

УДК 621.327

О.Ю. Єгорова, О.О. Аблецов

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

*Аналіз перспектив впровадження енергозберігаючих технологій в освітлювальних установках за рахунок застосування світлодіодних джерел світла. Розглянуто переваги й недоліки різних видів ламп, таких як: лампи розжарювання, галогенна лампа, люмінесцентні лампи (у тому числі компактні люмінесцентні лампи), світлодіодні лампи. Проведено порівняльний аналіз цих джерел. Визначені напрямки вдосконалення освітлювальних установок.*

**Ключові слова:** енергозбереження, лампи розжарювання, люмінесцентні лампи, світлодіоди.

### Сучасний стан енергозберігаючих технологій в освітлювальних установках

Проблема енергозбереження в освітлювальних установках всіх країн світу, не тільки передових, але й тих, що розвиваються, має виняткове значення. При цьому від успіхів у рішенні цієї проблеми багато в чому залежить майбутнє людської цивілізації не тільки у зв'язку з поступовим вичерпуванням паливних копалин, що йдуть на виробництво електроенергії, але й швидко відбувається забруднення навколишнього середовища викидами в атмосферу шкідливих речовин (діоксидів вуглецю й сірки, а також ртуті), утворених в результаті спалювання палива при виробництві електроенергії. У цей час на електричне освітлення доводиться приблизно 13% всієї виробленої електроенергії, значна частина освітлення доводиться на не ефективні лампи розжарювання.

Звичайна лампочка розжарювання тільки 10% одержаної енергії випромінює у вигляді корисного світла, і то не білого, а жовтого. Інші 90% витрачаються на нагрівання. Галогенна лампа випромінює у видимому діапазоні до 15% витраченої потужності, але це також не дуже знижує проблему енергозбереження у освітленні, тому необхідно скористатися іншими принципами випромінювання світла.

### Аналіз світових тенденцій енергозбереження в освітлювальних установках

У багатьох державах світу прийняті й реалізуються спеціальні програми енергозбереження, що включають самостійні розділи стосовно до освітлювальних установок. Завданням цих програм є різке зниження витрат електроенергії у освітлювальних установках (на 20 – 60%) і викидів шкідливих речовин в атмосферу. Міжнародне енергетичне агентство IEA (International Energy Agency) і Суспільство еко-

номічного співробітництва й розвитку (СЕСР) разом з Європейським міністерством навколишнього середовища запропонували програму, здійснення якої може знизити витрати електроенергії на освітлення в середньому на 60%. До числа реальних заходів підвищення енергоефективності освітлювальних установок і, відповідно, зниження викидів CO<sub>2</sub> під час роботи теплоелектростанцій ставляться насамперед: широке впровадження в освітлювальні установки житлових і суспільних будинків енергоефективних компактних люмінесцентних ламп замість ламп накалювання; автоматизований контроль і керування освітленням залежно від інтенсивності природного світла, або за допомогою датчиків присутності; більш ефективне використання природного освітлення.

У цей час Європейською радою підготовлені й частково вже діють 10 – 12 директив і програм по підвищенню ефективності використання електричної енергії, охороні навколишнього середовища й переробці відходів виробництва. Лідируючу роль грає програма «Green Light» («Зелене світло») США, а також програми енергозбереження Великобританії, Нідерландів, Данії, Швеції. На базі програми «Green Light» підготовлені й діють відповідні програми Китаю, Бразилії, Південної Кореї, Таїланду, Мексики, Чехії. Зниження енергоспоживання при реалізації цих програм є результатом різнобічного впливу як на структуру виробництва й застосування світлотехнічних виробів, так і на якість випускаємої техніки і ефективність її використання. Однак необхідно підкреслити загальне для всіх цих документів – основна ставка робиться на компактні люмінесцентні лампи й нове покоління світлодіодних джерел світла.

Також була розроблена американська програма створення твердотілого освітлення Next Generation Lighting Initiative з перспективами розвитку до 2020 р. Програма передбачає фінансування дослідження, розробку і виробництво світлодіодних джерел світла в

розмірі \$50 млн. щорічно аж до 2011 р. Автори програми порівнюють її значення для Сполучених Штатів з програмою ядерних досліджень у 40-і роки. Економія електроенергії, що витрачає на висвітлення за майбутні 20 років, буде еквівалентна фінансовій економії у розмірах від 60 до 120 млрд. доларів залежно від розвитку конкуренції з люмінесцентними лампами.

### Альтернативні джерела світла

Існують дві альтернативи лампам розжарювання: люмінесцентні (звичайні й компактні) і світлодіодні.

*Люмінесцентна лампа* – газорозрядне джерело світла, світловий потік якого визначається в основному світінням люмінофорів під впливом ультрафіолетового випромінювання розряду; видиме випромінювання не перевищує декількох відсотків. Люмінесцентні лампи широко застосовуються для загального освітлення, при цьому їхня світлова віддача й термін служби в кілька разів довше, ніж у ламп розжарювання того ж призначення. Найпоширенішим різновидом подібних джерел є ртутна люмінесцентна лампа. Вона являє собою скляну трубку, заповнену парами ртуті, з нанесеним на внутрішню поверхню шаром люмінофора.

У цей час випускаються так звані енергоекономічні люмінесцентні лампи, що мають більш ефективну конструкцію електродів і вдосконалений люмінофор. Це дозволило виготовляти лампи зі зниженою потужністю (18 Вт замість 20 Вт, 36 Вт замість 40 Вт, 58 Вт замість 65 Вт), зменшеним в 1,6 рази діаметром колби й підвищеною світловою віддачею. Середня тривалість горіння люмінесцентних ламп не менш 12000 годин. Світловий потік кожної лампи після 70% середньої тривалості горіння повинен бути не менш 70% номінального світлового потоку. Середня яскравість поверхні люмінесцентних ламп коливається від 6 до 11 кд/м<sup>2</sup>. Світлова віддача ламп типу ЛБ становить від 50,6 до 65,2 лм/Вт. Люмінесцентні лампи при включенні їх у мережу змінного струму випромінюють змінний у часі світловий потік. Коефіцієнт пульсації світлового потоку дорівнює 23% (у ламп типу ЛДЦ – 43%). Зі збільшенням номінальної напруги, світловий потік і потужність, споживані лампою, зростають. Люмінесцентні лампи розраховані для нормальної роботи при температурі навколишнього повітря +15...+40 °С. У випадку зниження температури тиск аргону й ртутних парів різко знижується й запалювання, а також горіння лампи погіршуються. Тривалість роботи лампи тим більше, чим менша кількість разів вона включається, тобто чим менше зношується оксидний шар електродів. Зниження напруги, яку підводять до лампи, а також зниження температури навколишнього повітря сприяють більш інтенсивному зношуванню оксиду електродів. При зниженні напруги на 10 – 15% лампа може не засвітитися або ж її включення буде супроводжуватися багаторазовим миготінням. Підвищення напруги полегшує процес запалювання лампи, але зменшує її світловіддачу.

Недоліки люмінесцентних ламп: зниження коефіцієнта потужності електричної мережі, створення радіоперешкод і стробоскопічного ефекту через

пульсацію світлового потоку й т.д.

*Компактні люмінесцентні лампи.* Довгий час широке використання стандартних люмінесцентних ламп було обмежено через власні габаритні розміри. На початку 80-х років минулого сторіччя з'явилися численні види компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ, в англійському варіанті CFL – Compact Fluorescent Lamps) потужністю від 5 до 25Вт з світловими віддачами від 30 до 60 Лм/Вт і термінами служби від 3 до 10 тис. годин. Розробка компактних люмінесцентних ламп стала можлива тільки в результаті створення високостабільних вузькополосних люмінофорів, активованих рідкоземельними матеріалами, які можуть працювати при більш високих поверхнево щільних опроміненнях, ніж у стандартних люмінесцентних лампах. За рахунок цього вдалося значно зменшити діаметр розрядної трубки. Що стосується скорочення габаритів ламп у довжину, то це завдання було вирішено шляхом поділу трубок на кілька більше коротких ділянок, розташованих паралельно й з'єднаних між собою або вигнутими ділянками трубки, або увареними скляними патрубками.

*Світло діоди.* Основу світлодіода (Light Emitting Diode, або LED) становить штучний напівпровідниковий кристалик розміром 0,3 × 0,3 мм, у якому реалізовано р-п-перехід. Кольори світіння залежать від матеріалу кристалика. Так, червоні й жовті світлодіоди, як правило, виготовляють на основі арсеніду галію, зелені й сині – на галій-нітридній основі. Посилення світіння досягають різними засобами. В одних випадках до складу кристалика вводять спеціальні добавки й присадки, у інших – застосовують багаточастотні структури, що дозволяє реалізувати в одному кристалику відразу кілька р-п-переходів, збільшивши тим самим яскравість його світіння. Кристалик "саджають" у металеву поліровану чашечку (мідну або алюмінієву), що є відбивачем і "катодом" (-). До самого кристалика "приварюють" золоту нитку-"анод" (+). Потім всю конструкцію заливають прозорим компаундом, якому надають певну форму (назвемо це колбою). Від неї залежить кут випромінювання світла, що випускає кристалик. Якщо верх колби плоский, світло виходить широким пучком (кут становить 120 – 130°). Якщо верх опуклий, виходить лінза, що збирає світло в більш вузький пучок (кут 8 – 60°). Чим менше кут випромінювання, тим більш інтенсивний світловий потік дає кристал. Випускаються світлодіоди різних кольорів: червоного, жовтого, зеленого, синього, синьо-зеленого і білого, причому білий з недавніх пір буває декількох відтінків (холодного, теплого, "сонячного" і т.д.).

До переваг світлодіодів можна віднести: низьке енергоспоживання – не більше 10% від споживання при використанні ламп розжарювання, довгий термін служби – до 100 000 годин, високий ресурс міцності – ударна й вібраційна стійкість, чистота й різноманітність кольорів, спрямованість випромінювання, регульована інтенсивність, низька робоча напруга, екологічна й протипожежна безпека. Світлодіоди не містять у своєму складі ртуті й майже не нагріваються.

## Дослідження світлодіодних джерел світла

Існує чотири способи створення білих світлодіодів, кожний зі своїми перевагами й недоліками. Один з них – змішання випромінювання світлодіодів трьох або більше кольорів (наприклад червоного, зеленого й синього світлодіодів). У принципі такий спосіб повинен бути найбільш ефективним. Для кожного зі світлодіодів: червоного, зеленого або блакитного можна вибрати значення струму, що відповідають максимуму його зовнішнього квантового виходу випромінювання. Але при цих струмах і напругах інтенсивності кожного з кольорів не будуть відповідати значенням, необхідним для синтезу білого кольору. Цього можна досягти, змінюючи число діодів кожного з кольорів і складаючи джерело з багатьох діодів. Для практичних застосувань цей засіб незручний, оскільки потрібно мати кілька джерел різної напруги, багато контактних введень і пристрою, що змішує та фокусує світло від декількох світлодіодів. Другий і третій способи – змішання блакитного випромінювання світло діодів з випромінюванням або жовто-зеленого люмінофора, або зеленого й червоного люмінофорів, збуджуваних цим блакитним випромінюванням. Ці способи найбільш прості й водночас найбільш економічні. Склад кристала з гетероструктурами на основі InGa/Ga підбирається так, щоб його спектр випромінювання відповідав спектрам збудження люмінофорів. Кристал покривається шаром гелю з порошком люмінофора таким чином, щоб частина блакитного випромінювання збуджувала люмінофор, а частина проходила без поглинання. Форма тримача, товщина шару гелю й форма пластикового купола розраховуються й підбираються так, щоб випромінювання мало білі кольори у потрібному тілесному куті. Зараз досліджується біля десятка різних люмінофорів для білих світлодіодів. Четвертий спосіб – змішання випромінювання трьох люмінофорів (червоного, зеленого й блакитного), збуджуваних ультрафіолетовим світлодіодом. Цей засіб використовує технології й матеріали, які розроблялися протягом багатьох років для люмінесцентних ламп. Він вимагає тільки два контактних введення на один випромінювач. Але цей спосіб пов'язаний із принциповими втратами енергії при перетворенні світла від діода в люмінофорах. Крім того, ефективність джерела випромінювання зменшується, тому що різні люмінофори мають різні спектри збудження люмінесценції, не точно відповідаючи ультрафіолетовому спектру випромінювання. Що стосується виробництва білих світлодіодів для освітлення, то тут найбільш перспективною представляється технологія з одним або двома люмінофорами, нанесеними на блакитний кристал. Конструкцію такого типу у свій час запатентувала Nichia Chemical. Технологія із трьома люмінофорами на ультрафіолетовому кристалі теж не пропадає з поля зору вчених, але поки її успіхи не настільки вражаючі. RGB-матриці використовуються в основному для створення світлодинамічних ефектів.

Технологічно складну операцію, необхідну при виробництві білих світлодіодів, нанесення люмінофора – здійснив «Корвет Лайтс» за допомогою технічного рішення: у пластиковому куполі, що оточує кристал, створюється порожнина у формі півсфери, куди вводиться люмінофор. Цим гарантується рівномірність його розподілу й рівномірність кольорів по всій площині світлової плями.

Важливим завданням є формування світлового потоку в потрібному тілесному куті. Це завдання вирішується за допомогою лінзової оптичної системи. Найбільш досконалу на сьогоднішній день конструкцію оптичної системи пропонує Lumileds у своїй серії Luxeon. Ця система являє собою перевернену піраміду, у якій світловипромінюючий кристал розташований у вершині, а світло йде через основу: такий собі світловий «рупор»! Саме ця конструкція, у якій використовується ефект повного внутрішнього відбиття, дозволила досягти рекордного зовнішнього квантового виходу в 55% для червоного світлодіода.

Перелічимо основних виробників: Nichia Chemical, Японія. Компанія, що вперше розробила світлодіоди синього й білого світіння на основі структур InGa, зберігає лідируючі позиції у виробництві над'яскравих синіх, зелених і білих світлодіодів.

Lumileds Lighting, США. Спільне підприємство Agilent Technologies і Philips Lighting. Виробництво над'яскравих світлодіодів з підвищеним струмом накачування, світлодіодних зборок і модулів (Barracuda, Luxeon) дуже високої яскравості. Lumileds Lighting є лідером у виробництві над'яскравих потужних світлодіодів всіх кольорів, включаючи білий. На даний момент Lumileds Lighting виробляє багато потужних світлодіодів різної модифікації за назвою Luxeon Agilent Technologies, США. Відділення електронних компонентів компанії Hewlett Packard, з 1999 р. – самостійна компанія. Визнаний лідер у розробці над'яскравих світлодіодів. Osram Optosemiconductors (штаб квартира компанії перебуває в Німеччині, виробничі потужності – у США й Малайзії). Колишне спільне підприємство Osram і Infineon Technologies, що зараз повністю належить Osram. Виробництво над'яскравих світлодіодів, у тому числі для поверхневого монтажу. Дуже широка лінійка світлодіодних модулів (лінійні, гнучкі й ін.).

Чіпи й окремі світлодіоди роблять компанії: Cree, GEL Core, Vishay Semiconductors. На російському ринку (і ринку СНД) добре відомі також такі тайванські виробники: Kingbright Electronics, Ligitek Electronics, Para Light Electronics Co. Светодиоды, у тому числі білого світла, випускаються й у Росії фірмами «Корветлайтс», «Прогон», «Транслед», НПЦ ОЭП ОПТЭЛ, «Оптоника», «Світлана Оптоелектроніка».

По конструкції й технологічному виконанню російські світлодіоди не гірші ніж закордонні. Перераховані компанії мають відповідні патенти.

Якщо порівнювати показники якості білих світлодіодів: дешевих і більш дорогих, як правило, високоякісних, які поставляються на світлодіодний ринок російськими й закордонними компаніями – Nichia, Lumileds і

ін., більш дешевим світлодіодам властиві наступні особливості: протягом перших 4000 годин наробітку навіть у нормальних кліматичних умовах відбувається падіння яскравості на 35% через пожовтіння світлодіодної колби з епоксидного матеріалу, потемніння металевого покриття лунки відбивача, у яку поміщений світлодіодний чіп, а також деградації випромінювальної здатності як самого світлодіодного чіпа, так і нанесеного шару люмінофора. У якісних приладах ці проблеми зведені до мінімуму й деградація яскравості світлодіода за 50 000 годин не перевищує 20%.

Яскравість світлодіодів дуже добре піддається регулюванню, але не за рахунок зниження напруги живлення – це робити не можна, – а так званім методом широтно-імпульсної модуляції, для чого необхідний спеціальний керуючий блок. Метод широтно-імпульсної модуляції полягає у тому, що на світлодіод подається не постійний, а імпульсно-модульований струм, причому частота сигналу повинна становити сотні або тисячі герц, а ширина імпульсів і пауз між ними може змінюватися. Середня яскравість світлодіода стає керованою, у той же час світлодіод не гасне. Невелика зміна кольорової температури світлодіода при димируванні незрівнянна з аналогічним зсувом для ламп розжарювання.

Говорячи про температуру світлодіода, необхідно розрізняти температуру на поверхні кристала й в області р-п-переходу. Від першої залежить термін служби, від другої – світловий вихід. У цілому з підвищенням температури р-п-переходу яскравість світлодіода падає, тому що зменшується внутрішній квантовий вихід через вплив коливань кристалічних решіток. Тому так важливий гарний тепловідвід. Падіння яскравості з підвищенням температури не однаково у світлодіодів різних кольорів. Воно більше у AlGaIn- і AeGaAs світлодіодів, тобто в червоних і жовтих, і менше в InGa, тобто в зелених, синіх і білих.

Світлодіоди знаходять застосування практично у всіх областях світлотехніки, за винятком освітлення виробничих площ, та й там можуть використовуватися в аварійному освітленні. Світлодіоди виявляються незамінні в дизайнерському освітленні завдяки їхнім чистим кольорам, а також у світлодинамічних системах. Вигідно їх застосовувати там, де дорого обходиться часте обслуговування, де необхідно жорстко заощаджувати електроенергію й де високі вимоги з електробезпеки.

## Висновки

Найбільш перспективними джерелами світла є світлодіоди, які мають багато переваг у порівнянні з іншими джерелами світла:

1. Робота при низьких температурах: завдяки напівпровідниковій природі світлодіодів їхня яскравість зворотно пропорційна температурі навколишнього

середовища, що робить їхнє застосування особливо актуальним у наших кліматичних умовах. Діапазон температури експлуатації світлодіодів від -50...+60 °С.

2. Висока світловіддача: яскравість білих світлодіодів сьогодні досягає 130лм/Вт у серійному випуску й до 200лм/Вт у лабораторних умовах, а в теорії до 270лм/Вт. Якщо порівнювати: звичайна лампа розжарювання дає до 10лм/Вт спожитої енергії.

3. Чистота кольорів: можливість одержання будь-яких кольорів і відтінків випромінювання світлодіодів: наприклад, чисті сині, чисті білі, жовтогарячі, синьо-зелені і десятки інших чистих кольорів і відтінків – чого не можна одержати, використовуючи лампи розжарювання.

4. Високий рівень безпеки забезпечується малим тепловиділенням світлодіодів і низькою живлячою напругою, що дає можливість їхнього використання під водою (для підсвічування фонтанів, басейнів, акваріумів), в умовах з високими вимогами до вибухозахисності й інших спеціальних умов застосування.

5. Спрямованість випромінювання: випускаються різноманітні модифікації світлодіодів по спрямованості світла з кутами розсіювання світлового потоку від 10 до 140 градусів. Тому конструкція світлодіодів і світильників не вимагає спеціальних відбивачів або розсіювачів.

6. Відсутність ртуті й інших отруйних речовин. Якщо будуть здійснені всі прогнози, пов'язані з дослідженнями й розробками білих Світлодіодів, то витрати на електроенергію для освітлення зменшаться приблизно у два рази.

## Список літератури

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://lighting.sandia.gov>.
2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.svetozone.ru/press/theme/leds/leds\\_9.html](http://www.svetozone.ru/press/theme/leds/leds_9.html).
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://svetila.ru/?action=article&id=10>.
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://electrik.info/main/school/119-pro-dlya-chajnikov.html>.
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rlocman.ru/review/article.html?di=55694>.
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://swetodiod.com/art/28.html>.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.terraelectronica.ru/images/notes/NE2009\\_9\\_4.pdf](http://www.terraelectronica.ru/images/notes/NE2009_9_4.pdf).
8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.soel.ru>.
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.svetila.ru/?action=article&id=9&page=1&rid=32>.
10. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. – 420 с.

Надійшла до редколегії 28.04.2010

**Рецензент:** канд. техн. наук, доцент І.В. Пантелєєва Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

О.Ю. Егорова, А.А. Аблецов

*Анализ перспектив внедрения энергосберегающих технологий в осветительных установках за счёт применения светодиодных источников света. Рассмотрены достоинства, и недостатки различных видов ламп, таких как: лампы накаливания, галогенная лампа, люминесцентные лампы (в том числе компактные люминесцентные лампы), светодиодные лампы. Проведён сравнительный анализ этих источников. Определены направления усовершенствования осветительных установок.*

**Ключевые слова:** энергосбережение, лампы накаливания, люминесцентные лампы, светодиоды.

**PROSPECTS OF USE OF LIGHT-EMITTING DIODE LIGHT SOURCES**

O.Yu. Egorova, A.A. Abletsov

*The analysis of prospects of introduction energy saving technologies in lighting installations for the account of application of light-emitting diode light sources. Advantages, and lacks of various kinds of lamps, such as are considered: bulb lamps, halogen lamp, luminescent lamps (including compact luminescent lamps), light-emitting diode lamps. The comparative analysis of these sources is carried out. Directions of improvement of lighting installations are defined.*

**Keywords:** *energy savings ,bulb lamps, luminescent lamps, light-emitting diodes.*