

УДК

Соловей О.І., Репік А.Б

Інститут Енергозбереження та Енергоменеджменту НТУУ 'КПІ'

Україна, м.Київ, вул.Борщагівська,115, 03056

Моб. телефон: 0968236227 , E-mail: repikeeper@gmail.com

Оновлення вуличного освітлення на основі світлодіодних світильників

Анотація – розглянуто економічне обґрунтування використання світлодіодних світильників для вуличного освітлення Фастівського району, основні переваги використання вуличних світлодіодних світильників. *Ключові слова* – світлодіоди, світильники, освітлення.

Аннотация – рассмотрено экономическое обоснование использования светодиодных светильников для уличного освещения Фастовского района, основные преимущества использования уличных светодиодных светильников. *Ключевые слова* – светодиоды, светильники, освещение.

Abstract - the feasibility study examined the use of LED lamps for street lighting Fastiv district, the main benefits of using outdoor LED lighting fixtures. *Key words* - LEDs, lamps, lighting.

Протяжність електромереж вуличного в Україні становить 78 тисяч кілометрів при загальній довжині вулично-дорожньої мережі - 133 тис. км. Крім того, лише за минулий рік зона освітлення наших доріг скоротилась на 7 тис. км. При колосальних затратах на освітлення - 15% усієї спожитої електроенергії - більше половини доріг і вулиць населених пунктів взагалі не освітлюються.

У світі проблема економії енергетичних ресурсів, яка тісно пов'язана з іншою глобальною проблемою - збереженням навколишнього середовища, якому завдається непоправна шкода викидами в атмосферу при виробництві електроенергії (ЕЕ) тепловими і атомними електростанціями - сьогодні є чи не найголовнішою в усіх сферах людської діяльності, в тому числі і в світлотехніці. Сучасне світове споживання ЕЕ на освітлення - 2650 ТВт/рік, або 19% глобального її споживання (більше, ніж виробництво ядерної енергетики всіх країн світу). Житло, для приклада, споживає 31% цього величезного обсягу енергії.

Проблема енергоекономічності освітлювальних установок (ОУ) приваблива не лише тому, що на штучне освітлення використовується досить значна частина енергоресурсів, а й тому, що тут є великі потенціальні можливості для економії ЕЕ - не менш як 50 % від рівня сучасного споживання. Відомо, що сьогодні значно вигідніше знижувати споживання ЕЕ на освітлення за рахунок сучасних технологій, ніж створювати нові додаткові генеруючі потужності для забезпечення зростаючих потреб в світловій енергії. На створення 1 кВт нових генеруючих потужностей витрачається від 1000 до 3000 доларів США, а на економію 1 кВт потужності в системах освітлення достатньо 200 - 300 доларів США. Тому у багатьох країнах були сформовані спеціальні програми економії електроенергії на освітлення. Загальним для всіх програм методом зниження енергоспоживання (на 30 - 50% за 5 - 7 років) є широке впровадження сучасних засобів освітлення: лінійних люмінесцентних ламп з високоефективними рідкоземельними люмінофорами в колбах діаметром 16 мм (Т5), електронних ПРА, компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ), світло-випромінювальних діодів (СД) та ін.

Розвиток фізики і техніки напівпровідникових джерел світла та застосування їх в світлотехніці за останнє десятиріччя зробили гігантський крок вперед. ХХІ століття уже називають століттям твердотілого освітлення. Сьогодні створено науково-технічне підґрунтя для конкурентної боротьби СД з традиційними джерелами світла - лампами розжарювання (ЛР), розрядними лампами низького тиску (РЛНТ) та розрядними лампами високого тиску (РЛВТ), які є основою сучасної технології електричного освітлення. Можна констатувати, що йде становлення третього

типу електричного джерела світла - СД - повноцінного і в багатьох сферах уже конкурентоспроможного ЛР і розрядним лампам (РЛ) «партнера».

Деякі країни вже зробили своїми пріоритетами розвиток світлодіодної техніки. Це, перш за все, США, Японія, Корея, Китай.

Україна також зробила своїм пріоритетом в розвитку енергоекономічних джерел світла світлодіодну техніку. В 2008 році Кабінетом Міністрів України затверджена Державна цільова науково-технічна програма «Розробка та впровадження енергозберігаючих світлодіодних джерел світла та освітлювальних систем на їх основі» на 2009 - 2013 роки.

Відмови та термін служби світлодіодів

Багато виробників світлодіодів заявляють термін їх служби до 100000 годин безперервної роботи. Однак, ця цифра вводить в оману, бо багато в чому залежить від якості продукції, від умов її використання, а також від критеріїв оцінки надійності світлодіодів. Навіть при використанні високоякісних компонентів, зменшення світлового потоку неминуче - це пов'язано з безліччю чинників, таких як умови відведення тепла, температура навколишнього середовища та вентиляція, вологість та інші параметри. Умови експлуатації, такі як величина і нестабільність струму можуть також суттєво скоротити термін служби. На даний момент не існує жодних стандартів, що визначають термін служби і критерії надійності для світлодіодів, хоча й існують пропозиції авторитетних організацій вважати строком служби час, протягом якого світловий потік деградує до деякого значення (наприклад, 50%) від початкової величини. По-перше, найбільш типовим видом відмови світлодіодів є поступова деградація вихідної потужності в процесі експлуатації. Однак, існуючі стандарти оперують інформацією тільки в термінах постійної інтенсивності відмов. Хоча в більшості випадків характеристики світлодіодів погіршуються поступово, також спостерігалися раптові відмови через зростання дислокацій з периферії активної області, руйнування рп-переходу, зростання дислокацій з окисленого торця або проміжної області, що розділяє торець і діелектричне покриття, і катастрофічного оптичного ушкодження. По-друге, споживачі, які працюють зі світлодіодами, давно зрозуміли, що їх надійність, особливо в частині швидкості деградації, часто залежить від постачальника компонентів. Знання цих двох жорстких обмежень вимагає вироблення тестів на довговічність на основі фундаментального розуміння механізмів відмови.

Класифікація основних відмов

Споживачі, які працюють зі світлодіодами, зазвичай визначають рівень вихідної потужності, при якому вся система вийде з ладу, і потім використовують фізичні моделі для прогнозування часу напрацювання на відмову. Чітке визначення відмови є найбільш критичним місцем, і більшість виробників і споживачів мають власну думку про те, коли оптоелектронний прилад можна вважати таким що вийшов з ладу. Один з методів визначення відмови полягає в тому, щоб зафіксувати струм і стежити за вихідною потужністю приладу, вважаючи прилад непридатним при падінні вихідної потужності нижче певного рівня (зазвичай від 20% до 50%) від початкової величини. Інший метод заснований на контролі падіння вихідної потужності приладу і його компенсації шляхом збільшення керуючого струму. Коли керуючий струм досягає певної відносної величини (наприклад, 50%) прилад вважається таким, що вийшов з ладу. Деякі механізми відмови і дефекти також можуть ініціювати вихід з ладу світлодіодів.[1]

Деградація активної області

Випромінювання світла в світлодіоді відбувається в результаті рекомбінації інжектованих носіїв в активній області. Зародження та зростання дислокацій, також як преципітація вузлових атомів, призводить до деградації внутрішньої частини цієї області. Ці процеси можуть здійснитися лише за наявності дефекту кристалічної структури висока щільність інжектованого струму, розігрів через інжектований струм і струм витоку, а також випромінюване світло прискорюють розвиток дефекту. Вибір матеріалу також має значення, так як система AlGaAs/GaAs набагато більш чутлива до цього механізму відмови, ніж система InGaAs (P) / InP. Система InGaN / GaN (для блакитного і зеленого випромінювання) нечутлива до дефектів, подібних описаним вище. В активних областях цих діодів можуть зустрічатися прості рп-переходи, вбудовані гетероструктури та численні

квантові ями. На кордонах розділу таких структур неминучі зміни хімічного складу або навіть параметрів решітки. При високому рівні інжекції хімічні компоненти можуть мігрувати шляхом електроміграції в інші області. Структурні зміни породжують кристалічні дефекти на кшталт дислокацій і точкових дефектів, які ведуть себе як не випромінюючі центри, що перешкоджають природній випромінюючій рекомбінації і як результат, генерують додаткове тепло всередині активного шару.[2]

Електростатичний розряд і електричне перевантаження

Напівпровідники чутливі до дефектів, що викликані електростатичним розрядом (ЕСР). Видами відмови через ЕСР можуть бути раптова відмова, параметричні зрушення або внутрішні пошкодження, що приводить до деградації СД в процесі подальшої експлуатації. Згідно з існуючими нормативами, чутливість світлодіодів до ЕСР повинна бути більше 100 В при тестуванні на моделі людського тіла. Пробій через перевантаження і ЕСР є суттєвою проблемою для світлодіодів. Іноді розробники використовують діод Зінера або бар'єр Шотки для досягнення певного класу за ЕСР. Більшість комерційних InGaN / GaN світлодіодів формується на сапфірових підкладках, що не мають електричної провідності. Це призводить до залишкового електричного заряду в приладі, що робить його більш чутливим до пошкоджень, викликаних електростатичним розрядом і перевантаженням.

Термічна втома і коротке замикання

Різниця в коефіцієнті термічного розширення у сполучених частин і припою призводить до появи механічних напружень на етапі виготовлення, пов'язаного з термоциклюванням, які можуть викликати розшарування в сполучених частинах. Коли потужний прилад піддається циклічному навантаженню, поведінка приладів, виготовлених, наприклад, з використанням твердого припою і м'якого припою, може відрізнитися. Термічна втома зазвичай спостерігається в приладах, виготовлених з використанням м'якого припою, в той час як прилади, виготовлені з використанням твердого припою, стабільні при циклічному термічному навантаженні. Іноді невідповідний припой і неналежний технологічний контроль може призвести до короткого замикання в приладі. Завдяки відносно високому змочуванню, припой на основі олова може перелитися через край контактної площадки і сформуванати закоротки. Відмови, пов'язані зі складанням в корпус, можуть викликатися герметиком, електродними виводами та фосфором. Термічні напруження в герметиці є найчастішою причиною відмови в світлодіодах. Якщо - внаслідок електричної перевантаження або високої зовнішньої температури - температура корпусу досягає температури переходу скляного наповнювача герметика (Т_д), смола починає швидко розширюватися. Різниця в коефіцієнті термічного розширення внутрішніх компонентів світлодіода може призвести до механічного пошкодження. При дуже низьких температурах може відбутися розтріскування епоксидної композиції, з якої виготовлені лінзи. Висока температура, викликана внутрішнім нагрівом і невипромінюючою рекомбінацією, при досягненні 150 ° С, призводить до пожовтіння епоксидної композиції, що в результаті змінює вихідну оптичну потужність або колір випромінюваного світла[3]. Якщо індекс заломлення герметика не відповідає індексу заломлення напівпровідникового матеріалу, індуковане світло залишається в напівпровіднику, в результаті чого виникає додаткове джерело тепла. У результаті перегріву епоксидної композиції може відбуватися розрив або відділення електродного виводу і зниження міцності з'єднання кристала з підкладкою. Ці проблеми, у свою чергу можуть привести до відшарування кристала і епоксидної композиції СД. Механічні напруги, викликані свинцевими провідниками є ще однією причиною, в результаті якої в приладі може з'явитися обрив. Недотримання вимог до тиску, положення та напрямку в процесі пайки виводів СД може привести до появи механічних напружень при нормальній робочій температурі та згинанню виводів в небезпечній близькості від кристала світлодіода. Більшість білих світлодіодів використовують жовтий або червоний / зелений люмінофор, які схильні до термічної деградації. Коли розробники змішують два або більше різних люмінофора, складові повинні мати порівняно однаковий термін життя та характер деградації для

забезпечення насиченості кольору. Слід пам'ятати - колірна температура і чистота кольору люмінофора також деградує з часом.

Проблеми використання неякісних світлодіодів в світильниках вуличного освітлення

Для відводу тепла і зниження температури переходу існує декілька підходів, і провідні компанії (Osram, Nisha Corp, Cree та ін.) оволоділи цими сучасними технологіями, забезпечуючи високу якість продукції[5].

При розробці конструкції світильника багато виробників нехтує проблемою відводу тепла, не зважаючи на те, що тепловиділення на світлодіодній платі не повинно перевищувати 40°. Це одна з головних характеристик, тому що при підвищенні температури, кристал світлодіода починає суттєво деградувати. Також слід пам'ятати, що використання неякісних матеріалів при розробці світлодіодних плат, може також привести до деградації СД (При нагріванні СД на платі можуть виділятися хімічні сполучення, що руйнують кристали СД) .

Багаточисельні дрібні виробники і споживачі світлодіодних чіпів мають значно менше інструментів для зниження вартості світлодіодного світла, тому, прагнучи економічних показників, вдаються до несумлінної конкуренції, наприклад, в яскравих білих світлодіодах встановлюють дешеві кристали (з доступних на ринку), призначені для роботи при інших струмах (до 5 мА), які не витримують тривалої роботи при струмах ~ 20 мА без суттєвої деградації. За початковими параметрами ці СД визнаються придатними, бо яскравість, світловий потік, осьова сила, падіння напруги на переході, координати колірності та інші параметри відповідають зазначеним в специфікації. Але до 1000 - 1500 годин роботи значна їх частина суттєво деградує - світловий потік зменшується до 50 %, спостерігається зміна колірних параметрів.

Основні переваги використання вуличних світлодіодних світильників

- Тепловиділення - не більше 40°C на світлодіодній платі. (Це одна з головних характеристик, тому що при температурі понад 70°C кристал світлодіода починає деградувати і значно знижується термін його служби)
- Термін окупності - від 1,5 до 3 років.
- Термін служби світлодіодів - не менше 80 тисяч годин. Це зумовлено зменшенням струму, який проходить через світлодіодний чіп, а також використанням гарантовано якісних світлодіодів від світових лідерів. За цей час галогенну лампу доведеться замінити близько 120 разів, а металогалогенні - 35 разів. Але реальний термін служби світильників, виробник визначає по найбільш вразливому елементу конструкції - драйверу струму, термін служби якого не менше 50 тисяч годин, що становить 13 років експлуатації рік (з розрахунку роботи світильника 10.5 годин на добу)[4].
- Показник використання світлового потоку вуличних консольних світлодіодних світильників наближається до 100%, тоді як у стандартних вуличних світильників – 60-75%. Потужні світлодіоди представляють собою ідеальні точкові джерела світла з вбудованою корегуючою оптикою, що забезпечує ідеальне формування заданих діаграм спрямованості світлового потоку (завдання практично нездійсненне для інших джерел).
- Стабільна робота в будь-яких кліматичних умовах від +70 ° С до -60 ° С.
- Зниження в 5,7 разів витрат на електроенергію в порівнянні з вуличними світильниками з лампою ДРЛ (розрахунки приведені в розділі **Економічне обґрунтування використання вуличних світлодіодних світильників**)
- Зниження споживаного струму без збільшення пускового струму.
- Екологічна безпека і збереження навколишнього середовища. Світлодіодні консольні вуличні світильники не вимагають спеціальної утилізації, тому що не містять ртуті, її похідних і інших отруйних або шкідливих складових.
- Вибухобезпечність.
- Підвищена електробезпека при експлуатації.

- Стабільна робота при перепадах напруги . Світильники які використовуються в даний час для вуличного освітлення з лампами ДРЛ і ДНаТ працюють при перепадах напруги нестабільно, враховуючи час на повторний перезапуск
- Повна відсутність небезпеки перевантаження електромереж у момент включення.
- Миттєве запалювання при подачі напруги живлення і незалежність працездатності від низьких температур навколишнього повітря. Світильники які використовуються в даний час для вуличного освітлення з лампами ДРЛ і ДНаТ запускаються при низьких температурах нестабільно.
- Безпека руху та збереження здоров'я - забезпечення кращої видимості, чіткості кордонів і сприйняття глибини простору за рахунок більшої (в 400 разів) контрастності; відсутність сліпучого ефекту за рахунок спеціально сформованого кута розкриття світлового потоку.
- Індекс кольоропередачі - 80-85%
- Не потрібно додаткове сервісне обслуговування на весь термін експлуатації
- Показник використання світлового потоку вуличних консольних світлодіодних світильників дорівнює 100%, тоді як у стандартних вуличних світильників 60-75%.
- Ефективна світловіддача при малих струмах. Споживаний струм світлодіодних вуличних світильників дорівнює 0,4 - 0,6 А, тоді як у світильника з газорозрядною лампою споживаний струм становить 4,6 А, а пусковий - 7,8 А.
- Світлодіодні вуличні світильники (на відміну від світильників з газорозрядною лампою) мають можливість регулювання яскравості за рахунок зниження напруги живлення. СНІП 23-05-95 для економії електроенергії допускає в нічний час зниження рівня освітленості для вуличного освітлення на 30-50% (пункт 7,44). Застосування вуличних світлодіодних світильників дозволяє здійснювати дані рекомендації шляхом зниження напруги живлення. При цьому не змінюється спектральний склад випромінювання і кольоропередача.
- При монтажі світлодіодних вуличних та промислових світильників потрібен кабель меншого перерізу, що також є статтею економії.
- Шафи управління освітленням при використанні СД світильників потребують комплектуючих меншої потужності, що також є статтею економії.

Основні технічні характеристики світлодіодного світильника «Атіох LED40»

Загальний вигляд	Назва характеристики	Технічні дані
	Електрична напруга, В	170-260
	Потужність, Вт	56
	Кількість світлодіодів, шт	40
	Кут випромінювання, град	115
	Світловий потік, лм	До 5200
	Колір світіння	Холодний білий
	Індекс кольоропередачі CRI(Ra)	80
	Світлова віддача, лм/вт	До 122
	Світлодіод , виробник	Cree, США

Ступінь захисту	IP54
Температурний робочий діапазон, градусів	Від -40 до +50
ККД	Не менше 90%
Габаритний розмір, мм	600x268x78
Корпус	Оцинкований з порошковим поліефірним покриттям
Розсіювач	полікарбонат
Матеріал СД плати	A1
Можливість встановлення вторинної оптики	Так
Термін служби світлодіодів, годин	Не менше 80 000
Термін служби світильника, годин	Не менше 50 000

Економічне обґрунтування використання вуличних світлодіодних

Розрахунок експлуатації одного вуличного світлодіодного світильника (фактично споживаюча потужність 56 Вт)

Рік експлуатації	Спожита потужність за рік (з розрахунку 10.5 годин на добу), кВт	Ціна за 1 квт, грн, з урахуванням +10% щорічного	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн	Затрати на закупку, установку, поточні заміни та	Всього, грн	Накопичувально, грн	Порівняль но з ДРЛ 250, грн
1	214,62	0,93	199,60	3500,00	3699,60	3699,60	1359,04
2	214,62	1,02	219,56	0	219,56	3919,15	-442,01
3	214,62	1,13	241,51	0	241,51	4160,66	-2464,56
4	214,62	1,24	265,66	0	265,66	4426,33	-4482,97
5	214,62	1,36	292,23	0	292,23	4718,56	-6744,63
6	214,62	1,50	321,45	0	321,45	5040,01	-9026,04
7	214,62	1,65	353,60	0	353,60	5393,61	-11577
8	214,62	1,81	388,96	0	388,96	5782,56	-14176,66
9	214,62	1,99	427,85	0	427,85	6210,42	-17077,68
10	214,62	2,19	470,64	0	470,64	6681,06	-20062,41
11	214,62	2,41	517,70	0	517,70	7198,76	-23387
12	214,62	2,65	569,47	0	569,47	7768,23	-26837,66
13	214,62	2,92	626,42	0	626,42	8394,65	-30674,78
					8394,65		

Період експлуатації визначається по найбільш вразливому елементу конструкції світильника - драйверу струму, гарантійний період експлуатації якого є не меншим чим 50 000 годин. Термін служби світло діодів, які використовуються

Розрахунок експлуатації одного вуличного світильника ДРЛ-250 (фактично споживаюча потужність 320 Вт)

Рік експлуатації	Спожита потужність за рік (з розрахунку 10.5	Ціна за 1 квт, грн, з урахуванням +10%	Сума оплати за спожиту електроенергію	Затрати на закупку, установку, поточні заміни та	Всього, грн	Накопичувально , грн	Порівняль но із СД, грн
1	1226,4	0,93	1140,55	1200	2340,55	2340,55	-1359,04
2	1226,4	1,02	1254,61	766	2020,61	4361,16	442,01
3	1226,4	1,13	1380,07	884	2264,07	6625,23	2464,56
4	1226,4	1,24	1518,07	766	2284,07	8909,30	4482,97
5	1226,4	1,36	1669,88	884	2553,88	11463,18	6744,63
6	1226,4	1,50	1836,87	766	2602,87	14066,05	9026,04
7	1226,4	1,65	2020,56	884	2904,56	16970,61	11577
8	1226,4	1,81	2222,61	766	2988,61	19959,23	14176,66
9	1226,4	1,99	2444,87	884	3328,87	23288,10	17077,68
10	1226,4	2,19	2689,36	766	3455,36	26743,46	20062,41
11	1226,4	2,41	2958,30	884	3842,30	30585,76	23387
12	1226,4	2,65	3254,13	766	4020,13	34605,89	26837,66
13	1226,4	2,92	3579,54	884	4463,54	39069,43	30674,78
					39069,43		

Висновок : Починаючи з третього року експлуатації світлодіодні є самоокупними, що відповідає європейським вимогам по інноваційній політиці в галузі енергозбереження (окупність інвестицій не повинна перевищувати трьох років)

Економічне обґрунтування використання світлодіодних світильників для вуличного освітлення Фастівського району

В місті Фастів та районі розташовано 4920 світильників, які використовують лампи ДРЛ та ДНаТ фактичною потужністю 320 Вт.

Затрати на купівлю, монтаж та обслуговування одного світильника становлять 3500грн., то загальна сума для заміни 4920 світильників дорівнює 17,2 млн. грн.

Обчислюємо річну економію електроенергії для світло діодів (з урахуванням того, що тариф на електроенергію 0,93 грн./кВт·год):

$$E_{\text{річ.квт}\cdot\text{год}} = \frac{320-56}{1000} \cdot 3780 = 4\,909\,766 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

В грошовій формі:

$$E_{\text{річ. грн.}} = 4\,909\,766 \cdot 0,93 = 4\,566\,083 \text{ грн.}$$

Термін окупності світлодіодних світильників:

$$T_{\text{ок}} = \frac{17220000}{4566083} = 3,8 \text{ роки}$$

З урахуванням щорічного подорожання електроенергії на 10% термін окупності зменшиться та становитиме:

$$T_{\text{ок } 1} = 17220000 - 4\,566\,083 = 12\,653\,917 \text{ грн.}$$

$$T_{\text{ок } 2} = 12\,653\,917 - 5\,007\,961 = 7\,645\,956 \text{ грн.}$$

$$T_{\text{ок } 3} = 7\,645\,956 - 5\,548\,035 = 2\,097\,921 \text{ грн.}$$

$$T_{\text{ок } 4} = 2\,097\,921 - 6\,088\,109 = -3\,990\,188 \text{ грн.}$$

Розрахунки показують, що термін окупності дорівнює 3,4 роки.

Література

1. Никифоров С. Проблемы, теория и реальность светодиодов // Компоненты и технологии. – 2005. – № 5.
2. Бадгутдинов М. Л. Спектры люминесценции, эффективность и цветовые характеристики светодиодов белого свечения на основе p-n- гетероструктур InGaN/GaN, покрытых люминофорами / М. Л. Бадгутдинов, Е. В. Коробов и др. // Физика и техника полупроводников.– 2006. – Т. 40. – № 6.
3. Бланк Т. В. Механизмы протекания тока в омических контактах металл-полупроводник / Бланк Т. В., Гольдберг Ю. А. // Физика и техника полупроводников. – 2007. – Т 41.– № 11.
4. Юнович А.Э. Современное состояние светодиодов и тенденции развития светодиодов и светодиодного освещения // Светотехника. – 2007.– №6.– С. 13–16.
5. www.svitlo-lux.com.ua