

УДК 628.917

В.М. Сорокін¹, В.П. Копнін², А.Ф. Серий², О.М. Климчук³, І.В. Пігольчук³¹ Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАНУ, Київ, Україна² Товариство з обмеженою відповідальністю «Науково-виробнича фірма «Газотрон-Лайт», Рівне, Україна³ Товариство з обмеженою відповідальністю «Техмік», Рівне, Україна

ЩЕ РАЗ ПРО НЮАНСИ ТЕПЛООВОГО ОПОРУ В КОНТЕКСТІ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Аналізуються проблеми теплового менеджменту освітлювальних приладів на основі світлодіодів, відмічається невизначеність такого параметру, як ефективність світлодіодів. Аналізується залежність теплового опору від співвідношення фізичних процесів, задіяних в оптимізації теплового режиму, таких як кондукція і конвекція. Проводиться попередній розрахунок кількох схем тепловідведення багатодіодного світлового поля, порівняння розрахункових даних з результатами експериментальних досліджень.

Ключові слова: освітлення, світильник, світлодіод, тепловий опір, тепловий менеджмент

Вступ

Дана стаття продовжує тему, розпочату в роботі [1]. Йдеться про залежність теплового опору світильника на світлодіодах (СВД) від співвідношення фізичних процесів, задіяних в оптимізації його теплового режиму. В сьогодиншній термінології це зветься тепловим менеджментом освітлювального приладу (ОП).

Точкова концентрація електроенергії, з якою пов'язане світлодіодне освітлення, здавалося б спонукає до мініатюризації світильника, але необхідність розсіювання тепла і світлового потоку потребує відповідних за розмірами з одного боку радіатора, з іншого – світлорозсіювача. Доволі привабливі умови в цьому відношенні складаються в світильниках для підвісних стель. Характерним прикладом є модернізація під СВД растрових світильників «Армстронг». Модернізація їх зводиться до заміни люмінесцентних ламп на ланцюги СВД, вмонтовані в світильник в той чи інший спосіб. При цьому споживана потужність світильника зменшується, а його габарити і громіздка конструкція, залишаються. Розраховані на використання люмінесцентних ламп трубчатого типу вони виявляються надлишковими при використанні СВД. Це протиріччя легко долається в алюмінієвій підвісній стелі ТМ CBS [2], одним з елементів якої є алюмінієва касета з розмірами 300 мм х 300 мм. На базі даної касети і ґрунтується реалізація технічних рішень, покладених в основу даного проекту. На відміну від світильника типу «Армстронг», призначеного переважно для офісних приміщень, світильник на базі касети ТМ CBS доступний для використання в побутових умовах, в тому числі і при відсутності підвісної стелі.

Останнім часом все більшої популярності набувають натяжні стелі, що потребує певної специфіки при виборі систем і засобів освітлення [3]. В цьому відношенні буде доречним зауваження одного з відомих в галузі світлотехніки спеціалістів (Андрій Туркін, керівник групи розвитку компанії Xlight) [4]: «Робити лампи зі стандартним цоколем під стандартні патрони (E27) на світлодіодах і використовувати їх у стандартних світильниках в силу багатьох причин **не зовсім правильно** (інший, ніж у ламп розжарювання розподіл світла, принципово інший характер відводу тепла і т. д.)».

Аналіз проблем, пов'язаних з реалізацією проекту

Головним процесом, задіяним в процедурі теплового менеджменту ОП, є процес перетворення електричної енергії в світлову. Ефективність цього процесу у СВД значно вища, ніж у ламп розжарювання, але і в них значна частина споживаної енергії перетворюється в тепло. За даними [5] СВД холодного білого кольору світіння зі світловим виходом в 100 лм виробляє близько 330 мВт оптичної енергії на один Вт прикладеної електричної енергії. Решта 670 мВт перетворюється в тепло.

З ростом температури кристала падає інтенсивність випромінювання СВД, змінюються його спектральні характеристики, зменшується строк служби. Тому оптимізація теплового режиму при проектуванні СВД світильника є першочерговою проблемою. При цьому ефективність СВД відіграє першорядне значення.

На жаль вже тут розпочинаються проблеми, які ускладнюють чесне порівняння характеристик СВД. Чи не найбільшою з них, є те, що вендори [6] (по-

стачальники) СВД не враховують світловий вихід при розрахунку теплової потужності своїх СВД. Як правило, виробники визначають потужність, що розсіюється СВД, як добуток прямої напруги на загальний прямий струм, не враховуючи ефективність перетворення струму в світло, що ставить у несприятливе становище на ринку тих виробників, які коректно застосовують фізичні принципи при вимірах теплових характеристик.

Ефективність тепловідведення характеризується таким параметром, як тепловий опір. Тепловий опір СВД (р-п переходу) стандарт EIA / JEDEC JESD51.1 визначає з рівняння:

$$R_{\theta} = (T_J - T_X) / P_H, \quad (1)$$

де T_J – температура р-п переходу, T_X – температура в визначеній контрольній точці, P_H – тепла потужність, що розсіюється світлодіодом.

Однак стандарт не дає пояснень про те, як розраховується потужність P_H , тому в більшості випадків вона розраховується як добуток прямої напруги, прикладеної до СВД, на струм СВД ($P_H = U_f \cdot I_f$). Але ж, на відміну від звичайних діодів, компонента струму СВД, яка пов'язана з випромінюючою рекомбінацією, повинна бути виключена з розрахунку P_H [6] бо пов'язана з нею енергія випромінюється у вигляді світла.

На цю обставину, як на помилку, яка часто зустрічається в літературі вказується і в роботі [7]. Як приклад наведемо роботу [8], де автор допускається цієї помилки, посилаючись при цьому на спеціалістів такого відомого виробника СВД, як американська фірма Cree. Є в цій роботі і інші недоліки, пов'язані з розрахунками теплового опору та інтерпретацією отриманих результатів. Оскільки ця робота, певною мірою, стала відправною точкою на-

ших досліджень, окремі її положення були піддані нами більш прискіпливому аналізу.

Мова йде про використання в якості друкованої плати (ДП) для СВД ОП склотекстоліту FR-4, який коштує дешевше, але має більший тепловий опір порівняно з ДП на металевій основі. Для покращення теплопровідності ДП із склотекстоліту використовується свердління отворів з наступною їх металізацією, які використовуються для електричного з'єднання між шарами фольги. В таблиці 1 та на рис.1 наводяться деякі дані з цієї роботи, які в подальшому будуть нами використані.

Таблиця 1

Параметри ДП		
Матеріал шарів	Товщина, м	Теплопровідність, Вт/м·К
Паяльна паста SnAgCu	$75 \cdot 10^{-6}$	58
Фольга Cu	$70 \cdot 10^{-6}$	398
Склотекстоліт FR-4	$1 \cdot 10^{-3}$	0,2
Алюміній	$0,5 \cdot 10^{-3}$	150

Інженери Cree рекомендують свердлити отвори діаметром 0,254 мм, з кроком між центрами 0,635 мм, бо отвори великого діаметру можуть виявитись не заповненими припоєм, а при діаметрі отворів менше 0,3 мм рівномірне заповнення отворів припоєм досягається завдяки силі поверхневого натягу розплавленого припою в середині отвору, яка протидіє силі тяжіння. Ця технологія поєднує розумний компроміс між продуктивністю і технологічністю.

А кількома абзацами раніше йшлося про те, що «загалом фірма Cree дотримується думки, що порожнисті металізовані отвори більш практичні і ефективні, ніж отвори, заповнені припоєм».

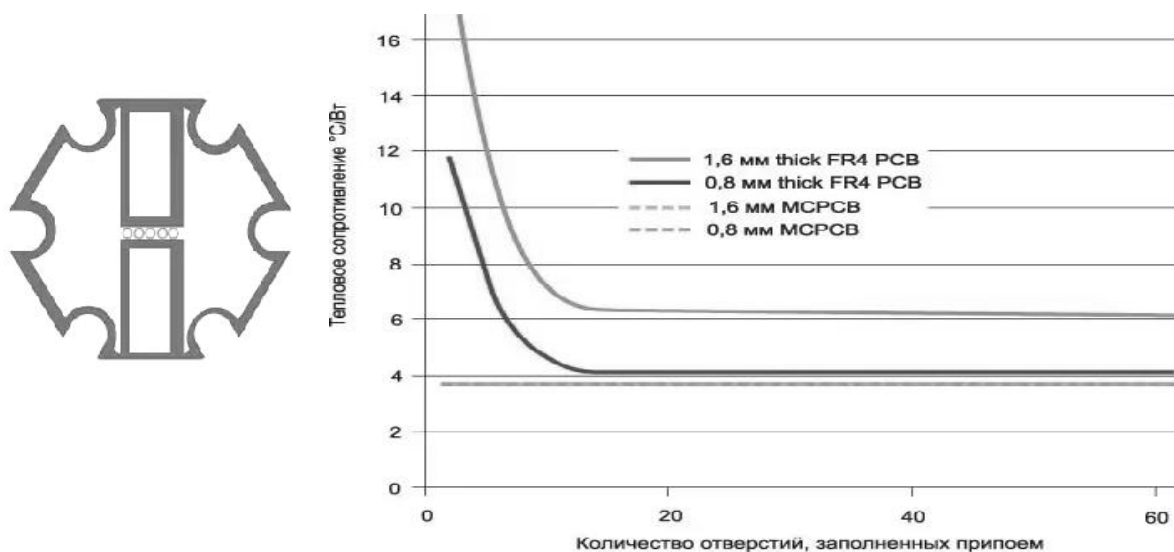


Рис. 1 Дизайн плати і діаграми теплового опору ДП із FR-4 з різною кількістю теплових отворів.

Підставою до такого твердження слугували такі дані: «Для отвору діаметром 0,6 мм з товщиною обміднення 35 мкм площа мідного колючка покриття складе всього 0,06 мм². А якщо його заповнити припоєм площа збільшиться до 0,28 мм², а тепловий опір зменшиться з 441°C/Вт до 96,8°C/Вт». Але ж різниця між «441°C/Вт і 96,8°C/Вт» досить суттєва і є сумнівною підставою до такого твердження. Наші розрахунки показали, що автор тут допустився помилки: замість теплопровідності **обмідненої** стінки отвору в обох випадках бралась теплопровідність припою. З врахуванням цього тепловий опір порожнистого **обмідненого** отвору становить 64,35°C/Вт, а тепловий опір цього ж отвору, заповненого припоєм, становить 42,4°C/Вт. Різниця, як бачимо, невелика і тепер стає зрозумілою вказана вище думка фірми Cree.

Ще одне твердження, потребує, принаймні, нашого коментаря: «збільшення кількості отворів більше 5 і ширини теплових площадок більше 6 мм не приводять до суттєвого зменшення теплового опору».

Як видно з рис.1 між наведеною тут цифрою 5 і даними діаграми є суттєва невідповідність. Крім того в роботі відсутнє будь-яке трактування отриманих результатів. Спробуємо заповнити цю прогалину.

Відомо, що існує три основних способи розповсюдження тепла в навколишньому середовищі: теплопровідність або кондукція, конвекція і випромінювання. Ці процеси пов'язані з такими параметрами радіатора, як теплопровідність і теплорозсіююча здатність поверхні радіатора. Відповідно і тепловий опір радіатора можна представити як суму складових, які визначаються цими його параметрами, а саме:

- **кондукційна** складова, яка визначається теплопровідністю і розраховується за формулою:

$$R_{\text{к}} = \delta / (k \cdot S), \quad (2)$$

де k – коефіцієнт теплопровідності, δ і S – товщина шару і площа контактної площадки, через які відводиться тепло;

- **конвекційна** складова, яка визначається теплорозсіюючою здатністю поверхні радіатора. Цю складову простіше визначити експериментально, ніж розрахувати.

Теплове випромінювання в температурному діапазоні роботи СВД суттєвої ролі в охолодженні радіатора не відіграє. З іншого боку, при експериментальному визначенні конвекційної складової в її складі буде враховане і теплове випромінювання, яке, як і конвекція, визначається поверхнею радіатора.

Всі розрахунки теплового опору, проведені в роботі [8], обмежуються виключно кондукційною складовою теплового опору. Про конвекційну складову ми можемо судити з такого речення: «*вважається, що використовується теоретично ідеальний радіатор, який підтримує температуру нижнього шару плати 25 °C*», та з даних заключної таблиці, де вказана температура оточуючого повітря 20 °C, і потужність СВД, задіяних в експерименті 1,17 Вт.

Виправляючи відмічену кількома абзацами вище помилку автора, приймаємо, що при споживаній потужності 1,17 Вт в тепло перетворюється біля 70% електроенергії, тобто **тепловий еквівалент** СВД становить $0,7 \cdot 1,17 \text{ Вт} = 0,82 \text{ Вт}$. За цими даними конвекційна складова теплового опору такого *теоретично ідеального радіатора* становитиме:

$$(25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) / 0,82 \text{ Вт} = 6,1^\circ\text{C/Вт}. \quad (3)$$

Це означає, що збільшуючи кількість теплових отворів, ми зменшуємо лише кондукційну складову теплового опору. При цьому (і це видно з діаграми, принаймні для 1,6 мм FR-4) сумарне значення теплового опору може як завгодно близько наближатися до величини конвекційної складової (6,1 °C/Вт), але меншим від нього не стане. Фізично це означає, що досягнувши певного порогу, який визначається конвекційною складовою, подальше збільшення кількості отворів не приводить до суттєвого зменшення теплового опору радіатора, – більшу кількість тепла, яке доходить до поверхні радіатора, уже не здатен розсіяти даний радіатор. Понизити цей поріг можна лише підвищивши конвекційну ефективність радіатора (збільшивши площу охолоджуючої поверхні, покращивши умови охолодження і т. д.).

До речі, щоб підтримувати температуру нижнього шару плати FR-4 завтовшки 1 мм на рівні 25 °C, потрібен уже інший радіатор. В заключній таблиці роботи [8] з'являється ще один радіатор з тепловим опором 14,7 °C/Вт, що аж ніяк не відповідає поняттю *теоретично ідеального радіатора*, – очевидно в різних експериментах використовувались різні радіатори.

Завершимо цей аналіз запитанням, на яке робота [8] не дає відповіді. Двосторонній склотекстоліт, свердління і металізація великої кількості отворів малого діаметра, – чи доречна така заміна фольгованого алюмінію, коли мова йде про одинокий СВД великої потужності? Інша річ, коли це пов'язано з необхідністю створення поверхні, що рівномірно світиться (світлового поля). Таку поверхню можна отримати, використовуючи СВД невеликої потужності, встановлюючи їх з меншим кроком. В кінцевому підсумку це дозволить знизити або повністю позбутися таких неприємних ефектів, як множинні півтіні і пікселізація [9].

Світлодіод це прилад з високою світловіддачею (на малих струмах). Але, підвищуючи потужність випромінювання (збільшуючи робочий струм), ми одночасно знижуємо його ефективність (і навпаки). І питання полягає в тому, щоб знайти золоту середину – підібрати такий режим роботи, при якому обидва параметри (ефективність і світловий потік) мають прийнятні значення [10].

Такий підхід вносить певну специфіку і в тепловий менеджмент світильника, – теплова потужність СВД, розтікаючись по фользі ДП, зменшує щільність теплового поля і, відповідно, навантаження на одиницю поверхні радіатора. Оптимізуючи таким чином теплове навантаження на СВД, ми одночасно зменшуємо і точкову яскравість, з якою пов'язують ефекти блискотності та осліпленості.

Реалізація проекту

На рис. 2 представлено зовнішній вигляд світильника, а на рис. 3 його будову.



Рис.2. Зовнішній вигляд світильника

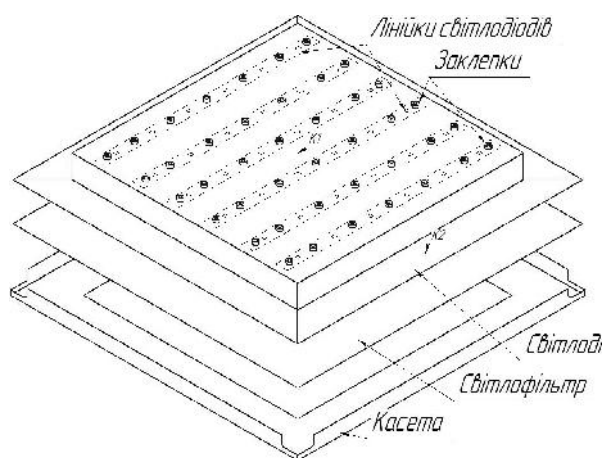


Рис.3. Будова світильника

Касета розміром 300 мм х 300 мм має вікно розміром 225 мм х 225 мм, яке закривається пласти-

ною світлотехнічного полістиролу. В касету входить СВД блок, який представляє з себе короб, сформований з пластини АМц розміром 350 мм х 350 мм х 0,5 мм. Короб являється радіатором СВД. На днищі короба розміром 236 мм х 236 мм (центральна частина радіатора) розміщено 6 лінійок СВД. Лінійки розміщені на внутрішній стороні днища короба, – на рис. 3 вони показані умовно. Периферійну частину радіатора представляють стінки короба висотою 28 мм і фланець шириною 32 мм. Літерами К1, К2 показані точки, в яких проводилось вимірювання температури радіатора.

На рис. 4 представлено один з варіантів лінійки (варіант 1), виконаний на СВД ML-E у кількості 6 шт. Світлодіоди ML-E мають електрично ізольовані теплові площадки. Схема ДП виконана так, що теплові площадки всіх СВД з'єднані між собою і з головками заклепок, якими ДП кріпляться до пластини радіатора.

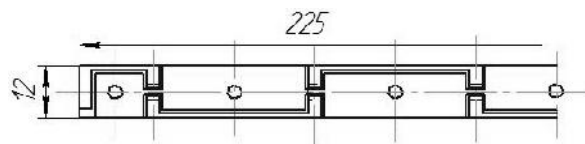


Рис. 4. Схема ДП з СВД ML-E

Заклепки підключаються паралельно з товщиною склотекстоліту і створюють додаткові шляхи тепловідведення від фольги ДП до радіатора.

Шлях проходження тепла в такому блоці в спрощеному вигляді можна представити так: сукупність СВД створюють теплове поле, яке від теплових площадок СВД через шар припою і контактні площадки ДП проходить в товщу фольги і розтікається нею по всій поверхні склотекстоліту. Далі тепло проходить через склотекстоліт в ділянки радіатора, які контактують з ДП, і розтікається в товщі пластини радіатора, заповнюючи центральну частину радіатора (днище короба), його периферію (стілки і фланець короба) і розсіюючись в оточуюче середовище.

Попередні розрахунки

Особливістю цих розрахунків є представлення параметрів теплових переходів сукупності СВД в їх сумарному вимірі.

На шляху теплового потоку зустрічаються поперечні і поздовжні теплові переходи. Як показують попередні розрахунки тепловим опором поперечних переходів, таких як: товщина припою, товщина фольги, товщина пластини радіатора порівняно з тепловим опором склотекстоліту і поздовжніх переходів в смугах фольги і пластини радіатора можна знехтувати. Результати попередніх розрахунків теплових опорів (R_{Σ} , °C/Вт) цих визначальних переходів представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Теплові опори переходів

Пере- ре- хід	Вихідні дані розрахунків			R_{Σ} , °C/Вт
	$\delta \cdot 10^{-3}$ м	$S \cdot 10^{-3}$ м ²	k, Вт/(м °C)	
1	16,5	0,0454	398	0,91
2	1	10,7	0,2	0,47
3	75	0,5	150	1

Коментарі до вихідних даних, використаних при цих розрахунках:

Перехід 1 – смуги фольги, що з'єднують теплові площадки СВД з головками заклепок: δ – довжина смуги; S – сумарна площа поперечного перетину всіх 72-х смуг; R_{Σ} – тепловий опір такої сукупної смуги.

Перехід 2 – пластина склотекстоліту, без коментарів.

Перехід 3 – периферійні сектори пластини радіатора $\delta = 75 \cdot 10^{-3}$ м; $S = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м². Вважаємо, що теплове поле ДП рівномірно заповнює центральну частину пластини радіатора, контури якої складають квадрат зі стороною 200 мм. Від контурів цього квадрату тепло віялом розходить по чотирьох секторах периферії радіатора. Кожний з цих секторів представляє рівнобедрену трапецію з висотою 75 мм ($\delta = 75 \cdot 10^{-3}$ м) і середньою лінією $(300 + 200) \cdot 1/2 = 250$ мм ($S = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м²). При цьому ми нехтуємо тепловим опором смуг радіатора, розташованих між ДП, порівняно з тепловим опором периферійних секторів радіатора.

На рис. 4 представлено фрагмент схеми теплових опорів, які зв'язують теплові площадки СВД з контактною поверхнею пластини радіатора.

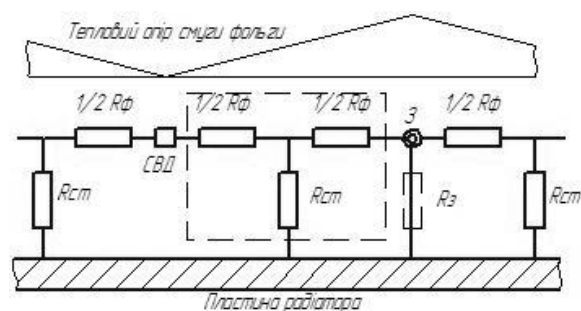


Рис. 4. Фрагмент схеми теплових опорів СВД блоку (варіант 1)

Тепловий опір смуги фольги зростає вздовж її довжини, тому опір склотекстоліту підключається до його середнього значення ($1/2 R_{\phi}$). Повний опір смуги фольги підключається до пластини радіатора через заклепки, опором яких, порівняно з поздовжнім опором смуги фольги, ми нехтуємо.

Як видно зі схеми, ефективність заклепок в варіанті 1 нівелюється поздовжнім опором смуг фольги. В варіанті 2 додано ще по дві заклепки на кожний діод, розташовані на відстані біля 4,5 мм від СВД. Це вносить певні корективи в схему 4, а саме: точка 4,5 мм фольги ділить сукупний опір фольги на дві частини 27% R_{ϕ} і 73% R_{ϕ} ; в ці точки, паралельно ($73\% R_{\phi} + R_z$) з двох сторін СВД підключаються два сукупних теплові опори 42-х заклепок, які за попередніми розрахунками становлять 0,043 °C/Вт. Еквівалентний опір такої скорегованої схеми складає 0,14 °C/Вт.

В варіанті 3 використана більша кількість СВД меншої потужності. На рис.5 представлена лінійка з 12 СВД HL-A.

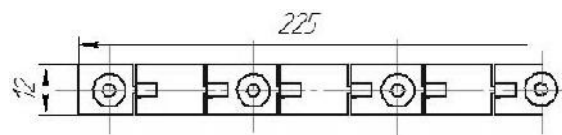


Рис. 5. Схема ДП з СВД HL-A

Теплові площадки світлодіодів HL-A не ізолювані від електродів СВД, тому головки алюмінієвих заклепок ізолювані від фольги і їх участь в тепловідведенні обмежена лише збільшенням за їх рахунок площі контактування склотекстоліту з радіатором (біля 10%). За рахунок більшої кількості діодів суттєво скорочується і довжина смуги фольги, через поздовжній опір якої підключається опір склотекстоліту.

В таблиці 3 наведені розрахункові дані по тепловим опорам переходів СВД – центр радіатора (точка K1) і СВД – периферія радіатора (точка K2) для різних варіантів ДП.

Таблиця 3
Тепловий опір різних варіантів ДП

Перехід	Тепловий опір, °C/Вт		
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
СВД – K1	0,7	0,14	0,54
СВД – K2	1,7	1,14	1,54

Зауважимо, що в даних розрахунках мова йде лише про кондукційну складову теплового опору.

Експериментальні дані

Живлення СВД блоку усіх трьох варіантів здійснюється від одного і того ж джерела живлення (драйвера). Споживана потужність СВД 28,8 Вт. Приймаємо, що в тепло перетворюється 70% споживаної СВД потужності, тобто сумарний тепловий еквівалент СВД становить $P = 28,8 \text{ Вт} \times 0,7 = 20 \text{ Вт}$.

Вимірювання температури проводилось в експлуатаційному режимі (в касеті діодами до низу). Ці дані представлені в таблиці 4.

Таблиця 4

Параметр, позначення, одиниця виміру	Варіанти ДП			
	1	2	3	4*
Температура СВД, $T_d, ^\circ\text{C}$	81	66	68	72
Температура радіатора, центр (точка K1), $T_{pc}, ^\circ\text{C}$	52	52	50	49
Температура радіатора, периферія (точка K2), $T_{rp}, ^\circ\text{C}$	45	42	43	45
Середня температура радіатора, $T_{pc} = (T_{pc} + T_{rp})/2, ^\circ\text{C}$	48,5	47	46,5	47
Температура оточуючого повітря, $T_{op}, ^\circ\text{C}$	24	24	24	24
Конвекційна складова теплового опору радіатора, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$	1,22	1,15	1,12	1,15
Кондукційна складова теплового опору СВД-радіатор, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$	1,62 (1,7)	0,95 (1,14)	1,075 (1,54)	1,25
Тепловий опір СВД – оточуюче повітря, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2,85	2,1	2,2	2,4

*Варіант 4 виконано на тих же ДП, що і варіант 1. Головною відмінністю його від варіанту 1 є товщина пластини радіатора (1мм), дещо менші його розміри (300 мм х 310 мм) і дещо інша конфігурація.

В температурах окремих СВД є певні розбіжності, тому вимірювання температури проводилось на 4-х СВД, розташованих в центрі радіатора, і в якості контрольного обирався діод, температура якого ближча до середньої.

За даними перепадів температур проведені розрахунки теплових опорів різних переходів.

Конвекційна складова теплового опору радіатора визначається за формулою:

$$R_{KB} = (T_{PC} - T_{OP})/P. \quad (4)$$

Кондукційна складова теплового опору послідовності переходів від СВД до радіатора визначається за формулою:

$$R_{KD} = (T_d - T_{PC})/P. \quad (5)$$

Очевидно, що повний тепловий опір послідовності переходів від СВД до оточуючого повітря (СВД – оточуюче повітря) є сумою R_{KB} і R_{KD} і визначається за формулою:

$$R_{\Sigma} = (T_d - T_{OP})/P. \quad (6)$$

В таблиці 4 в дужках вказані значення, отримані за попередніми розрахунками. В варіанті 1 маємо майже повний збіг між розрахунковим і експериментальним значенням кондукційної складової теплового опору переходу СВД-радіатор. Однак не варто надавати великого значення цьому збігу, як і розбіжностям, отриманим в другому і третьому варіантах. По-перше, температура СВД – величина доволі умовна. В нашому випадку це температура контрольної точки в місці спая теплової площадки СВД з контактною площадкою ДП, яку досить складно ідентифікувати. Те ж саме можна сказати і про середню температуру радіатора. По-друге, схема тепловідведення, на якій ґрунтуються попередні розрахунки, має багато спрощень і далека від претензій на повну адекватність реальним процесам. В експериментальних даних суттєву роль відіграє внутрішня конвекція в середині корпуса з СВД, що в попередніх розрахунках кондукційної складової теплового опору не враховувалось. Тим не менше такі розрахунки можуть бути корисними для порівняльної оцінки різних варіантів виконання світлодіодного блоку світильника.

Висновки

В роботі проведено аналіз проблем, пов'язаних з тепловим менеджментом освітлювальних приладів на основі світлодіодів, головною з яких є невизначеність такого параметру, як ефективність СВД. Як правило при вимірюваннях теплових характеристик СВД виробники не враховують ефективність перетворення електричної енергії в світлову, що ставить у несприятливе становище тих виробників, які коректно застосовують фізичні принципи при таких вимірюваннях і створює певні труднощі в виборі ефективних СВД.

Дана роботу продовжує тему залежності теплового опору (ТО) світильника на світлодіодах (СВД) від співвідношення фізичних процесів, задіяних в оптимізації його теплового режиму, основними з яких є кондукція і конвекція. На прикладі однієї з робіт [8], показано, що, як правило, такі розрахунки обмежуються кондукційною складовою. Ігнорування конвекційної складової веде до певних непорозумінь при порівнянні розрахункових і експериментальних даних.

На прикладі багатодіодного світлового поля проведено попередні розрахунки і експериментальні дослідження кількох схем тепловідведення.

Схема тепловідведення, на якій ґрунтуються попередні розрахунки, має багато спрощень і далека від претензій на повну адекватність реальним процесам. Тим не менше для порівняльної оцінки різних варіантів виконання світлодіодного блоку світильника її використання може бути корисним.

Остаточне рішення при цьому залишається за такими параметрами, як світловіддача і довговічність. Є, звичайно, і тут свої нюанси. Але це вже інша тема.

Література

1. Сорокін В. М., Копнін В. П., Серій А. Ф.. Світлодіодна лампа-світильник і деякі нюанси теплового опору / Сорокін В. М., Копнін В. П., Серій А. Ф. Світлотехніка та електроенергетика. 2013, №1 (33), с. 4-13.

2. Офіційний сайт Алюмінієва підвісна стеля ТМ CBS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://cbsmarket.com.ua/>

3. Строительный портал «Экономстрой» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://economstroy.com.ua/stroykaireremonts/3823osvitlenanataag-stel.html>

4. Битва за економію: похоронка для ламп накаливання. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.goodlamps.ru/articles/73/>

5. Кинг М.. Основы управления тепловыми режимами светодиодных светильников/ Кинг М. Время электроники. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2327/doc/56386/>

6. Ежов В.. Стандартизация и расчёт тепловых характеристик мощных светодиодов/ В. Ежов. Время электроники. [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.russianelectronics.ru/developer-r/review/2195/doc/48674/

7. Peter Marx. LED-Anwendungstechnik/Licht, 2009, №3, с. 184-188.

8. Винокуров А.. Расчёт печатных плат светодиодов Cree XP и MX. / Винокуров А. Полупроводниковая светотехника 2010 № 3.

9. Миронов С.. Мировой рекорд светодиодов Cree: 160 люмен на Ватт. [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.compel.ru/.../5-mirovoy-rekord-cree-160-lyumen-na-vatt/

10. Елисеев И.. Новый взгляд на вопрос экономии, или еще раз об энергосбережении/ Елисеев И. Новости Электроники + светотехника. №1 / 2014. Статья 2.

2. Official website of Aluminum ceiling TM CBS [Electronic resource] <http://cbsmarket.com.ua/>

3. Conctruction portal “Ekonomstroy” [Electronic resource]<http://economstroy.com.ua/stroykaireremonts/3823-osvitlena-natag-stel.html>

4. Battle for the economy: the death notice for incandescent lamps. [Electronic resource] <http://www.goodlamps.ru/articles/73/>

5. King, Mike. Basics of thermal management of led lamps. Vremia Ektroniki [Electronic resource] Available at: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2327/doc/56386/>

6. Yezhov, V. Standardization and calculation of thermal characteristics of high power LEDs. Vremia Ektroniki [Electronic resource] Available at: www.russianelectronics.ru/developer/review/2195/doc/48674/

7. Peter Marx. LED Anwendungstechnik//Licht, 2009, no. 3, pp. 184-188.

8. Vinokurov, Andrey. (2010). Calculation of PCB Cree XP LEDs and MX. Poluprovodnikova Svetotekhnika No. 3.

9. Sergey Mironov. World record Cree LEDs: 160 lumen per Watt. [Electronic resource] www.compel.ru/.../5-mirovoy-rekord-cree-160-lyumen-na-vatt/

10. Igor Eliseev. (2014) A new look at the question of economy, or even just about energy efficiency. News Electronics + light. No. 1 . Article 2.

Автор: СОРОКІН Віктор Михайлович

доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, заступник директора Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАНУ, Київ, Україна
e-mail - vsorokin@isp.kiev.ua

Автор: КОПНІН Віктор Павлович

директор Товариство з обмеженою відповідальністю «Науково-виробнича фірма «Газотрон-Лайт», Рівне, Україна
e-mail - kvp@gazlux.rv.ua

Автор: СЕРІЙ Анатолій Федорович

інженер Товариство з обмеженою відповідальністю «Науково-виробнича фірма «Газотрон-Лайт», Рівне, Україна
e-mail - kvp@gazlux.rv.ua

Автор: КЛИМЧУК Олександр Миколайович

директор Товариство з обмеженою відповідальністю «Техмік», Рівне, Україна
e-mail - techmics@rivne.com

Автор: ПІГОЛЬЧУК Ігор Васильович

директор Товариство з обмеженою відповідальністю «Техмік», Рівне, Україна
e-mail - techmics@rivne.com

References

1. Sorokin, V.M., Kopnin, V.P., Seriy A.F. (2013,) Led bulb-lamp and some of the nuances of thermal resistance. Lighting engineering and power engineering. №1 (33), pp. 4-13

ЕЩЁ РАЗ О НЮАНСАХ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В.М. Сорокин¹, В.П. Копнин², А.Ф. Серый², А.Н. Климчук³, И.В. Пигольчук³

¹ Институт физики полупроводников им. ВЕ Лашкарева НАНУ, Киев, Украина

² Общество с ограниченной ответственностью «Науково-виробнича фірма «Газотрон-Лайт», Ровно, Украина

³ Общество с ограниченной ответственностью «Техмік», Ровно, Украина

Анализируются проблемы теплового менеджмента осветительных приборов на основе светодиодов, отмечается неопределенность такого параметра, как эффективность светодиодов. Анализируется зависимость теплового сопротивления от соотношения физических процессов, задействованных в оптимизации теплового режима, таких как кондукция и конвекция. Проводится предварительный расчет нескольких схем теплоотвода многодиодного светового поля, сравнение расчётных данных с результатами экспериментальными исследований.

Ключевые слова: освещение, світильник, светодиод, тепловое сопротивление, тепловой менеджмент.

AGAIN ABOUT THE NUANCES OF THERMAL RESISTANCE IN THE CONTEXT OF LED LINGHTING

V.M. Sorokin¹, V.P. Kopnin², A.F. Seriy², A.N. Klimchuk³, I.V. Piholchuk³

¹ V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Gazotron-Light Ltd, Rivne, Ukraine

³ Tekhmik Ltd, Rivne, Ukraine

The problems of thermal management of lighting devices based on LEDs are analyzed. The uncertainty of such parameter as the efficiency of LEDs is pointed. The dependence of the thermal resistance on the physical processes involved in optimizing the thermal regime, such as conduction and convection is analyzed. For example, multi light field is pre-calculation of several diagrams of the heat sink, compared with the experimental data. Analysis of the problems associated with thermal management of lighting based on LED allows taking into account the conversion efficiency of electrical energy into light which increases the objectivity of the heat sink efficiency.

Keywords: lighting, lamp, led, thermal resistance, thermal management.