Для розрахунку світлової потужності потрібно перейти від енергетичних величин (ват) до світлових (люмени), для чого необхідно перемножити енергетичний спектр  $F_e(\lambda)$  на криву видимості –  $V(\lambda)$ .

Тоді світлова ефективність визначиться як відношення світлової потужності до оптичної:

$$E_v = \frac{F_v}{F_e},$$

де  $F_e$ ,  $F_v$  – інтеграли функцій  $F_e(\lambda)$ ,  $F_v(\lambda)$ .

Максимальне значення світлової ефективності доводиться на довжину хвилі 555 нм і становить 683 лм / Вт.

Тепер, знаючи енергетичну і світлову ефективність, можна визначити загальну ефективність:

$$E = E_e \cdot E_v$$

Енергетична ефективність світлодіодного кристала становить від 5 до 20%. Істотна частка втрат пов'язана з втратами фотонів при виведенні з корпусу світлодіода. Чим ширше діаграма спрямованості світлодіода, тим менше ці втрати [3].

До переваг світлодіодів можна віднести:

- на відміну від лампи розжарювання або люмінесцентної лампи в світлодіоді електричний струм перетворюється безпосередньо в світлове випромінювання, теоретично це можна зробити майже без втрат, з максимальним ККД;
- чистота і різноманітність кольорів. Колір світіння СВД визначається матеріалом напівпровідникового кристала. Випромінювання відбувається у вузькій частині спектру, що дозволяє формувати необхідні чисті кольори, при цьому УФ та ІЧ випромінювання відсутні. Світлодіоди не виробляють тепла в формі інфрачервоного випромінювання і тому не гріються як лампи розжарювання;
- відсутність скляної колби у світлодіодів визначає дуже високу механічну міцність і надійність. Світлодіод волого і пилонапроникний, не має спіралей і інших вразливих деталей. Термін служби світлодіода може досягати 100000 годин. Довгий термін

- служби СВД дозволяє знизити витрати на обслуговування, що робить їх незамінними для установки в труднодоступних місцях;
- світлодіоди мають високу швидкодію, що робить їх незамінними в системах відображення інформації;
  - низьке енергоспоживання;
  - як джерела світла для зовнішнього і декоративного освітлення, вони мають ряд унікальних переваг, серед яких точна спрямованість світла, можливість управління кольором, стійкість до багаторазових включень і виключень;
  - низька робоча напруга. Світлодіод – низьковольтний електроприлад, а значить – безпечний;
  - екологічність світлодіодів (відсутність у них компонентів, які містять ртуть, в порівнянні з люмінесцентними лампами), а також відсутність електромагнітних випромінювань і перешкод.

Недоліки світлодіодів:

- основний недолік світлодіодів на сьогоднішній день – їх ціна в порівнянні з іншими джерелами світла.
- як і у інших джерел світла, робочі характеристики СВД з часом погіршуються, а стандартної процедури оцінки терміну їх служби на сьогоднішній день ще немає;
- чим більший струм пропускається через світлодіод, тим вище його температура. І якщо не відбувається відвід тепла, р-п-перехід перегрівається, чому змінюються характеристики світлодіода (зменшується яскравість і змінюється колір). Тому термін служби у потужних СВД коротше, ніж у малопотужних (приблизно 20-50 тисяч годин). Так що дуже важливо забезпечувати ефективне відведення тепла;
- для роботи світлодіодів необхідний постійний струм і дуже важливо відсутність навіть мінімальних коливань напруги і сили струму. Тому для роботи світлодіодів неодмінно потрібні додаткові пристрої – драйвери;
- світлодіодні технології дуже швидко розвиваються, і світлодіоди морально застарівають набагато раніше, ніж виробляють свій ресурс [4].

Як би там не було, для споживачів житлового сектора головним аргументом на користь вибору джерела освітлення є його початкова ціна. Перспектива майбутньої економії коштів на обслуговування і електроенергію є для них малопереконливою. У той же час, промисловий і комерційний сектори, де в основному застосовується люмінесцентне освітлення, навпаки зацікавлені в придбанні більш економічних і

довговічних джерел світла високої ефективності. Діяльність цих секторів розрахована на перспективу, і тому зниження витрат на обслуговування, безпеку і низькі енергетичні витрати має першорядне значення і впливає на прибуток в цілому.

Альтернативою дорогим світлодіодним ДС є світлодіодні стрічки в комплекті з відповідним блоком живлення для них. Кожна стрічка має довжину до 5 м, але їх можна легко поєднати і в результаті отримати замість точкового джерела світла лінійний, з меншими показниками неоднорідності розподілу світла по робочих поверхнях. Гармонійний склад споживаного електричного струму світлодіодного світильника визначається якістю блоку живлення. Коефіцієнт пульсацій світлового потоку істотно знижується, оскільки живлення таких стрічок здійснюється постійною напругою 12/24В.

Сучасна електроніка дозволяє створювати блоки живлення для світлодіодних стрічок товщиною не на багато більше висоти самої стрічки. Подібні рішення перспективніше установки світильників з кріпленням і прихованою силовою високовольтною проводкою, а при появі модульних плоских світлодіодних кластерів на гнучкій клейовій основі монтаж системи штучного освітлення спрощується [1].

Перспективним напрямом стане модульний принцип нарощування потужності освітлення на базі СВД при порівняно низькій напрузі живлення світлодіодних модулів (12 і 24 В).

Таким чином, вирішуються відразу кілька завдань і забезпечується:

- 1) низька питома вартість світлодіодного освітлення;
- 2) велика гнучкість при проектуванні освітлення (лінійні ДС замість точкових);
- 3) простота монтажу і обслуговування за рахунок модульних конструкцій;
- 4) масштабування потужності освітлення шляхом нарощування ДС з типових модулів на базі СВД.

### **Висновки**

Сьогодні питання переходу на більш енергоефективні освітлювальні прилади є як ніколи актуальним. Найперспективнішими в цьому плані є світловипромінювальні діоди.

В результаті проведеного порівняння світлодіодів з широко використовуваними джерелами світла показано, що СВД є перспективними для застосування в системах освітлення. З наведених характеристик світлодіодів впливає, що найбільшим недоліком є їх висока ціна. Для досягнення максимального економічного ефекту при

заміні ЛР на СВД пропонується використовувати модульні конструкції «блок живлення – плоский/стрічковий модуль СІД».

При масовому використанні світлодіодних ІС необхідний контроль показників якості електроенергії не тільки в електричних мережах, але і у споживача.

#### Список використаних джерел

1. Nazarov M. High efficient LED for white light / M. Nazarov and other // Moldavian Journal of the Physical Sciences. – 2005. – Vol. 4, № 4. – P. 485–495.
2. Тщетные усилия света // Стратегии энергоэффективного освещения. – М.: ОЭСР/МЭА, 2008.
3. Tonzani S. Lighting technology: Time to change the bulb / Stefano Tonzani. // Nature. – 2009. – №459. – P. 312–314.
4. Добродей, А. О. Применение светодиодов для систем освещения (обзор) / А. О. Добродей. и др. // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2008. – № 1. – С. 37-49.
5. Пилипенко, Ю. М. Алгоритми повного перебору / Ю. М. Пилипенко, О. А. Лагода. // Вісник КНУТД. – 2007. – № 2. – С. 86-93.

#### References

1. Nazarov, M. (2005). High efficient LED for white light. Moldavian Journal of the Physical Sciences. – Vol. 4, № 4. – P. 485–495.
2. *Tshchetnye usiliya sveta* [Vain Light Efforts]. Strategii energoeffektivnogo osveshcheniya. – M.: OESR/MEA, 2008. [in Russian].
3. Tonzani, S. (2009). Lighting technology: Time to change the bulb. Nature. – № 459. – P. 312–314.
4. Dobrodey, A.O. (2008). *Primineniye svetodiodov dlia system osveshchenia (obzor)* [Application of LEDs for lighting systems (overview)]. Vestnik GGTU im. P. O. Suhogo. – № 1. – P. 37-49. [in Russian].
5. Pylypenko, Y.M., Lahoda, O.A. (2007). *Alhorytmy povnoho pereboru*, [Full-fledged algorithms] Visnyk KNUTD. Kyiv. – P. 86-93 [in Ukrainian].

#### *Использование энергосберегающих светодиодных излучателей в системах освещения*

**Богдан И. В., Пилипенко Ю.Н.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна.*

**Цель.** Исследовать перспективы перехода на светодиодные источники освещения.

**Методика.** Использовано методы анализа и сравнения преимуществ и недостатков светодиодных источников освещения.

**Результаты.** В результате сравнения характеристик источников освещения сделано вывод о целесообразности использования светодиодных осветителей. Предложено метод более рационального использования светодиодов.

**Научная новизна.** Приведена методика расчета общей эффективности светодиодных источников освещения в зависимости от энергетической и световой эффективности.

**Практическая значимость** состоит в создании более энергоэффективных систем освещения на базе светодиодов.

**Ключевые слова:** энергосбережения, электроэнергия, освещение, источник света, светодиод, СИД, галогенные лампы, ГЛН, светодиодная лента

*Using of energy efficient light emitting diodes in light systems*

**Bohdan I., Pylypenko Yu.**

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** *Investigate the perspectives of using LED in room lighting systems.*

**Methodology.** *Analysis and comparison methods are used to describe LED features.*

**Findings.** *As the result of the comparison of lighting devices features, the conclusions about efficiency of LED appliance were made. Proposed the method more efficient using LED tapes.*

**Originality.** *Proposed the methodology of calculation LED efficiency based on its energetic and light efficiency characteristics*

**Practical value** *consists of creating more efficient lighting systems based on using of LED.*

**Keywords:** *energy saving, electricity, lighting, light source, LED, halogen lamp, LED strip*