

Д. В. ПЕКУР¹, д. т. н. Ю. Є. НИКОЛАЄНКО², д. т. н. В. М. СОРОКІН¹

Україна, м. Київ, ¹Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України,

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

E-mail: demid.pekur@gmail.com, yunikola@ukr.net, vsorokin@isp.kiev.ua

НОВА КОНСТРУКЦІЯ СВІТЛОДІОДНОГО СВІТИЛЬНИКА З ТЕПЛОВИМИ ТРУБАМИ

Запропоновано нову систему охолодження з тепловими трубами для забезпечення нормального теплового режиму світлодіодного джерела освітлення, яке можна використовувати у приміщеннях з низькими стелями. Дослідження системи проводились за допомогою комп'ютерного моделювання. Вони показали, що за потужності світельника 300 Вт температура основи в місці приєднання джерела світла не перевищує 67,6°C. За використання в зоні контакту шару теплопровідної пасти з коефіцієнтом теплопровідності 8,7 Вт/(м·°C) товщиною 0,1 мм це відповідає температурі корпусу 70,0°C. Якщо тепловий опір джерела світла становить 0,1°C/Вт, температура його напівпровідникових кристалів становитиме 100°C, що суттєво нижче припустимого значення температури, яке дорівнює 150°C. Загальний тепловий опір системи охолодження становить 0,159°C/Вт.

Ключові слова: світлодіодний світельник, тепла труба, система охолодження, комп'ютерне моделювання.

Проблема зміни клімату ставить перед людством задачу зменшення шкідливих викидів в атмосферу. Основною причиною збільшення шкідливих викидів та парникових газів в атмосфері є спалювання вугілля на теплових електростанціях з метою вироблення електричної енергії. Часткове вирішення цієї проблеми можливе за рахунок впровадження енергозберігаючих пристроїв та обладнання. Так, заміна традиційних джерел світла на більш ефективні світлодіодні може дозволити заощадити значну кількість електроенергії, що виробляється. З цією метою в останні роки активно розробляються і впроваджуються світельники, які споживають значно менше електроенергії, ніж лампи розжарювання, за умов випромінювання однакового світлового потоку [1]. При цьому, однак, зі збільшенням потужності світлодіода зростає і кількість теплоти, що виділяється в його напівпровідниковому кристалі, що зі свого боку призводить до підвищення температури кристалу і зниження надійності його роботи, зміни світлових і колірних характеристик [2]. Тому при розробці конструкцій світлодіодних освітлювальних пристроїв питанням забезпечення нормального теплового режиму світлодіодних джерел світла приділяється особлива увага [3]. Особливо актуальною стає задача підвищення ефективності системи охолодження, якщо в світельниках використовуються потужні багатокристалні світлодіодні джерела світла, так звані COB-матриці, виготовлені на основі технології COB (chip-on-board — чіп на

платі) [4]. Так, наприклад, COB-матриця типу CITIZEN CLU058, містить 648 кристалів компанії Nichia на платі розмірами 38×38×1,4 мм і має потужність до 526 Вт [4].

З метою охолодження потужних світлодіодних джерел світла застосовуються різні засоби тепловідведення: на основі радіаторів [5, 6], термоелектричних охолоджувачів [7], п'єзоелектричних вентиляторів [8], струменевих охолоджувачів [9], рідинних систем охолодження [10] та теплових труб [11–14]. Використання теплових труб для охолодження потужних світлодіодів в [11] здійснюється в комплексі з плавлячою речовиною, в [12,13] — сумісно з радіатором, що охолоджується вільною конвекцією оточуючого повітря, в [14] — в комплексі з радіатором, що обдувається вентилятором.

Системи тепловідведення на основі теплових труб (ТТ) і радіаторів з вільною конвекцією повітря — прості у виготовленні, не потребують енерговитрат на переміщення теплоносія і найбільш придатні для застосування в світлодіодних світельниках, призначених для внутрішнього освітлення приміщень, зокрема в багаторіжкових люстрах. Так, наприклад, у відомій конструкції такого освітлювального пристрою [12] каркас складається з п'яти вертикально розташованих вигнутих теплових труб, які одночасно є системою тепловідведення. На ТТ знизу, у зоні випаровування, встановлено світлодіодні джерела світла — модулі на основі COB-матриць, розміщені всередині світлороз-

сіюючих плафонів. У зоні конденсації ТТ закріплено пластинчасті радіатори, що охолоджуються природною конвекцією оточуючого повітря. Теплота, що виділяється світлодіодними модулями, ефективно відводиться тепловими трубами на достатню відстань і розсіюється в навколишнє повітря за допомогою пластинчастих радіаторів. Температура світлодіодних COB-матриць за потужності об'ємного модуля 26,7 Вт не перевищує 56°C, що свідчить про ефективність такої системи охолодження.

Разом з тим, певним недоліком світлодіодного освітлювального пристрою [12] є значні розміри за висотою, що не дозволяє застосовувати його для освітлення приміщень в низьких стелях.

Завданнями даної роботи була розробка потужного світлодіодного світильника з системою охолодження на основі теплових труб, який би мав невеликі розміри за висотою, та оцінка потенційних можливостей запропонованої системи охолодження забезпечувати нормальний тепловий режим світильника.

Конструкція світлодіодного світильника

Нову конструкцію світлодіодного світильника з тепловими трубами наведено на **рис. 1**. Світильник містить корпус 1, в якому розміщено драйвер 2 і до якого приєднано несучу основу 3, виконану з теплопровідного матеріалу, наприклад з міді або з алюмінієвого сплаву. На несучій основі 3 із забезпеченням теплового контакту встановлено принаймні одне потужне світлодіодне джерело світла 4 (наприклад, COB-матриця), закрите розсіювачем світла 5, прикріпленим до несучої основи. Навколо вертикальної осі світильника розташовано концентричні кільця 6, сукупність яких являє собою повітряний теплообмінник, а простір між кільцями утворює канали охолодження 7. Для передачі теплоти від джерела світла до теплообмінника використовуються теплові труби 8. Оскільки необхідну площу поверхні теплообміну можна отримувати за рахунок кількості кілець заданої висоти, на базі такої конструкції можна створювати світлодіодні світильники різної потужності невеликих за висотою розмірів.

Теплові труби з забезпеченням теплового контакту приєднуються до несучої основи зонами випаровування 9 (**рис. 2**), а зонами конденсації 10 встановлюються в отвори кілець 6 (циліндричної або іншої форми, також це можуть бути відкриті зверху пази). На внутрішній поверхні стінки корпусу ТТ виконано шар капілярної структури 11 у вигляді, наприклад, сітки або спеченого порошку, насиченого рідким теплоносієм. Теплові труби розташовуються переважно гори-

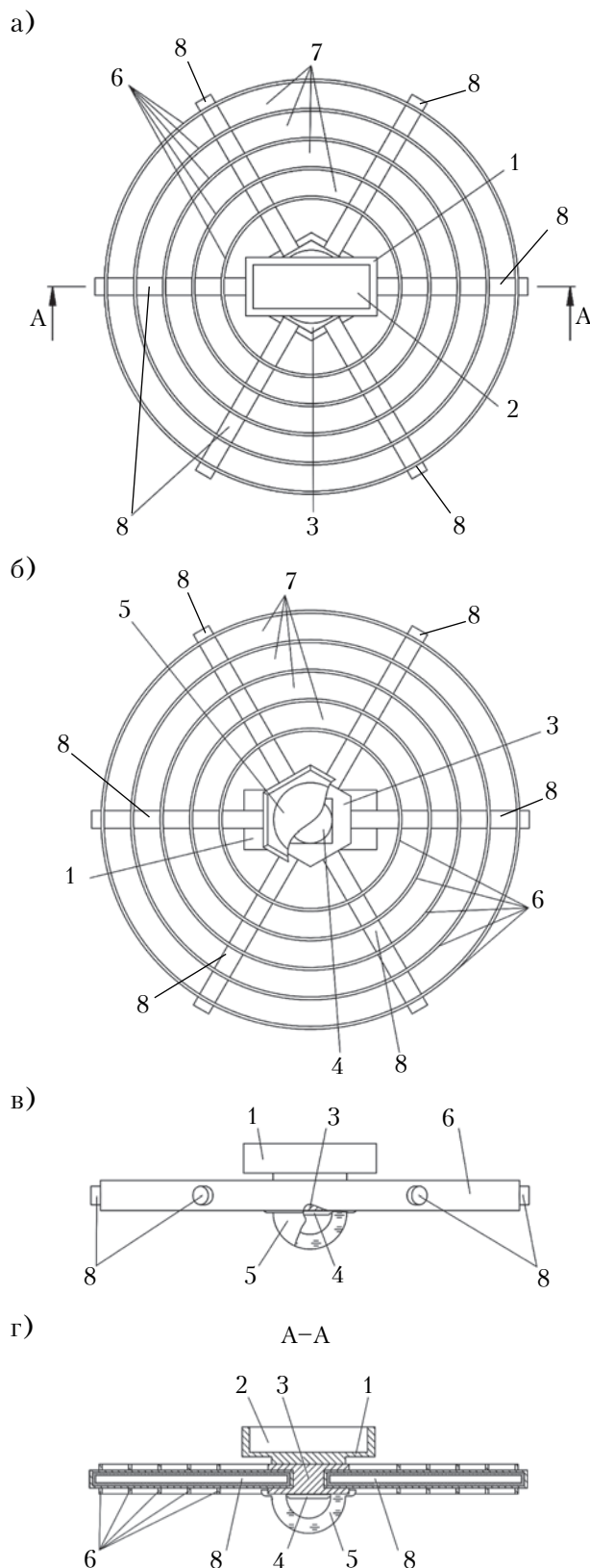


Рис. 1. Вид зверху (а), знизу (б) та спереду (в) світлодіодного світильника з тепловими трубами, а також його вертикальний переріз (г):

1 – корпус; 2 – драйвер; 3 – несуча основа; 4 – світлодіодне джерело світла; 5 – розсіювач світла; 6 – кільця; 7 – канали охолодження; 8 – теплові труби

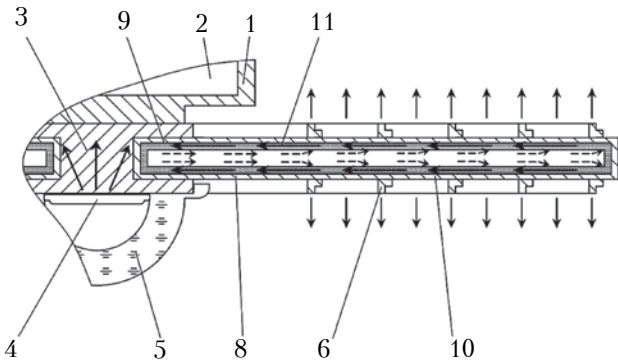


Рис. 2. Переріз фрагменту світлодіодного світильника з тепловою трубою у збільшеному масштабі:
9, 10 — зони випаровування та конденсації відповідно;
11 — шар капілярної структури (решту позицій див. на рис. 1)

зонтально, в площині, перпендикулярній вертикальній вісі світильника.

Зазначимо, що в розглянутій конструкції світильника міститься шість теплових труб, але їхня кількість може бути іншою і залежить від результатів попередніх теплових розрахунків.

Корпус ТТ може бути виконаний з міді, і в такому випадку можна використовувати дистильовану воду як теплоносій, а також з алюмінієвого сплаву, сталі, нікелю, титану тощо, і тоді теплоносієм має бути вибрана корозійно сумісна з матеріалом рідина.

Функціонування запропонованого світлодіодного світильника в базовому варіанті виконання здійснюється наступним чином. При підключенні драйвера 2 до електричної мережі джерело 4 випромінює світло, і теплота, що виділяється при цьому в $p-n$ -переходах світлодіодів, передається завдяки теплопровідності несучої основи до зони випаровування ТТ і нагріває її корпус та шар капілярної структури. Рідкий теплоносій, яким просочена капілярна структура, починає випаровуватися або кипіти (залежно від густини теплового потоку), інтенсивно поглинаючи при цьому підведену теплоту. Пара теплоносія рухається паровим простором ТТ в зону конденсації (показано пунктирними стрілками на рис. 2), де конденсується на її внутрішній поверхні, віддаючи при цьому теплоту пароутворення корпусу ТТ та з'єднаним з нею тепловим контактом кільцям. На теплообмінній поверхні кілець та поверхні ТТ в зоні конденсації теплота розсіюється природною конвекцією оточуючого повітря. Сконденсований теплоносій завдяки дії капілярних сил повертається шаром капілярної структури до зони випаровування (показано довгими суцільними стрілками на рис. 2), і цикл передачі теплоти шляхом випаровування-конденсації теплоносія повторюється.

Для оцінки можливостей запропонованої системи охолодження забезпечувати нормальний тепловий режим потужного світлодіодного джерела світла скористаємось методом комп'ютерного моделювання. Такі методи широко використовуються для дослідження теплових полів засобів тепловідведення [15, 16] і дозволяють визначити розподіл температури світлодіодного пристрою без виготовлення вартісного експериментального зразка.

Умови для комп'ютерного моделювання

Об'єктом моделювання була система охолодження (несуча основа, шість теплових труб та повітряний теплообмінник) з СОВ-матрицею розмірами $38 \times 38 \times 1,4$ мм і тепловою потужністю 300 Вт. Корпус і драйвер вважались знятими з несучої основи та при моделюванні не враховувалися.

Несуча основа являє собою шестигранну пластину товщиною 8 мм, виготовлену з алюмінієвого сплаву (рис. 3). Відстань між її паралельними гранями становить 80 мм. В торцевих гранях основи виконано глухі циліндричні отвори діаметром 6 мм, глибиною 34 мм, в кожен з яких на всю глибину входить кінець теплової труби (зона випаровування).

Довжина теплових труб — 250 мм, діаметр — 6 мм, матеріал — мідь, капілярна структура — спечена порошкова, теплоносій — дистильована вода. Ефективну теплопровідність теплової труби було визначено за результатами попередніх експериментальних досліджень, вона дорівнює $10000 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

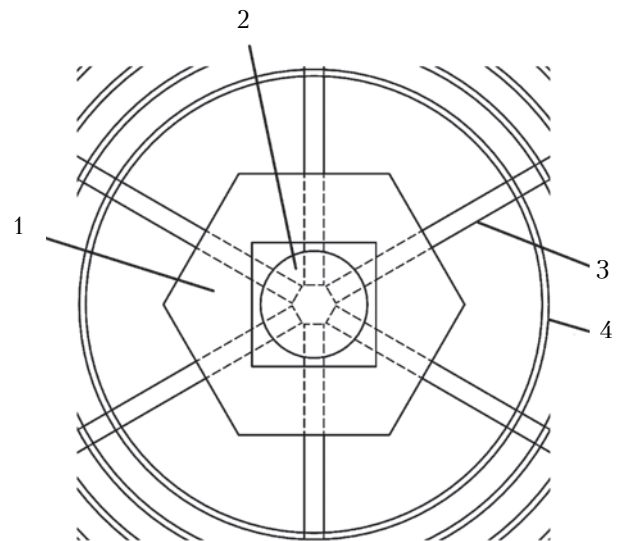


Рис. 3. Схема конструкції ділянки встановлення світлодіодного джерела світла:
1 — несуча основа; 2 — СОВ-матриця; 3 — тепла труба; 4 — перше кільце теплообмінника

Повітряний теплообмінник складається з кілець, в яких виконано отвори діаметром 6 мм для встановлення ТТ. Кількість кілець — 19, висота — 50 мм, матеріал — алюміній (АДЗ1 ГОСТ 4784-97), відстань між сусідніми кільцями — 8 мм. Коефіцієнт теплопровідності несучої основи та ребер охолодження становить 237 Вт/(м·°С).

Загальні умови моделювання: теплові контакти теплових труб з елементами конструкції вважаються ідеальними; тепловим випромінюванням нехтують; навколишнє середовище — повітря; температура навколишнього середовища ($T_{н.с.}$) 20°С; швидкість переміщення середовища 0 м/с; атмосферний тиск 101,325 кПа.

З урахуванням вищенаведених геометричних характеристик в програмному комплексі SolidWorks було створено комп'ютерну модель системи охолодження, а з використанням модуля комплексу SolidWorks Flow Simulation було проведено чисельне моделювання розподілу температури в системі охолодження за теплової потужності СОВ-матриці 300 Вт та вказаних граничних умов.

Зазначимо, що вибір програмного комплексу SolidWorks пояснюється тим, що повна інтеграція Flow Simulation в SolidWorks дозволяє моделювати геометрію пристрою та виконувати всі розрахунки в одній програмі. Крім того, SolidWorks дає можливість довільно вибирати масиви результатів моделювання різних властивостей для експорту у числовому вигляді, що дозволяє проводити аналіз числових або графічних результатів. Комплекс задач, пов'язаних з питаннями теплообміну, в SolidWorks Flow Simulation вирішується за допомогою системи диференціальних рівнянь руху, нерозривності та теплопровідності [17, 18], що є досить складними для аналітичного використання.

Основними етапами розробки комп'ютерної моделі системи охолодження в SolidWorks Flow Simulation були наступні:

- створення 3D-моделі;
- завдання умов моделювання (властивості середовища та матеріалів, теплове навантаження, область моделювання та його деталізація);
- безпосереднє проведення моделювання;
- візуалізація полів температури елементів світильника та повітря, швидкості руху повітря тощо.

Результати комп'ютерного моделювання

На **рис. 4** зображено отримане за результатами комп'ютерного моделювання температурне поле системи охолодження, в **табл. 1** наведено значення температури в характерних місцях системи охолодження, а в **табл. 2** — розподіл

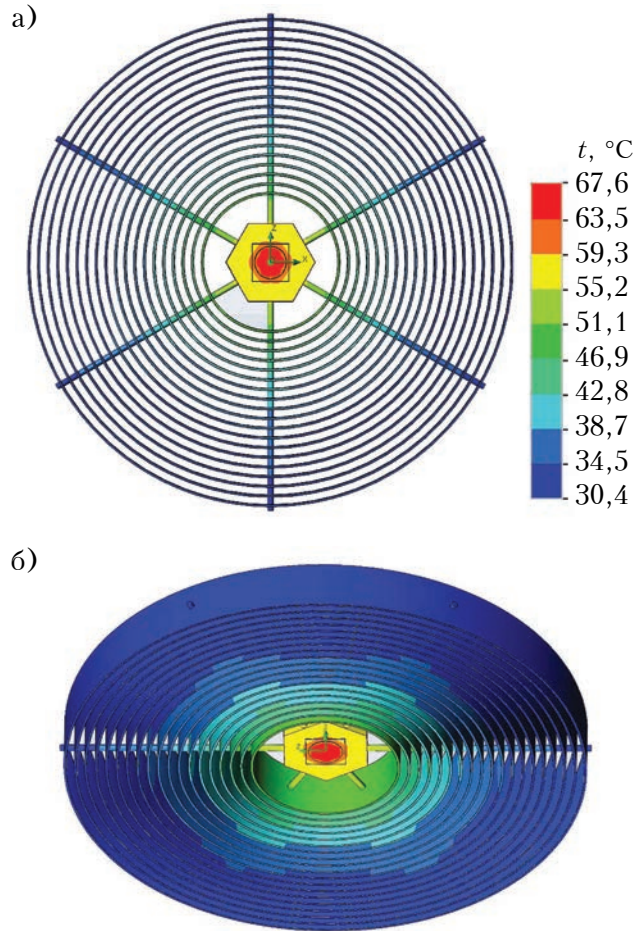


Рис. 4. Розподіл температури в системі охолодження світильника зі знятим розсіювачем світла:
а — вид знизу; б — аксонометричне зображення

Таблиця 1
Значення температури в характерних зонах системи охолодження ($T_{н.с.} = 20^{\circ}\text{C}$)

Зона системи охолодження	Температура, °С
Несуча основа в місці встановлення СОВ-матриці	67,6
Зовнішня поверхня розсіювача світла	36,1
Поверхня ТТ між несучою основою та першим кільцем	52,8
Віддалений кінець ТТ	33,9

температури у кільцях (T_{\max} , T_{\min} — значення температури у точках, розташованих на верхніх торцях кілець, відповідно, на відстані 1 мм від ТТ та посередині між сусідніми ТТ).

Як видно з наведених даних, максимальне значення температури знаходиться на несучій основі в місці приєднання джерела світла і становить 67,6°С. Якщо в зоні контакту використову-

Таблиця 2

Значення температури T_{max} , T_{min} на верхніх торцях кілець повітряного теплообмінника

Номер кільця	T_{max} , °C	T_{min} , °C
1	49,1	47,9
2	47,3	46,1
3	45,7	44,3
4	44,1	42,5
5	42,6	40,9
6	41,3	39,5
7	40,1	38,1
8	39,0	36,9
9	38,0	35,8
10	37,1	34,8
11	36,3	34,0
12	35,6	33,2
13	35,0	32,6
14	34,5	32,1
15	34,1	31,6
16	33,8	31,4
17	33,6	31,2
18	33,5	31,4
19	33,2	30,3

вати теплопровідну пасту (товщина шару 0,1 мм) Arctic Silver 5 з коефіцієнтом теплопровідності 8,7 Вт/(м·°C), температура корпусу становитиме 70°C. Якщо задати значення теплового опору джерела світла 0,1°C/Вт (такий тепловий опір має, наприклад, СОВ-матриця типу CITIZEN CLU058), то температура $p-n$ -переходів напівпровідникових кристалів складатиме приблизно 100°C, що значно нижче припустимого значення температури 150°C.

З табл. 2 видно, що з віддаленням кілець від зони нагріву (несучої основи з СОВ-матрицею) температура кілець від першого до тринадцятого зменшується практично лінійно в межах від 49,1 до 35,0°C, тобто на 14,1°C. Далі, від тринадцятого кільця до дев'ятнадцятого, зменшення їхньої температури відбувається значно повільніше — від 35,0 до 33,2°C, тобто на 1,8°C. Крім того, спостерігається нерівномірність температури вздовж одного кільця. Так, температура поверхні кільця між двома тепловими трубами змінюється на 1,2–2,9°C залежно від віддаленості кільця від несучої основи. З урахуванням цього, для визначення коефіцієнта тепловіддачі було розраховано середнє значення температури теплообмінної поверхні як серед-

не арифметичне всіх значень температури, вказаних в табл. 2, яке становило 37,6°C. За такої температури величина коефіцієнта тепловіддачі від поверхні кілець та теплових труб до оточуючого повітря природною конвекцією дорівнює 8,57 Вт/(м²·°C), що свідчить про досить високу ефективність тепловіддачі розробленої системи охолодження. (Для розрахунків сумарна площа поверхні теплообміну всіх кілець та прилеглих до них ділянок ТТ приймалася рівною 1,99 м².)

Загальний тепловий опір розробленої системи охолодження, визначений як відношення різниці максимального значення температури несучої основи в місці приєднання СОВ-матриці і температури оточуючого повітря до загальної потужності СОВ-матриці, становить 0,159°C/Вт.

Моделювання дозволило також отримати комплексну картину розподілу температурного поля системи охолодження та оточуючих потоків повітря (рис. 5).

Крім того, за результатами комп'ютерного моделювання отримано картину течії повітряних потоків навколо системи охолодження (рис. 6) та розподіл швидкості v повітряних струменів вздовж теплової труби в трьох місцях горизонтальної площини, яка проходить по верхніх торцях кілець (рис. 7).

З рис. 7 видно, що швидкість потоків повітря є найбільшою в ділянках теплообмінника, наближених до несучої основи. З віддаленням кілець від центральної частини світильника швидкість повітря в каналах охолодження зменшується. В обраній площині спостерігається досить рівномірний рух повітря в каналах між ТТ, тобто його швидкість в різних точках майже однакова, за виключенням потоків безпосередньо над ТТ. Наприклад, між першим та другим кільцями швидкість повітря у двох точках, розташованих між ТТ, досягає 0,21 м/с, а безпосередньо над ТТ вона не перевищує 0,15 м/с.

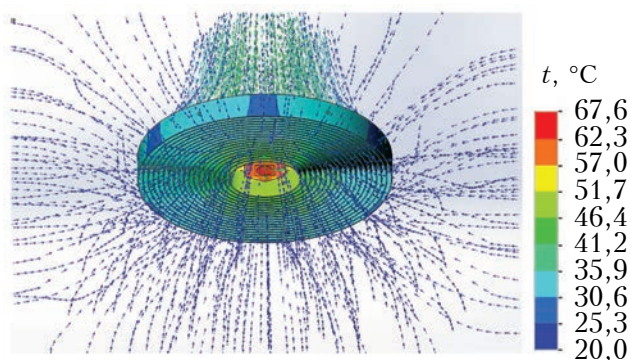


Рис. 5. Аксонометричне зображення температурного поля системи охолодження світильника без розсіювача світла та повітряних потоків навколо нього

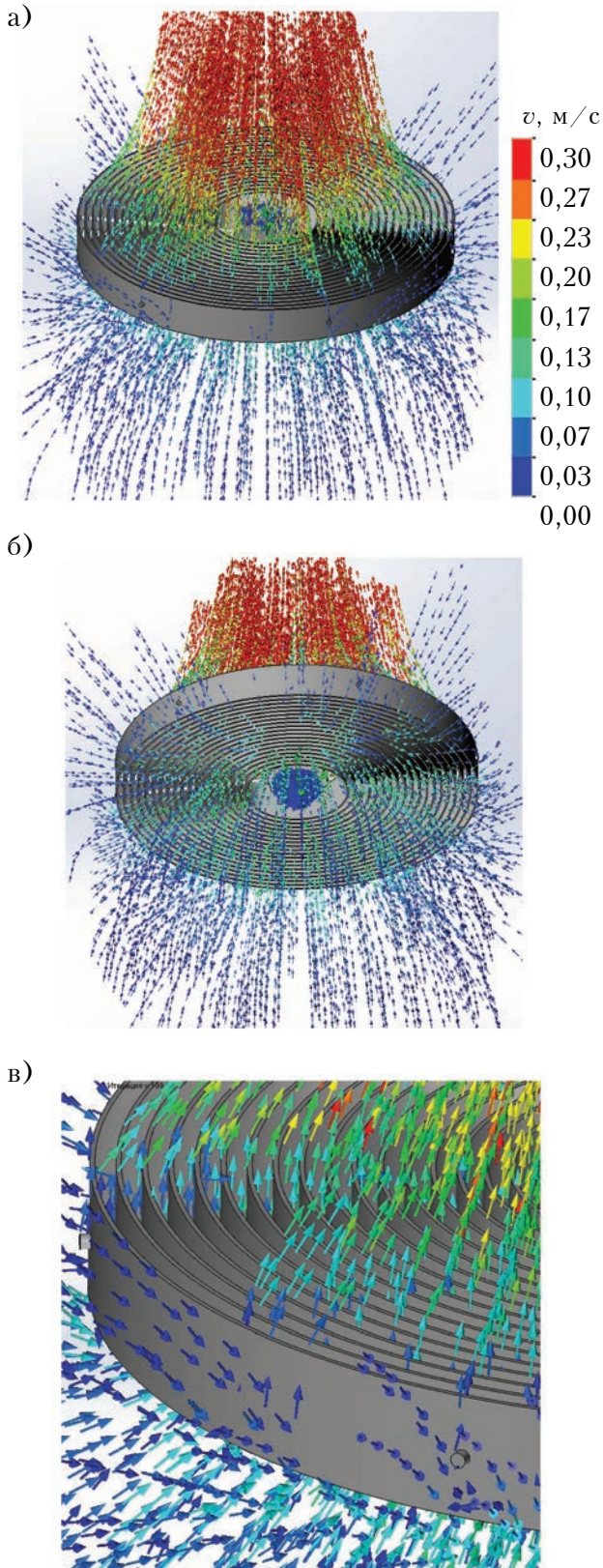


Рис. 6. Візуалізація траєкторії руху та швидкості повітряних потоків навколо системи охолодження з розсіювачем світла:
a – з нижнього положення; *b* – з верхнього положення; *в* – фрагмент у збільшеному масштабі

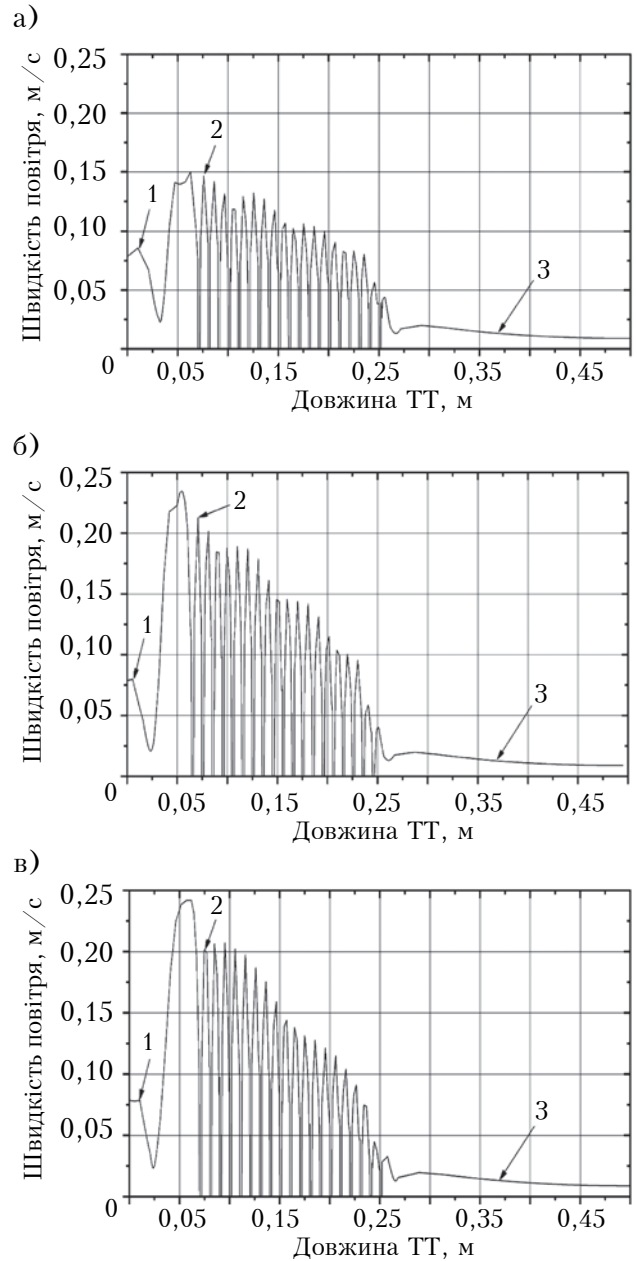


Рис. 7. Розподіл швидкості охолоджуючого повітря вздовж теплової труби в горизонтальній площині, яка проходить по верхніх торцях кілець, безпосередньо над ТТ (*a*), на відстані 10 мм від ТТ (*b*) та посередині між двома сусідніми ТТ (*в*):

(ділянка 1 відповідає потоку повітря над несучою основою; 2 – потоку між першим та другим кільцями; 3 – на віддалені від зовнішнього кільця)

Висновки

Дослідження запропонованої конструкції світлодіодного світильника методом комп'ютерного моделювання показали наступне.

За потужності світлодіодного джерела світла 300 Вт і температури оточуючого повітря 20°C температура ділянки несучої основи в місці приєднання джерела світла становить 67,6°C. Тепловий опір системи охолодження дорівнює

0,159°C/Вт. У разі використання COB-матриці типу CITIZEN CLU058 з тепловим опором 0,1°C/Вт і шару теплопровідної пасти типу Arctic Silver 5 в зоні контакту товщиною 0,1 мм температура $p-n$ -переходів кристалів матриці становитиме 100°C, тобто не буде перевищувати максимально припустиме значення 150°C. При цьому висота кілець світильника складає 50 мм.

Ефективне відведення теплоти забезпечується завдяки використанню в системі охолодження теплових труб. Оскільки ефективна теплопровідність ТТ на порядки вища за теплопровідність міді та алюмінію, вони мають значно менший тепловий опір, ніж металеві конструктивні елементи таких самих розмірів, тому ТТ дозволяють більш ефективно передавати теплоту від джерела світла до всіх кілець, незалежно від їхнього розташування. У такому випадку забезпечується надійна робота більш потужного, ніж у відомих конструкціях, джерела світла мінімальної висоти.

Розроблений потужний світлодіодний освітлювальний прилад з природнім повітряним охолодженням можна використовувати для освітлення приміщень з низькими стелями.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Полищук А., Туркин А. Деградация полупроводниковых светодиодов на основе нитрида галлия и его твердых растворов // Компоненты и технологии. — 2008. — №2. — С. 25–28. — https://kit-e.ru/assets/files/pdf/2008_2_25.pdf
2. Yurtseven M.B., Mete S., Onaygil S. The effects of temperature and driving current on the key parameters of commercially available, high-power, white LEDs // Lighting Res. Technol. — 2015. — Vol. 48, №8. — P. 943–965. — <https://doi.org/10.1177/1477153515576785>
3. Мельниченко А. Защита мощных светодиодов от перегрева // Электронные компоненты и системы. — 2005. — №12 (100). — С. 22–23.
4. Урсаки А. Развитие светодиодных модулей Chip-on-Board на примере эволюции матриц от компании Citizen Electronics // Современная светотехника. — 2018. — № 2. — С. 20–22. — [http://www.lightingmedia.ru/netcat_files/File/20\(3\).pdf](http://www.lightingmedia.ru/netcat_files/File/20(3).pdf)
5. Ying S. P., Shen W. B. Thermal analysis of high-power multichip COB light-emitting diodes with different chip sizes // IEEE Trans. Electron Devices. — 2015. — Vol. 62, №3. — P. 896–901. — <https://doi.org/10.1109/TED.2015.2390255>
6. Пат. 107882 С2 України. Освітлювальний пристрій / Є.В. Чорний. 2015. — Бюл. № 4.
7. Wang Jing, Zhao Xin-Jie, Cai Yi-Xi, Zhang Chun, Bao Wei-Wei. Experimental study on the thermal management of high-power LED headlight cooling device integrated with thermoelectric cooler package // Energy Conversion and Management. — 2015. — Vol. 101. — P. 532–540. — <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.05.040>
8. Maaspuro Mika. Piezoelectric oscillating cantilever fan for thermal management of electronics and LEDs — A review // Microelectronics Reliability. — 2016. — Vol. 63. — P.342–353. — <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2016.06.008>
9. Deng Xiong, Luo Zhenbing, Xia Zhixun, Gong Weijie, Wan Lin. Active-passive combined and closed-loop control for the thermal management of high-power LED based on a dual synthetic jet actuator // Energy Conversion and Management. — 2017. — Vol. 132. — P. 207–212. — <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.034>
10. Schneider M., Leyrer B., Herbold C., Maikowske S. High power density LED modules with silver sintering die attach on aluminum nitride substrates // Presented at the 2014 I.E. 64th electronic components and technology conference (ECTC). — 2014. — P. 203–208. — <https://doi.org/10.1109/ECTC.2014.6897289>
11. Wu Y., Tang Y., Li Z. et al. Experimental investigation of a PCM-HP heat sink on its thermal performance and antithermal-shock capacity for high-power LEDs // Appl. Therm. Eng. — 2016. — Vol. 108. — P. 192–203. — <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.07.127>
12. Nikolaenko Yu.E., Kravets V.Yu., Naumova A.N. Baranyuk A.V. Development of the ways to increase the lighting energy efficiency of living space // International Journal of Energy for a Clean Environment. — 2017. — Vol. 18, iss. 3. — P. 275–285. — <https://doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2018021641>
13. Nikolaenko Yu.E., Pekur D.V., Sorokin V.M. Light characteristics of high-power LED luminaire with a cooling system based on heat pipe // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. — 2019. — Vol. 22, N 3. — P. 366–371. — <https://doi.org/10.15407/spqeo22.03.366>
14. Лозовой М.А., Николаенко Ю.Е., Рассамкин Б.М., Хайрмасов С.М. Исследование рабочих характеристик тепловых труб для светодиодных осветительных приборов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2014. — № 5–6. — С. 32–38. — <https://doi.org/10.15222/TKEA2014.2.32>
15. Трофимов В.Е., Павлов А.Л., Мокроусова Е.А. CFD-моделирование радиатора для воздушного охлаждения микропроцессоров в ограниченном пространстве // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2016. — № 6. — С. 30–35. — <https://doi.org/10.15222/TKEA2016.6.30>
16. Трофимов В.Е., Павлов А.Л., Сторожук А.С. CFD-моделирование импактно-струйного радиатора для проведения термотренировки микропроцессоров // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2018. — №5–6. — С. 30–36. — <https://doi.org/10.15222/TKEA2018.5-6.30>
17. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2008.
18. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012.

Дата надходження рукопису до редакції 25.10.2019 г.

DOI: 10.15222/ТКЕА2019.5-6.34
УДК 536.248.2; 628.941.8

Д. В. ПЕКУР¹, Ю. Е. НИКОЛАЕНКО², В. М. СОРОКИН¹

Украина, Киев, ¹Институт физики полупроводников
им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины,
²Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
E-mail: demid.pekur@gmail.com, yunikola@ukr.net,
vsorokin@isp.kiev.ua

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА С ТЕПЛОВЫМИ ТРУБАМИ

Проблема изменения климата ставит перед человечеством задачу уменьшения вредных выбросов в атмосферу, основной причиной которых является сжигание угля на тепловых электростанциях для выработки электрической энергии. Частичное решение этой проблемы возможно за счет внедрения энергосберегающих устройств и оборудования, в том числе замены традиционных источников света на более эффективные светодиодные. При этом, однако, возникает проблема обеспечения их нормального теплового режима, поскольку с увеличением мощности светодиодов возрастает и количество теплоты, выделяющейся в их полупроводниковых кристаллах, что приводит к повышению температуры кристаллов и снижению надежности работы устройства. Особенно актуальной эта задача становится при использовании мощных многокристалльных светодиодных источников света, так называемых СОВ-матриц, мощность которых уже сегодня превышает 500 Вт.

В данной работе представлена новая конструкция мощного светодиодного светильника для освещения помещений с низкими потолками. В качестве теплопередающих средств для отвода теплоты от светодиодного источника света к концентрически расположенным вокруг него кольцам теплообменника использованы тепловые трубы. Кольца теплообменника охлаждаются естественной конвекцией окружающего воздуха. С помощью компьютерного моделирования оценена способность предложенной системы охлаждения обеспечивать нормальный тепловой режим светодиодного источника света.

Результаты компьютерного моделирования температурного поля системы охлаждения светильника показали, что при мощности светодиодного источника света 300 Вт температура основания светильника в месте присоединения источника света не превышает 67,6°C. При использовании в зоне контакта теплопроводной пасты типа Arctic Silver 5 с коэффициентом теплопроводности 8,7 Вт/(м·°C) и толщине слоя пасты 0,1 мм это соответствует температуре корпуса источника света 70°C. Если тепловое сопротивление источника света составляет 0,1°C/Вт, то температура его полупроводниковых кристаллов достигает 100°C, что значительно ниже допустимого значения температуры, равного 150°C. Общее тепловое сопротивление системы охлаждения составляет 0,159°C/Вт.

Ключевые слова: светодиодный светильник, светодиод, тепловая труба, распределение температуры, распределение скорости.

DOI: 10.15222/ТКЕА2019.5-6.34
UDC 536.248.2; 628.941.8

D. V. PEKUR¹, Yu. E. NIKOLAENKO², V. M. SOROKIN¹

Ukraine, Kyiv, ¹V. E. Lashkaryov Institute
of Semiconductor Physics NAS of Ukraine;
²National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute"
E-mail: demid.pekur@gmail.com, yunikola@ukr.net,
vsorokin@isp.kiev.ua

NEW LED LAMP DESIGN WITH HEAT PIPES

The problem of climate change poses a challenge for humanity: it is necessary to reduce harmful emissions into the atmosphere, caused mainly by the burning of coal in thermal power plants. Partially, this problem can be solved by the use of energy-saving devices and equipment, including the replacement of traditional light sources with more efficient LEDs. This, however, causes the problem of ensuring normal thermal modes of the LEDs, since the more powerful the LED is, the more heat is released in their semiconductor crystals, which leads to an increase in the temperature of the crystals and a decrease in the reliability of the device. This problem becomes especially urgent when using powerful multi-chip LED light sources, the so-called SOB matrices, whose power even now exceeds 500 W.

This article presents a new design of a powerful LED lamp for indoor illumination of rooms with low ceilings. The heat from the LED is transferred via heat pipes to the heat exchanger rings looped around the light

source. The heat exchanger rings are cooled by the natural convection of the surrounding air (at an ambient air temperature of 20°C). Computer simulation allowed evaluating the ability of the proposed cooling system to provide a normal thermal mode of the LED light source. The results on the computer simulations of the temperature field of light source's cooling system showed that when the LED power is 300 W, the temperature of the light source's base at the point where it is connected to the light source does not exceed 67.6°C. When the contact zone is covered with a 0.1 mm layer of heat-conducting paste (Arctic Silver 5 type) with a thermal conductivity coefficient of 8.7 W/(m·°C), the temperature of the LED case reaches 70°C. If the thermal resistance of the LED source is 0.1°C/W, then the temperature of its semiconductor crystals will be 100°C, well below the allowable temperature value of 150°C. The total thermal resistance of the cooling system is 0.159°C/W.

Keywords: LED lamp, LED, heat pipe, temperature distribution, speed distribution.

REFERENCES

- Polishchuk A., Turkin A. [The degradation of the semiconductor LEDs based on gallium nitride and its solid solutions]. *Komponenty i tekhnologii*, 2008, no. 2, pp. 25–28. https://kit-e.ru/assets/files/pdf/2008_2_25.pdf (Rus)
- Yurtseven M.B., Mete S., Onaygil S. The effects of temperature and driving current on the key parameters of commercially available, high-power, white LEDs. *Lighting Res. Technol.* 2015, vol. 48, iss. 8, pp. 943–965. <https://doi.org/10.1177/1477153515576785>
- Melnichenko A. [Power LED protection against overheating]. *Elektronnye komponenty i sistemy*, 2005, no. 12(100), pp. 22–23. (Rus)
- Ursaki A. [Development of Chip-on-Board LED modules by the example of matrix evolution from Citizen Electronics]. *Sovremennaja svetotekhnika*, 2018, no. 2, pp. 20–22. [http://www.lightingmedia.ru/netcat_files/File/20\(3\).pdf](http://www.lightingmedia.ru/netcat_files/File/20(3).pdf) (Rus)
- Ying S. P., Shen W. B. Thermal analysis of high-power multichip COB light-emitting diodes with different chip sizes. *IEEE Trans. Electron Devices*, 2015, vol. 62, no. 3, pp. 896–901. <https://doi.org/10.1109/TED.2015.2390255>
- Chorny E.V. [Lighting device]. *Pat. 107882 C2 Ukaina*, 2015, bul. no 4. (Ukr)
- Jing Wang, Xin-Jie Zhao, Yi-Xi Cai et al. Experimental study on the thermal management of high-power LED headlight cooling device integrated with thermoelectric cooler package. *Energy Conversion and Management*, 2015, vol. 101, pp. 532–540. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.05.040>
- Mika Maaspuro. Piezoelectric oscillating cantilever fan for thermal management of electronics and LEDs – A review. *Microelectronics Reliability*. 2016, vol. 63, pp. 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2016.06.008>
- Xiong Deng, Zhenbing Luo, Zhixun Xia et al. Active-passive combined and closed-loop control for the thermal management of high-power LED based on a dual synthetic jet actuator. *Energy Conversion and Management*, 2017, vol. 132, pp. 207–212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.034>
- Schneider M., Leyrer B., Herbold C., Maikowske S. High power density LED modules with silver sintering die attach on aluminum nitride substrates. *2014 IEEE 64th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, pp. 203–208. <https://doi.org/10.1109/ECTC.2014.6897289>
- Wu Y., Tang Y., Li Z. et al. Experimental investigation of a PCM-HP heat sink on its thermal performance and antithermal-shock capacity for high-power LEDs. *Appl. Therm. Eng.* 2016, vol. 108, pp. 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.07.127>
- Nikolaenko Yu.E., Kravets V.Yu., Naumova A.N. Baranyuk A.V. Development of the ways to increase the lighting energy efficiency of living space. *International Journal of Energy for a Clean Environment*, 2017, vol. 18, iss. 3, pp. 275–285. <https://doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2018021641>
- Nikolaenko Yu.E., Pekur D.V., Sorokin V.M. Light characteristics of high-power LED luminaire with a cooling system based on heat pipe. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 366–371. <https://doi.org/10.15407/spqeo22.03.366>
- Lozovoi M.A., Nikolaenko Yu.E., Rassamakin B.M., Khairnasov C.M. [Research on thermal characteristics of heat pipes for LED lightning devices]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2014, no. 5–6, pp. 32–38. <https://doi.org/10.15222/TKEA2014.2.32> (Rus)
- Trofimov V.E., Pavlov A.L., Mokrousova E.A. [CFD-simulation of radiator for air cooling of microprocessors in a limited space]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2016, no. 6, pp. 30–35. <https://doi.org/10.15222/TKEA2016.6.30> (Rus)
- Trofimov V.E., Pavlov A.L., A.S. Storozhuk. [CFD-simulation of impact jet radiator for thermal testing of microprocessors]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2018, no. 5–6, pp. 30–36. <https://doi.org/10.15222/TKEA2018.5-6.30> (Rus)
- Alyamovsky A.A., Sobachkin A.A., Odintsov E.V. et al. *Komp'yuternoye modelirovaniye v inzhenernoy praktike* [SolidWorks 2007/2008. Computer modeling in engineering practice]. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2008.
- Alamovsky A.A. *SolidWorks Simulation. Kak reshat' prakticheskiye zadachi* [SolidWorks Simulation. How to solve practical problems]. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2012.

Опис статті для цитування:

Пекур Д. В., Ніколаєнко Ю. Є., Сорокін В. М. Нова конструкція світлодіодного світильника з тепловими трубами. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*, 2019, № 5-6, с. 34–42. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2019.5-6.34>

Cite the article as:

Pekur D. V., Nikolaenko Yu. E., Sorokin V. M. New led lamp design with heat pipes. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2019, no. 5-6, pp. 34–42. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2019.5-6.34>