

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи фахівця освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ТЕПЛОВИМИ
ТРУБКАМИ**

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи ЕТ_с-42

напряму підготовки (спеціальності)

141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Волос Роман Анатолійович

(прізвище та ініціали)

Керівник

Закордонець В.С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Романюк Л.А.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет _____
Кафедра Електричної інженерії _____
Освітній рівень бакалавр _____
Напрямок підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» _____
(шифр і назва)
Спеціальність _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Волос Роман Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА
ТЕПЛОВИМИ ТРУБКАМИ**

Керівник проекту (роботи)

Закордонєць Володимир Савич, к.ф.-м.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «_____» _____ 202__ року № _____

2. Термін подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі
завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Проектно-конструкторський розділ		
4	Розрахунковий розділ		
5	Безпека життєдіяльності та ОП		
6	Перелік посилань		
7	Написання висновків		
8	Оформлення графічної частини		

Студент _____
(підпис)

Волос Роман Анатолійович _____
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту
(роботи) _____
(підпис)

Закордонець Володимир Савич _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Волоса Романа Анатолійовича містить: 59 сторінок, 35 рисунків, 12 таблиць, 43 посилань на першоджерела.

Предметом дослідження є напівпровідникові джерела світла.

Метою роботи є розрахунок, створення та оптимізація високоефективної системи охолодження напівпровідникових джерел світла з різними типами та конструкціями теплових трубок та виносним радіатором.

Об'єктом дослідження є система охолодження НПДС з тепловими трубками та виносним радіатором.

Основні результати: побудовано теплову математичну модель НПДС, яка описує вплив основних параметрів: потужності, теплового опору, температури зовнішнього середовища на їх тепловий режим; розраховано тепловий режим НПДС з тепловою трубкою та виносним пасивним радіатором; сформульовано рекомендації по оптимізації конструкції.

Ключові слова: СВІТЛОДІОД, ТЕПЛОВА ТРУБКА, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, СВІТЛОВІДДАЧА, ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ, ТЕПЛОВИЙ ОПІР.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Вплив температури на параметри НПДС	8
1.2 Практичні конструкції охолодження НПДС тепловими трубками	9
1.3 Охолодження вентилятором в тандемі з тепловою трубкою	14
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Принцип роботи та будова теплової трубки	18
2.2 Тепловий менеджмент потужних НПДС	25
2.3 Експериментальні дослідження системи охолодження з ТТ	29
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	33
3.1 Вплив температури на світловий потік НПДС	33
3.2 Теплова математична модель НПДС з тепловою трубкою	38
3.3 Розрахунок системи охолодження НПДС з ТТ	44
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	51
4.1 Аналіз шкідливих виробничих факторів, електробезпеки, пожежної небезпеки світлодіодних ламп	47
4.2 Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57

ВСТУП

В даний час напівпровідникові джерела світла (НПДС) все впевненіше завойовують сучасний світовий ринок світлотехнічної продукції [1-3]. НПДС містять світлодіоди і світлодіодні матриці. Вони надзвичайно перспективні для використання в побуті та промисловості. Це пояснюється рядом властивостей, не притаманних традиційним освітлювальним приладам - лампам розжарювання, люмінесцентним і газорозрядним лампам. НПДС створюють потужний світловий потік при малій споживаній потужності, випромінюють світло будь-якого забарвлення, мають великий термін служби [4]. Виробники НПДС стверджують, що їх термін експлуатації досягає понад 100000 годин безперервної роботи. Завдяки відсутності скляних механічно вразливих елементів НПДС дуже надійні і міцні. До інших чудових якостей НПДС належать їх екологічна чистота і безпека експлуатації, мініатюрність і технологічність, широкий спектр напруг живлення та струмів.

Сучасні напівпровідникові джерела світла є енергоощадними джерелами світла. Коефіцієнт перетворення електроенергії в енергію світла сягає майже 30%. При цьому напівпровідникова лампа потужністю 100 Вт за величиною світлового потоку може замінити десять ламп розжарювання потужністю по 100 Вт кожна. Якщо напівпровідникова лампа в середньому буде світити хоча б шість годин щодоби, то за рік вона принесе майже 1000 кВт год економії.

В даний час провідні країни світу здійснюють переоснащення технології освітлення. Запроваджені спеціальні програми розробки удосконалених НПДС. Додатковий імпульс був отриманий внаслідок наростаючої світової енергетичної кризи. Адаже запаси вуглеводневого палива обмежені. Крім того, добувати і транспортувати їх стає дедалі складніше. Великою пороблемою стала і екологічна криза. Викиди продуктів згоряння вуглеводнів в атмосферу досягли загрозливих масштабів і продовжують збільшуватися.

На сьогодні в Україні більш ніж 25% валових енергетичних затрат припадає на різноманітне освітлення. Багатократно зменшити ці витрати може тотальне впровадження напівпровідникових технологій освітлення. Це, разом з іншими факторами, може посприяти збільшенню внутрішнього валового

продукту держави на кілька відсотків. В зв'язку із цим, проблема впровадження ефективних енергозберігаючих технологій в сучасній світлотехніці постає особливо гостро.

Проте, незважаючи на високий ККД напівпровідникових джерел світла, майже 70% підведеної електричної енергії марно перетворюється в теплову. Це приводить до суттєвого нагріву світловипромінюючих кристалів НПДС та їх корпусів. В свою чергу, порушення теплового режиму НПДС приводить до передчасного виходу з ладу освітлювальних приладів. В світлі сказаного, важливим і вкрай необхідним є регулювання теплового режиму НПДС. Ця обставина змушує шукати ефективні способи і засоби терморегуляції. В сучасних напівпровідникових освітлювальних приладах застосовують пасивні і активні пристрої регулювання температури [4, 5]. В основу їх роботи покладений принцип відведення тепла конвекцією, кондукцією і випромінюванням. Пасивні системи охолодження – радіатори прості за конструкцією, надійні, дешеві у виготовленні, не споживають додаткової енергії. Однак, для застосування в потужних освітлювальних системах мало придатні, бо мають великі габарити, масу та площу тепловідводу.

Активні системи охолодження: вентилятори, теплові трубки, термоелектричні модулі Пельтьє, водяні радіатори, та ін.. [5-8, 10-15]. Кожна із них має свої переваги і недоліки. Повітряні системи охолодження базуються на примусовому русі повітря і легко можуть забезпечити необхідний температурний режим. Проте, вентилятори мають не надто високу надійність і складніші у виготовленні. Експлуатація активних охолоджувальних систем потребує постійної профілактики і технічного обслуговування. У зв'язку з цим, тривають постійні пошуки нових, альтернативних систем терморегуляції і охолодження.

В роботі, для інтенсифікації охолодження потужних НПДС використані теплові трубки [16-20]. Застосування теплових трубок дає можливість відводити теплові потоки як завгодно великої потужності знижуючи тим самим температуру світловипромінюючих кристалів світлодіодних ламп. Таке

охолодження дозволить суттєво збільшити світловіддачу НПДС та продовжити термін їх експлуатації.

Метою роботи є розрахунок та створення високоефективної системи охолодження світлодіодних ламп з системою охолодження на основі теплових трубок та радіатора. Побудова теплової математичної моделі системи охолодження НПДС і її оптимізація при різних конструкціях радіатора та теплової трубки.

Постановка завдання. При допомозі математичної теплової моделі встановити аналітичні зв'язки між потужністю НПДС, параметрами теплової трубки, радіатора і температурою навколишнього середовища. Це дасть можливість раціонального вибрати схему охолодження та забезпечити адекватний тепловий режим роботи НПДС.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вплив температури на параметри НПДС

При проходженні струму через НПДС температура світловипромінюючого кристала збільшується. Вплив температури на світлотехнічні характеристики напівпровідникових джерел світла досліджувався в багатьох теоретичних і експериментальних роботах [3-8]. Наприклад, в [3] аналітично досліджувався вплив величини струму на тепловий режим НПДС. Були знайдені теоретичні залежності температури перегріву світловипромінюючого кристала від величини струму живлення і температури навколишнього середовища. При цьому, при розрахунках використовувалася елементарна математична модель.

Експериментальні дослідження впливу температури на світловий потік НПДС проводився в роботах [4-7]. Був здійснений порівняльний аналіз різних типів радіаторів і дані практичні рекомендації щодо ефективної стабілізації теплового режиму роботи НПДС.

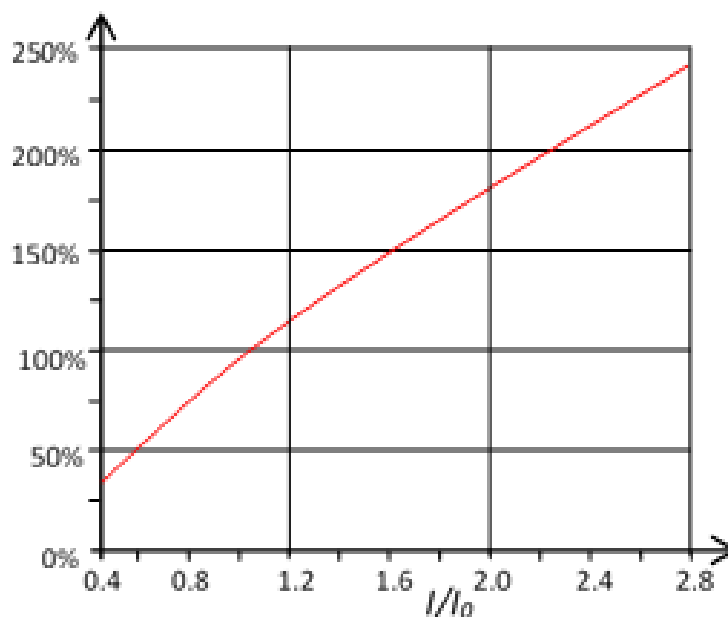


Рис. 1.1 Типова залежність відносного світлового потоку НПДС від струму для НПДС серії *GREE Xlamp*.

Як видно із представленої графічної залежності, для збільшення світлового потоку потрібно збільшувати величину струму живлення. Однак, при збільшенні струму в активних елементах НПДС збільшується і виділення тепла Джоуля. Нагрівання буде тим інтенсивнішим чим потужніший елемент.

Для зменшення інтенсивності нагрівання необхідно використовувати напівпровідникові матеріали із високим процентною часткою випромінювальної рекомбінації електронів на дірках в порівнянні з низькою часткою безвипромінювальної рекомбінації. Цього добиваються удосконаленням існуючих і створення нових напівпровідників. Сучасні НПДС мають коефіцієнт корисної дії (ККД) близько 30%. Отже, біля 70 % електроенергії перетвориться в теплову. Якщо виділену теплову енергію не відводити, то це приведе до перегріву активної області кристала. Неконтрольоване збільшення температури кристалів НПДС зменшить світловий потік і яскравість свічення. Вважають, що після досягнення світловим потоком 50% від стартової величини, заявлений термін експлуатації НПДС закінчується.

В зв'язку із цим, особливого значення набуває проблема керування робочою температурою НПДС. Для цього, надзвичайно важливо забезпечити ідеальний тепловий контакт для всіх ланок в теплового кола.

1.2 Практичні конструкції охолодження НПДС тепловими трубками

Системи термостабілізації НПДС поділяються на пасивні і активні. Пасивна система термостабілізації є найбільш простим варіантом стабілізації теплового режиму компонентів освітлювальної системи. У випадку пасивної системи тепло, яке виділяється в результаті роботи НПДС, кондуктивним шляхом передається корпусу, а потім конвективним шляхом і шляхом випромінювання - оточуючому середовищу [8]. Цей спосіб охолодження найдешевший, однак характеризується доволі низькою ефективністю.

Найпростіший варіант покращення пасивного охолодження - застосування радіатора. Він базується на одночасній дії явищ кондукції і конвекції. Для цього корпус світлодіода прикріплюють до масивного радіатора. Завдяки добрій теплопровідності матеріалу радіатора багаторазово збільшується площа розсіювання тепла. Далі включається механізм природної конвекції, завдяки якій охолоджується радіатор. Як правило до світлодіодних ламп пред'являються досить жорсткі вимоги по масо-габаритам параметрах. Внаслідок цього, часто виникає потреба в проектуванні радіатора для конкретного світлотехнічного виробу [9].



Рис. 1.2 Класифікація пасивних способів охолодження НПДС

У вказаних роботах розглядалося розміщення НПДС безпосередньо на радіаторах. Однак, при використанні потужних освітлювальних приладів із щільною упаковкою елементів треба просторово розділити джерело тепла і джерело холоду.

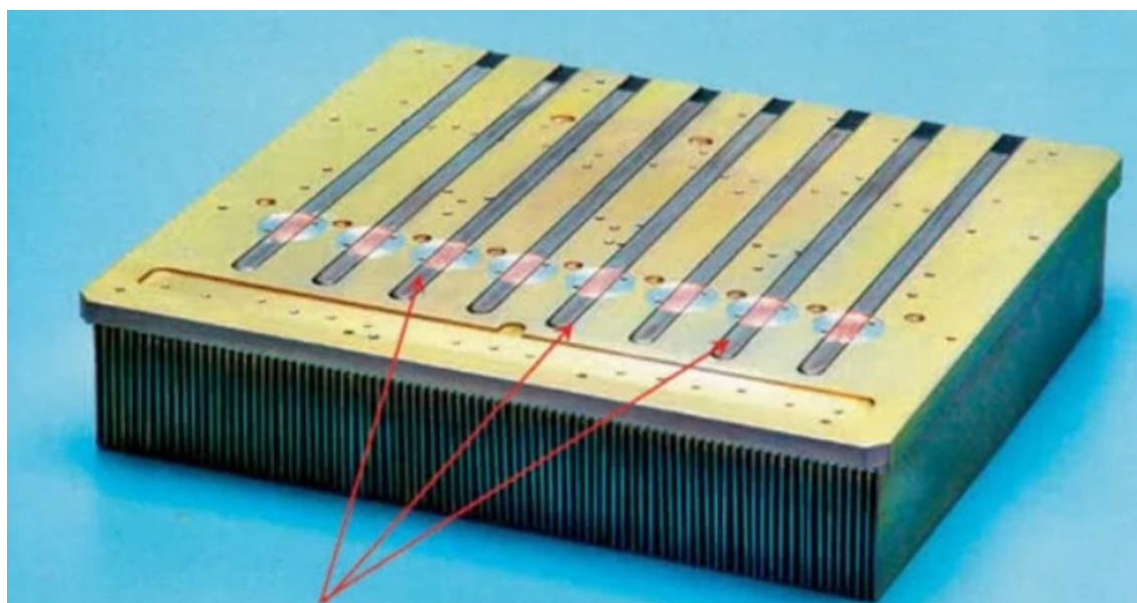


Рис 1.3 Конструкція радіатора із вбудованими тепловими трубками

Ця ж ситуація виникає, коли розмір радіатора, необхідного для ефективного охолодження компонента НПДС занадто великий - його основа значно перевищує розмір компонента або його висота не відповідає проектним вимогам. Все це ускладнює, або унеможлиблює його розміщення

без порушення правил проектування. Проблема легко вирішується при використанні теплових трубок. Теплові трубки самостійно для охолодження елементів світлотехнічної апаратури не використовуються. Вони є досить ефективними в тандемі з пасивними радіаторами. Одна із можливих конструкцій такого охолодження представлена на рисунку.

Теплові трубки доцільно використовувати тоді, коли необхідно передати тепло між джерелом і приймачем на відстань більшу 50 мм. Для більш коротких відстаней більше підходять суцільні стержні з однорідного металу, наприклад з міді, або з алюмінію.

Використання теплових трубок є особливо доцільним, якщо є погана вентиляція схеми. Або тоді, коли металевий радіатор відповідає тепловим вимогам і знаходиться в межах максимально допустимого діапазону, але не відповідає вимогам по вазі або стійкості до вібрації та ударів. Металевий радіатор завжди помітно важчий за теплову трубку з аналогічною охолоджувальною здатністю.

Таким чином, теплові трубки можуть бути хорошим вирішенням проблеми термостабілізації, коли необхідно забезпечити ефективне охолодження елементів з високою питомою потужністю, а також коли треба передати теплову енергію на велику відстань від джерела тепла. Як пасивні елементи вони не вимагають живлення і не створюють шуму (на відміну від вентиляторів), відрізняються високою надійністю, а в порівнянні з радіаторами мають меншу вагу та кращу стійкість до ударів та вібрації.

Якщо для стабілізації теплового режиму НПДС пасивних засобів охолодження недостатньо, доведеться використовувати активні засоби. Є безліч різних засобів активного охолодження - від різноманітних вентиляційних пристроїв до водяного охолодження [10]. Відомі засоби та способи активного охолодження представлені в таблиці 1.2.

Засоби та способи активного охолодження НПДС. Таблиця 1.2

Тип	Теплова потужність, Вт	Опис
Рідинне охолодження	<200	Висока вартість. Складність інтеграції в освітлювальну систему. Необхідне додаткове живлення.
Вентилятор	<170	Монтується безпосередньо на радіатор. Створює високий рівень шуму.
Теплові трубки	<140	Переносять тепло в інше місце. Використовуються разом з іншими системами охолодження.
Термоелектричне охолодження	<80	Довгий термін служби. Безшумний. Можливість регулювання температури об'єкта в широких межах. Необхідне додаткове живлення.
Струйне охолодження SynJet	<80	Аналогічне до кулера, але працює тихіше і має високу надійність.

Для охолодження НПДС потужністю понад 20 Вт, доцільно застосувати засоби примусового повітряного обдуву – вентилятори [11]. Вентилятор може покращити відвід тепла на 30-50%. Схема вентиляції радіатора для охолодження НПДС зображена на рисунку.

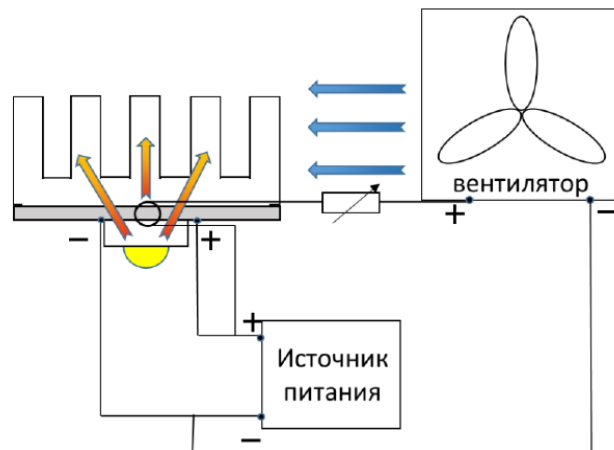


Рис.1.4 Схема використання активного радіатора

В тандемі з вентилятором доцільно використовувати спеціальні голчасті радіатори. Типова залежність теплового опору голчастого радіатора від швидкості потоку повітря зображена на рисунку.

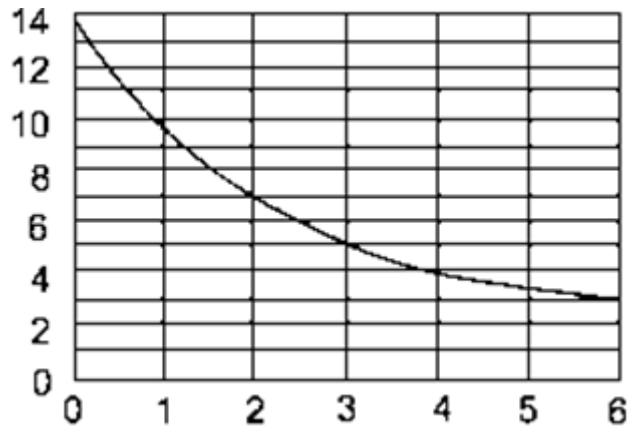


Рис. 1.5 Залежність теплового опору радіатора від швидкості потоку повітря.

Однак, вентиляторне охолодження досить гучне [12,13]. Лопаті вентилятора створюють звукові коливання, які негативно впливають на нервову систему. Щоб усунути цей недолік, використовують мал шумні низькооборотні електродвигуни. Вигідно відрізняє електродвигуни і великий термін експлуатації. Він складає понад 200 тисяч годин, це більше ніж термін служби НПДС.

Іноді для мінімізації рівня шуму і для зменшення геометричних розмірів охолоджувальної системи використовують струменеву технологію обдування радіатора. Наприклад, системи охолодження НПДС холодними струменями повітря SynJet.

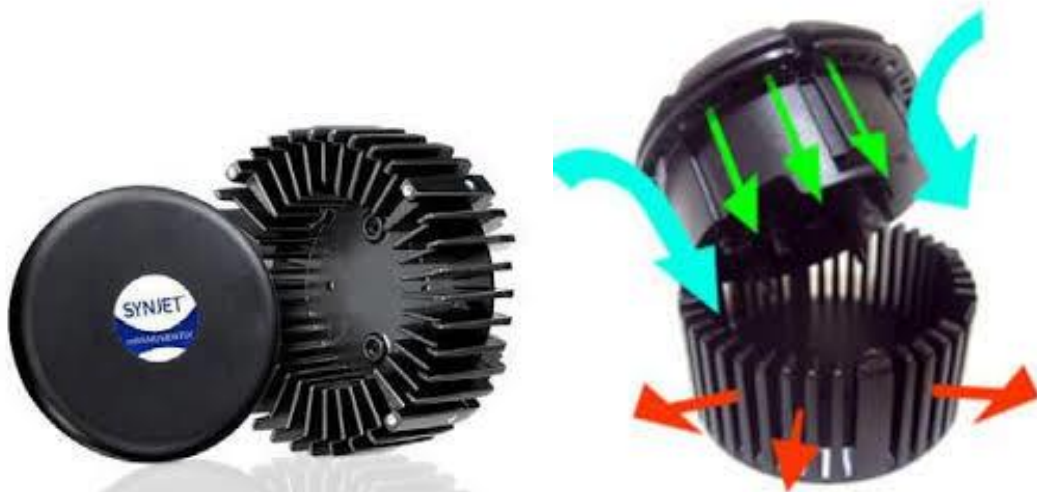


Рис. 1.6 Струменева система охолодження SynJet

Система SynJet значно знижує тепловий опір радіатора до величини 0.75-2.67 К/Вт.

1.3 Охолодження вентилятором в тандемі з тепловою трубкою

Теплові трубки швидко і безшумно транспортують теплову енергію з місць нагрівання в місця охолодження [17]. В основі їх роботи лежить принцип передавання прихованої теплоти пароутворення. Приведений коефіцієнт теплопровідності теплової трубки в сотні тисяч разів більший ніж коефіцієнт теплопровідності сплавів алюмінію чи трубки

Проте, теплові трубки для охолодження самі по собі не використовуються. Вони засовуються в парі з іншими пристроями охолодження.

До переваг теплових трубок належать:

- безвідмовність роботи;
- безшумність роботи;
- мала маса;
- малі габарити;
- відсутність затрат енергії на транспортування теплоносія;
- великий коефіцієнт теплопровідності.

Теплові трубки мають великий діапазон робочих температур, і ресурс роботи. Теплові трубки є найефективнішим пасивним методом відбору і переносу тепла.

Термостабілізація різноманітної електронної апаратури тепловими трубками свідчить про ефективність такого способу охолодження [17,18]. Очевидно, що воно може буде затребуваним і для охолодження світлодіодів і світлодіодних матриць. В роботах [8-10] була досліджена система охолодження СД де використовували теплові трубки. Дослідження показали, що такі системи охолодження забезпечують широкий температурний діапазон роботи. Система охолодження світлодіода в різних режимах роботи теплової трубки досліджувалася в роботі [17]. Практично доведено її високу ефективність в порівнянні з аналогічними металевими, які мають подібний профіль і площу поверхні. При цьому теплова математична модель системи охолодження не розглядалася і теоретичний аналіз не проводився.

НПДС являє собою систему світлодіодних кристалів, які змонтовані на чотирьох сполучених паралельно теплових трубках. В свою чергу, трубки

знаходяться в тепловому контакті з радіаторами. Холодне повітря контактуючи з пластинами радіатора нагрівається, і піднімається вгору. На його місце поступає холодне повітря. Процес охолодження триватиме до тих пір, поки можливим буде процес конвекції.



Рис 1.7 Світлодіодна лампа з охолодженням НПДС системою теплових трубок.

Аналогічна конструкція світлодіодної лампи з охолодженням світлодіодів одинарною тепловою трубою та пасивним радіатором представлена на рис 1.8.



Рис 1.8 Світлодіодна лампа з охолодженням світлодіодів одинарною тепловою трубою та пасивним радіатором.

Розглядувана система охолодження - пустотілий циліндр зовнішня поверхня якого, для інтенсифікації теплообміну, має ребрення. Циліндр виготовлений з анодованого алюмінієвого сплаву має діаметр 17 см, і висоту 23 см. В нижню частину циліндра вмонтовані світлодіодні матриці. Електрична потужність світлодіодної лампи - 200 Вт, а тепла - 150 Вт. При цьому, температура контактної поверхні світлодіодів є не більшою за 90°C, при

температурі доквілля не більше ніж 35°C . Така система охолодження працює як теплова трубка.

На рисунку 1.9 представлений потужний освітлювач - система НПДС з тепловими трубами та пасивним радіатором. Для відведення тепла використана радіальна система теплових трубок, з'єднаних паралельно по тепловому потоку і сполучених з діаметральним пасивним радіатором великої площі. Особливістю такого прожектора є велика кількість потужних світлодіодів, які змонтовані на колекторі тепла. Тепло від колектора, по радіальних теплових трубках передається до діаметрального радіатора. Радіатор виготовлений з анодованого алюмінію. Внаслідок ефективного теплообміну радіатора з середовищем температура світлодіодів підтримується на рівні не вище 400K .

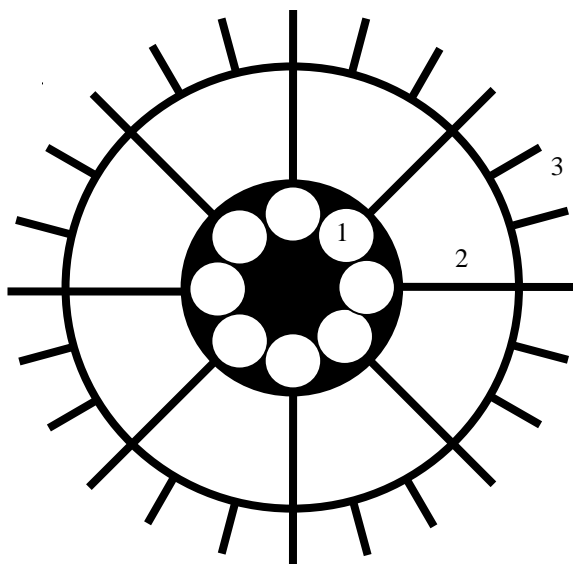


Рис 1.9 Схема НПДС з тепловими трубками та пасивним радіатором. 1- колектор тепла із світлодіодними матрицями, 2 – теплові трубки, 3 – радіатор.

Не дивлячись на всі плюси системи охолодження з тепловими трубками та пасивним радіатором, основним недоліком такого типу охолодження є обмежена можливість роботи з потужними НПДС (світлодіоди і світлодіодні матриці). Адже, щоб скинути теплову потужність в десятки і сотні ват, природної конвекції замало. Крім того, повітряні системи охолодження можуть працювати тільки в приміщеннях, тому мають обмежену область застосування.

В потужних НПДС для охолодження доцільно використовувати теплові трубки в тандемі з активним радіатором.

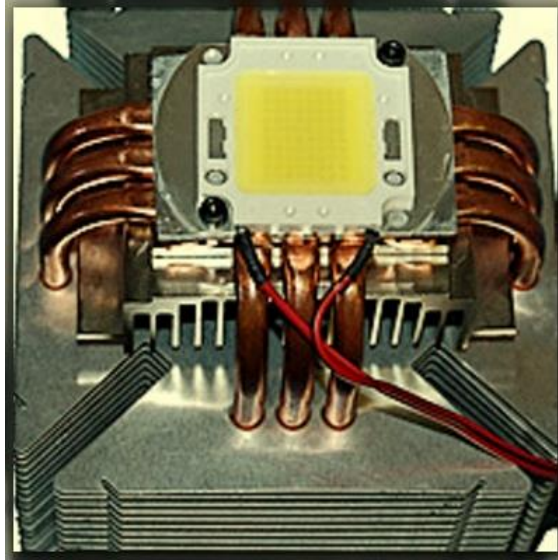


Рис. 1.10 Охолодження світлодіодної матриці SMA1516
тепловими трубками в тандемі з активним радіатором

Проте, системи з вентилятором і радіатором вразливі. Вони мають обмежену область застосування і термін експлуатації. Це викликано по - перше забрудненням вентилятора і радіатора, а по-друге - непрогнозованою поломкою підшипників крильчатки. Крім згаданих небезпек використання вентилятора приводить, порівняно із світильниками з пасивним охолодженням, до росту ціни кінцевого продукту.

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Принцип роботи та будова теплової трубки

Теплова трубка (ТТ), це високоефективний теплопровід, який передає великі кількості теплової енергії при малих теплових градієнтах температури на його поверхні. Як пасивні елементи вони не вимагають живлення, не випромінюють звукових хвиль, мають високу надійність, малу вагу, вібростійкі, протиударні та вигідно відрізняються низькою ціною.



Рис. 2.1 Зовнішній вигляд теплових трубок

Теплова трубка є металевою герметичною капсулою, яка частково заповнена рідким теплоносієм. Один кінець трубки знаходиться в області нагрівання, а інший в області охолодження. В області нагрівання рідкий носій випаровується, поглинаючи теплову енергію пароутворення, а в області охолодження пара, яка перемістилася із області нагрівання віддає поглинуте тепло у вигляді теплоти конденсації.

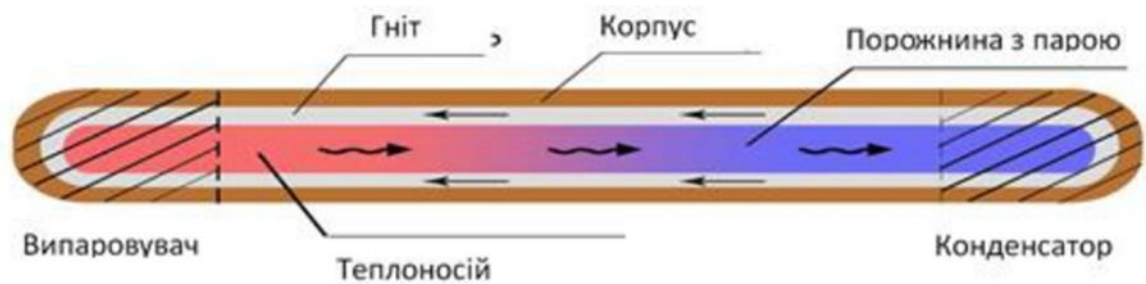


Рис 2.2 Поздовжній переріз теплової трубки

Переміщення пари із області нагрівання в область охолодження здійснюється за рахунок градієнта тиску, який виникає внаслідок градієнта температур в тепловій трубці.

Повернення рідини в області нагрівання відбувається внаслідок капілярної різниці тисків у гноті, який знаходиться на внутрішній поверхні трубки. Завдяки тому, що реверс рідини відбувається незалежно від напрямку дії сил гравітації, теплові трубки капілярного типу стали наймасовішими. Ефективний коефіцієнт теплопровідності трубки (відношення густини потоку тепла, який протікає через поперечний переріз до перепаду температури на одиницю довжини) на кілька порядків більший ніж коефіцієнт теплопровідності міді і сягає величини 10 000 Вт/мК. Для теплової трубки дуже небезпечним є перегрів області випаровування, адже в результаті цього настає криза кипіння. При цьому вся рідина випаровується, і потік тепла йде по стінках трубки. Ефективний коефіцієнт теплопровідності різко падає з усіма катастрофічними наслідками для охолоджуваного об'єкта.

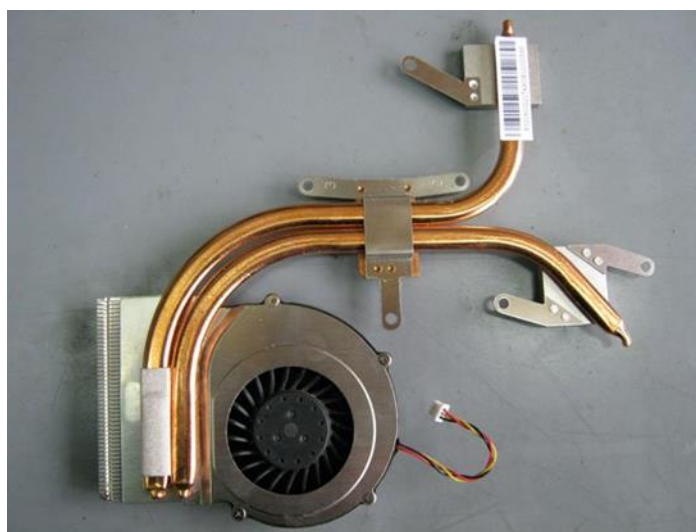


Рис. 2.3 Теплова трубка для охолодження центрального процесора ноутбука

Зараз, найпоширенішим типом теплових трубок є трубки Гровера. Трубка Гровера складається з трьох основних частин: герметичної капсули, рідини і гноту. Капсула забезпечує цілісність і герметичність конструкції та ізоляцію носія тепла від зовнішнього середовища. Конфігурація теплової трубки може бути різною, тому її можна використати для каналізації тепла від елементів, що

знаходяться в важкодоступних місцях. Як правило, для цього використовуються гнучкі пластмасові трубки. Теплові трубки мають малі: вагу, лінійні розміри, тепловий опір, просту і надійну конструкцію. При цьому, вартість самого виробу є відносно невисокою [10-12]. Схема будови теплової трубки Гровера представлена на рис. 2.2.

Поперечний переріз теплової трубки може бути довільної форми, здебільшого круглої або прямокутної. Для виготовлення капсули, як правило, використовують сплави: сталі, алюмінію і міді. Скло і кераміку застосовують для виготовлення вогнетривких теплових трубок, а пластмасу - еластичних. В процесі відбору матеріалу для капсули теплової трубки треба врахувати, що вони будуть працювати протягом тривалого часу (сотні тисяч годин). Тому, матеріал капсули має бути стійким до корозійних і ерозійних процесів [10–12]. Найкращим матеріалом для цього є мідь (після срібла і золота). Мідь сумісна з водою, міцна, пластична, добре обробляється, має великий коефіцієнт теплопровідності і відносно невисоку ціну. В таблиці 2.1 наведено параметри теплопровідності деяких матеріалів для виготовлення капсул теплових трубок.

Теплопровідність типових матеріалів для виготовлення капсул теплових трубок.

Таблиця 2.1

Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності Вт/м·К
Графен	4000 - 5780
Алюміній	202 - 236
Бронза	47 - 180
Латунь	86 - 111
Мідь	389 - 401
Залізо -	74 - 92
Нікель	55 - 93
Сталь	11 - 78
Титан	14 - 16

Теплоносій по відношенню до матеріалу капсули та гноту повинен бути хімічно неактивним, мати високу термостійкість, коефіцієнт змочування та

теплопровідність. Для оцінки якості теплоносія користуються формулою Бонда [10].

$$Bo = \frac{\sigma}{\rho}, \quad (2.1)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу,

ρ – питома густина рідини.

Параметр Бонда встановлює зв'язок між поверхневою та гравітаційною енергією теплоносія і використовується для оцінити ефективності роботи пристрою в гравітаційному полі. Модуль параметра Bo в широкому інтервалі температур, по-можливості, повинен бути мінімальним, що забезпечується малим коефіцієнтом поверхневого натягу та великою густиною.

Технічні характеристики деяких типових теплоносіїв для теплових трубок
Таблиця 2.2

Теплоносій	Температура кипіння (С°) (при тиску 101.3 кПа)	Питома теплота пароутворення (кДж/кг)	Кількість речовини, що випарувалася (г)
Вода	100	2256	0.44
Пропіловий спирт	97.2	750	1.33
Бензол	80.1	394	2.5
Етиловий спирт	78.3	840	1.2
Тетрахлорметан	76.6	195	5.13
Метиловий спирт	64.6	1100	0.9
Хлороформ	61.3	279	3.58
Ацетон	56.3	525	1.9
Фреон 113	48	260	3.85
Пентан	36.1	360	2.8
Диетилефір	34.5	384	2.6
Фреон (11)	24	200	5
Диметилефір	-24.8	467	2.14
Фреон 12	-24.9	162	6.17
Аміак	-33.4	1370	0.73

Іноді, для порівняння різних теплоносіїв застосовують критерій Кунца [10, 11]. Він описує максимально можливу потужність теплопередачі трубки. Критерій Кунца описується співвідношенням [13]:

$$M = \frac{\sigma L \rho}{\mu}, \quad (2.2)$$

де μ – коефіцієнт в'язкості теплоносія,

ρ – густина,

σ – коефіцієнт поверхневого натягу,

L – питома теплота пароутворення.

Як видно з таблиці, вода є ідеальним носієм тепла. У води в широкому температурному інтервалі при найбільшому коефіцієнті питомої теплоти пароутворення найменша ймовірність виникнення зародків пароутворення. При фінішному відборі носіїв тепла велику роль також відіграє доступність, безпечність, ціна, легкість заправки в систему охолодження. Після заправки трубки водою, трубку до високої температури, після чого запаюють. В результаті такої операції частина повітря вийде, а в трубці встановиться низький тиск. Завдяки пониженому тиску властивості води суттєво зміняться. Зокрема, знизиться температура кипіння. Тиск в тепловій трубці і кількість води підбираються так, що температура кипіння знаходиться на рівні 30°C.

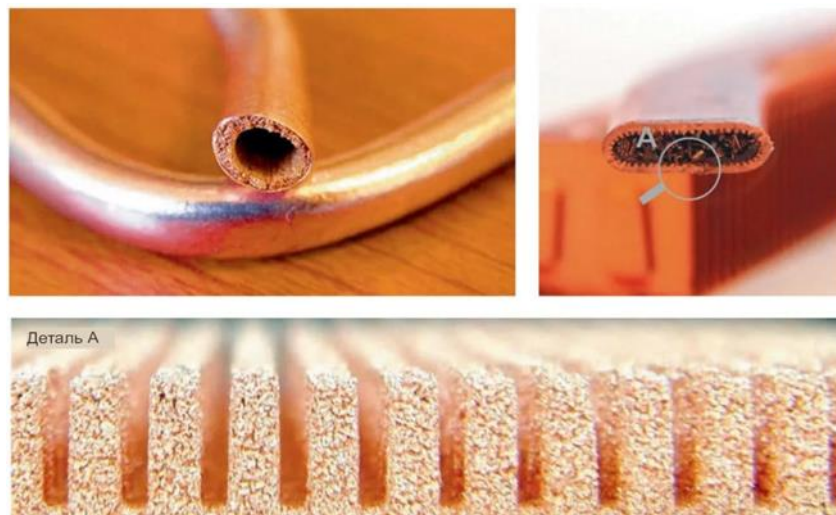


Рис. 2.4 Теплова трубка з капілярно –пористим гнотом

Гніт теплової трубки є капілярно-пористим матеріалом (КПМ). Він виконує транспортну функцію по переносу теплоносія із області випаровування в область конденсації. Крім того, гніт рівномірно розподіляє його по області випаровування, чим забезпечується рівномірність випаровування. Слід зазначити, що процеси кипіння та випаровування в гноті

супроводжується виникненням бульбашок рідини. Бульбашки утворюють блокуючі газові пробки, які перешкоджають безперешкодній циркуляції теплоносія в пористій структурі трубки. В зв'язку із цим, надзвичайно важливо використовувати теплоносій з великим значенням параметра перегріву. Величину параметра, при якому повністю блокується циркуляція рідини розраховують при допомозі емпіричного співвідношення:

$$\Delta T = \frac{3.06T_v\sigma}{L\rho_v\delta}, \quad (2.3)$$

де ρ_v - питома густина насиченої пари рідини,

δ - товщина теплового шару,

L – питома теплота пароутворення,

T_v – робоча температура пари.

Щоб практично звести до нуля можливість утворення газових пробок, воду треба довести до високого ступеня чистоти і дегазації. Найчастіше, для зниження температури кипіння у воду добавляють метанол, а гніт трубки виготовляють з порошкоподібної міді.

Значення параметра перегріву деяких теплоносіїв Таблиця 2.3

Теплоносій	Величина параметра перегріву (K)
Вода	1,4675
CH ₃ OH	0.0117
CH ₃ OH	0.0103
CH ₃ OH	0.0222
Перфторметилдеклін	0.1877
Перфторметил-циклогексан	0.095
Аміак	0.044

Внутрішня структура гнотів різної конфігурації: капілярної, канавчатої, порошкової і сітчатої показана на рисунку 2.2. Теплові трубки, виготовлені на базі порошкової технології вирощування гнотів мають деякі експлуатаційні обмеження. Зокрема, в трубках з поршковими гнотами можливе: замерзання рідини, руйнування гноту і корпусу трубки і в результаті цього - повне

припинення функціонування. В той же час сітчаті і канавчаті гноти здатні працювати в широкому діапазоні температур.

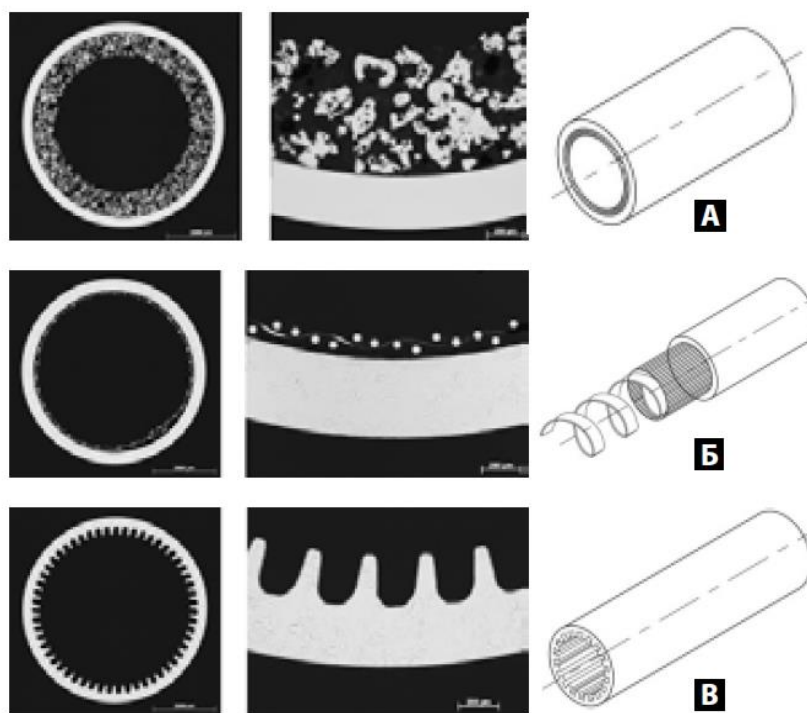


Рис 2.5 Конфігурація поперечного перерізу теплової трубки з різними структурами: а - порошковою, б - сітчатою в - канавчатою.

Кількість перенесеного трубкою тепла пропорційна об'єму теплоносія. Тому, для переносу значних теплових потужностей, кількість теплоносія повинна бути великою. Це значить, що великим повинен бути і діаметр і довжина теплової трубки. Проте, при збільшенні діаметра трубки збільшується і тепловий опір в радіальному напрямку. Ця обставина заважає росту теплотransпортної здатності в радіальному напрямку і зменшенню теплотransпортних можливостей трубки в цілому. Крім вказаних факторів, кількість відведеної теплової енергії залежить від швидкості і частоти перетворень рідина–пара–рідина. Тому слід вибирати трубки оптимальної довжини і оптимального. Найкращий результат вибору параметрів трубки дають експериментальні дослідження.

Отже, коли необхідно забезпечити ефективне охолодження елементів з високою питомою потужністю, а також коли необхідно відвести тепло на великі відстані від джерела теплової енергії, тепловим трубкам немає альтернативи.

Характеристики систем охолодження на теплових трубках. Таблиця 2.4

Тип системи охолодження	Температура світлодіода, (°C)	Максимальна температура системи охолодження, °C
електрична потужність, теплова потужність, яка подається на систему охолодження 30 Вт температура середовища 20 °C		
на теплових трубах	78	53
на мідних стержнях	133	36
на алюмінієвих стержнях	163	30
температура середовища 40 °C		
на теплових трубах	99	73
на мідних стержнях	154	56
на алюмінієвих стержнях	185	50
електрична потужність, теплова потужність, яка подається на систему охолодження 20 Вт температура середовища 20 °C		
на теплових трубах	61	44
на мідних стержнях	98	32
на алюмінієвих стержнях	119	27
температура середовища 40 °C		
на теплових трубах	81	64
на мідних стержнях	118	52
на алюмінієвих стержнях	140	48

Технічні параметри типових теплових трубок Таблица 2.5

Продукция	Геометрические параметры, мм			Корпус	Рабочая жидкость	Фитиль	Максимальная теплопередающая способность, Вт	Термическое сопротивление, К/Вт	Цена, долл.
	L	B (∅)	H						
Тепловая труба	100–400	3–12	–	Медь, алюминий, нержавеющая сталь	Вода, аммиак, органические вещества	Спеченный порошок меди	до 80	0,03–0,8	12–30
Тепловая труба ИТМО	280	10	–	Медь	Вода	Сетка из нержавеющей стали	85	0,1–0,3	10
Плоская тепловая труба	100–300	100–300	1–3	Медь, алюминий, нержавеющая сталь	Вода, аммиак, органические вещества	Спеченный порошок меди	до 20	0,1–0,5	19–100
Плоская тепловая труба ИТМО	150	30	3	Медь	Вода	Сетка из нержавеющей стали	100	0,13–0,3	25

Хоч і вигини теплової трубки знижують ефективність теплопередачі, але в багатьох випадках можуть виявитися корисними. Адже адаптація форми трубки до потреб конструкції дозволяє обходити інші компоненти конструкції світлодіодного освітлювача, полегшуючи проектування пристрою. Теплові трубки із вбудованим радіатором покращують розподіл тепла.

2.2 Тепловий менеджмент потужних НПС

Ефективність напівпровідникових джерел світла в значній мірі залежить від робочої температури світловипромінювальних кристалів і температури навколишнього середовища. Вказуючи технічні характеристики, виробник бере за основу кімнатну температуру 25°C. В традиційних умовах експлуатації температура світловипромінюючого активної зони складає 85°C або більше. Тому для напівпровідникових джерел світла не існує поняття оптимальної робочої температури, на відміну від люмінесцентних ламп, для яких ідеальною температурою є 35°C. Якщо температура буде вищою або нижчою від заявленої, то ефективність люмінесцентного освітлювача суттєво зменшиться. Для напівпровідникових джерел світла справедливе наступне твердження: чим нижча температура кристалів, тим краще. Впевнитися в цьому можна в умовах глибокого охолодження, при якому ефективність світлодіодів значно перевершує заявлені технічні параметри. Сучасний напівпровідниковий світильник розрахований на роботу протягом 50000 годин. Проте, для цього необхідно дотриматися двох важливих умов.

По-перше, задекларований термін експлуатації справедливий для робочої температури кристала 80-85°C. Більш високі температури скорочують термін служби приладу. І навпаки, більш низькі температури дозволяють продовжити термін експлуатації.

По-друге, слід враховувати, що з часом напівпровідникові джерела світла поступово втрачають яскравість. У середньому, через 50000 годин роботи світловий потік світлодіодів у порівнянні з початковим рівнем падає на 70%. Відповідальні виробники приділяють велику увагу терморегуляції світлодіодних світильників. Для досягнення поставлених завдань вони використовують охолоджуючі пластини та спеціальну струмопровідну фольгу. Завдяки таким заходам робоча температура світлодіодів варіюється в межах до 60°C, і термін експлуатації приладу, таким чином, суттєво збільшується. Особливо це стосується потужних світлодіодів. Їх основними перевагами є: висока ефективність, у співвідношенні енергії, що витрачається, до генерації світлового потоку, механічна міцність і великий термін роботи. Виробники вказують його від 50 до 100 тисяч годин. Причому мається на увазі, що через цей час

відбудеться певне зниження світлового потоку потужного світлодіода, а не його вихід з ладу. Освітлювальний прилад на базі потужних світлодіодів вважається придатним для експлуатації, якщо його світловий потік не зменшився більше, ніж на 50%. Для того щоб потужний світлодіод відпрацював заявлений час, потрібно створити оптимальні умови для його експлуатації. Головне – це підтримання комфортного температурного режиму. Від нього залежить термін роботи освітлювального приладу.

Потужний світлодіод розрахований на використання при певній температурі і її підвищення веде до прискореної деградації кристала, знижуючи його світловий потік і довговічність. Це один з головних факторів, який впливає на термін експлуатації світлодіода і який враховується при конструюванні освітлювального приладу. Велика кількість тепла виділяється самим кристалом потужного світлодіода, будучи побічним явищем при генерації світлового потоку. Чим більша потужність світлодіода, тим він сильніше гріється, що теж потрібно враховувати при створенні освітлювальних приладів. Проте, у певних випадках в плані охолодження може бути більш ефективним встановити більше світлодіодів меншої потужності, досягнувши при цьому такого ж світлового потоку і збільшивши якість і термін служби приладу.

Потужні світлодіоди розраховані для роботи при певному струмі. Збільшення сили струму веде до підвищення температури та прискорення деградації кристала. Тому для забезпечення адекватного температурного режиму необхідно контролювати величину струму. Для цього використовуються драйвери живлення. Вони дозволяють підключити певну кількість світлодіодів. Існують драйвери, за допомогою яких можна керувати світлодіодами. Наприклад, драйвер PC-SD11-6B призначений для керування 77 одноватними білими світлодіодами або 4 двадцятиватними світлодіодами будь-якого кольору. Це досить потужний драйвер живлення. Є інші моделі для будь-яких інших освітлювальних приладів. Крім природного нагрівання кристалів потужних світлодіодів, причиною додаткового підвищення температури освітлювальних приладів можуть бути зовнішні фактори.

Таким чином, при створенні освітлювального приладу на основі світлодіодів слід враховувати вплив температури на деградацію кристала світлодіода, що веде до зменшення яскравості. Тому потрібно використовувати якісні і правильно підібрані драйвери живлення, та конструювати радіатор освітлювального приладу таким чином, щоб забезпечити температурний режим роботи потужного світлодіода не вище 50 - 65 градусів.

Для створення високоякісного теплового інтерфейсу між елементами теплового кола, їх з'єднують через спеціальні теплопровідні прокладки. В якості прокладок використовують термопасти, теплопровідні клеї або гелі. Характеристики деяких сучасних контактних матеріалів наведені в таблиці 2.5. Величину термічного опору між елементами теплового кола розраховують за формулою

$$\Theta = \frac{1}{\kappa} \frac{l}{S}$$

де κ – коефіцієнт теплопровідності контактного шару,

l – його товщина,

S – площа.

Таким чином, тепловий опір пропорційний товщині теплопровідного шару, і обернено пропорційний його площі. Тому якісний тепловий контакт можна створити при зменшенні товщини і при збільшенні площі контакту.

Характеристики контактних матеріалів. Таблиця 2.6

Теплопровідний матеріал	Переваги	Недоліки
Термопаста	Велика теплопровідність, товщина шару клею, в'язкість, не твердне	Вважається досить брудним при виробництві
Матеріали із зміною фази	Велика в'язкість дає більшу надійність в порівнянні з термопастами, зручніша в користуванні, розшарування	В порівнянні з термопастами нижча теплопровідність, поверхневий опір може бути більшим, ніж у термопаст, для збільшення ефективності необхідно прикласти тиск.
Гелі	Добре заповнюють нерівності поверхні	В порівнянні з термопастами нижча теплопровідність, слабше зчеплення, ніж у термоклеїв
Термоклеї	Добре заповнюють нерівності поверхні	Необхідний процес очищення

2.3 Експериментальні дослідження системи охолодження з тепловими трубками

Найкращий результат вибору параметрів системи охолодження на теплових трубках дають експериментальні дослідження. Для тестування системи охолодження був виготовлений випробовувальний стенд у вигляді алюмінієвої пластини товщиною 5 мм. Така товщина сприяє рівномірному розподілу тепла по площі пластини. Для нагрівання пластини був виготовлений плоский електричний нагрівач потужністю 200 Вт. Для ізоляції нагрівача від зовнішнього середовища використовувалася мінеральна вата та азбесто-цементні пластини. Алюмінієва пластина разом з нагрівачем є моделлю потужної світлодіодної матриці. Для живлення нагрівача використовується лабораторний блок живлення Mastech NY3020E. При цьому, потужність нагрівача може регулюватися в межах 0 - 200 Вт.

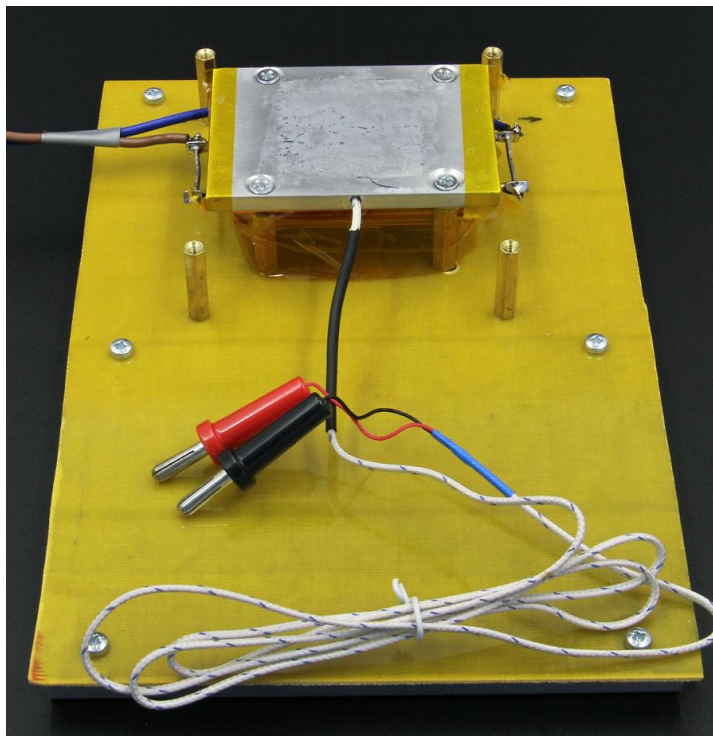


Рис. 2.6. Випробувальний стенд для тестування системи охолодження
Для контролю температури в пластину вмонтований датчик температури.

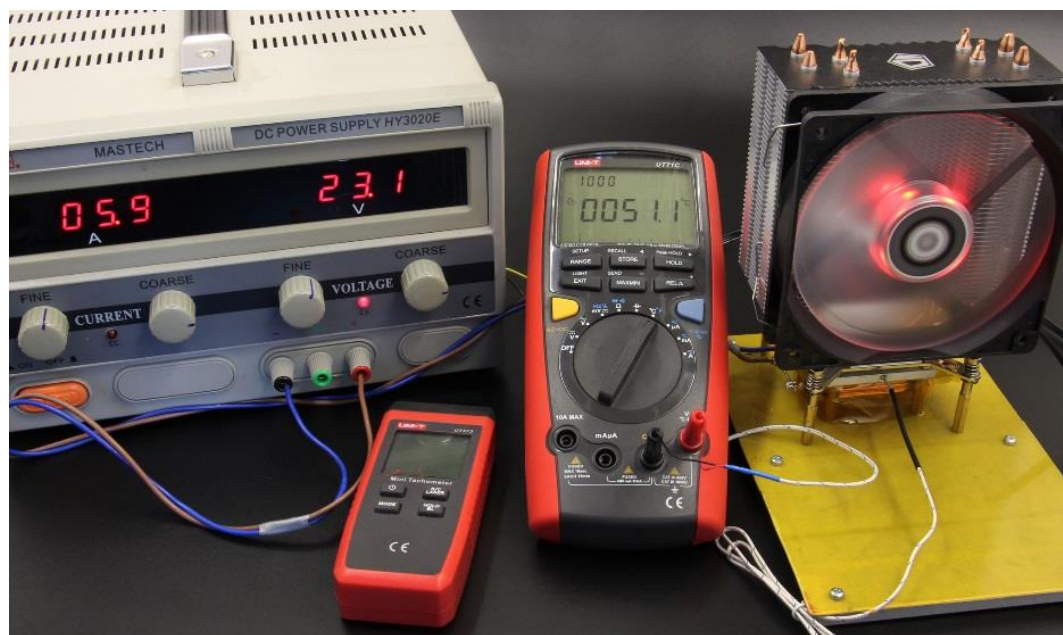


Рис. 2.7. Схема апаратної компоновки випробувального стенду



Рис. 2.8 Випробувальний стенд із встановленою системою охолодження

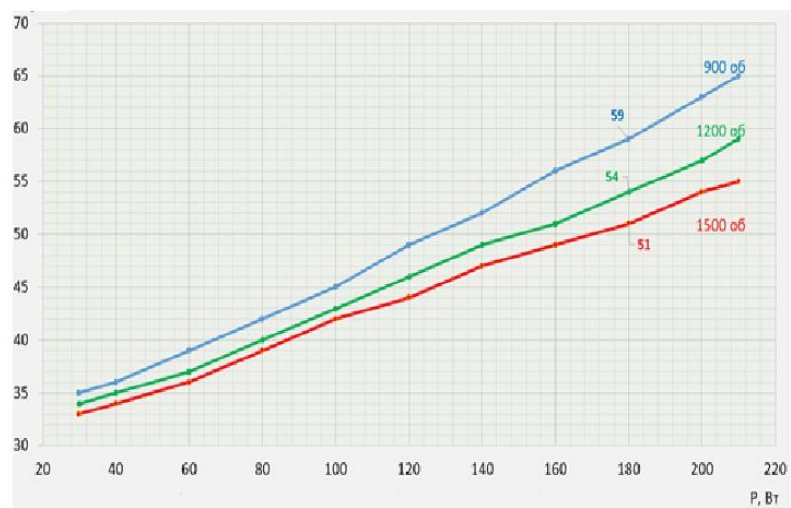


Рис. 2.9 Температура алюмінієвої пластини в залежності від потужності нагрівача при різних частотах обертів кулера SE-224M

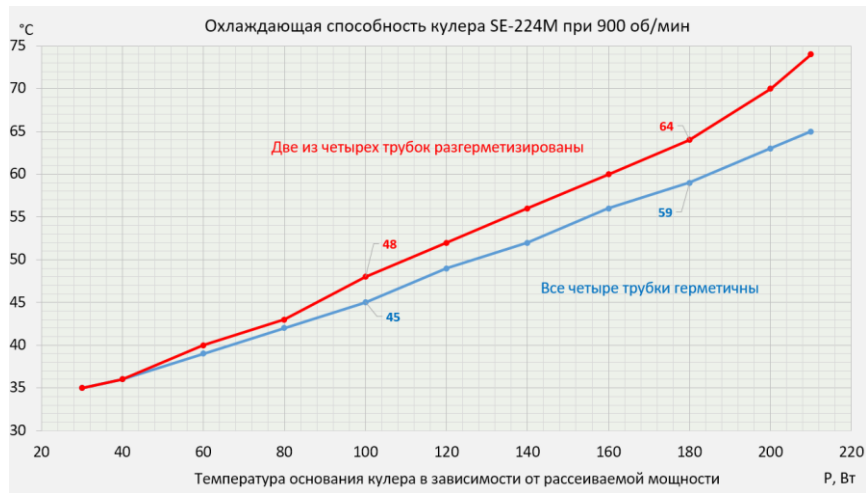


Рис. 2.10 Температура алюмінієвої пластини в залежності від потужності нагрівача для кулера SE-224M при частоті 900 об/хв, та при різній кількості теплових трубок

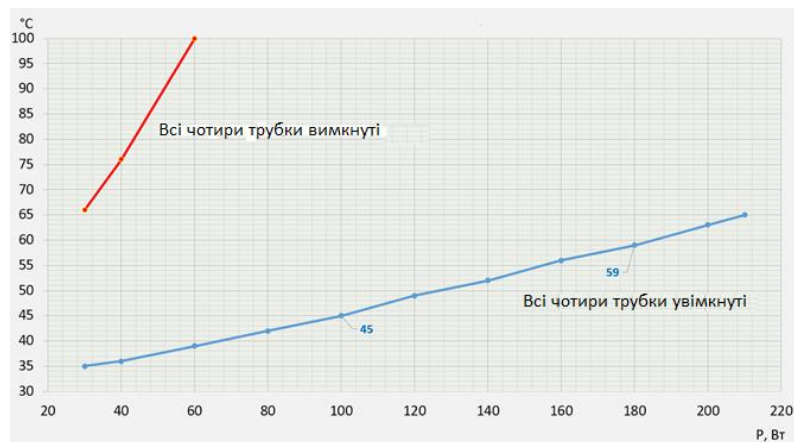


Рис. 2.11 Температура алюмінієвої пластини в залежності від потужності нагрівача для кулера SE-224M при частоті 900 об/хв

Дослідження системи охолодження на теплових трубках підтверджує припущення, що вони можуть суттєво знизити температуру потужних напівпровідникових джерел світла, які працюють екстремальних умовах. з можливістю зменшити її за допомогою теплової трубки для охолодження. Теоретичні результати, отримані для розробленої моделі, демонструють, що система може бути реалізована на місці з декількома умовами зовнішнього середовища. З огляду на отримані переваги та економічний ефект, система має перевагу, яку можна побудувати за допомогою низької вартості виробництва та легкого обслуговування.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вплив температури на світловий потік НПДС

При проходженні електричного струму через НПДС в його кристалах виділяється теплова енергія. Місцями виділення тепла є підвідні контакти, і p - n - переходи. При невеликих струмах виділенням тепла в підвідних контактах нехтують, оскільки розсіювана потужність надзвичайно мала. Проте, із збільшенням струму зростає концентрація носіїв струму, яка спричиняє безвипромінювальну рекомбінацію електронів і дірок через глибокі домішкові рівні. Це призводить до надмірного розігріву кристалів і до зменшення інтенсивності світлового випромінювання.



Рис. 3.1. Схематична будова НПДС.

Графічна залежність відносного світлового потоку від температури кристалу для світлодіода GREE Xlamp CMA 1516 LED представлена на рисунку 3.1 [0]. Він нормується на 100% при номінальному струмі $I_f=450\text{mA}$, та при температурі гетеропереходу $T_{j0}=85\text{ C}$. При цьому абсолютна величина світлового потоку складає Φ_0 1900лм. Світловий потік при інших вхідних параметрах знаходять шляхом перерахунку. Для прикладу, розглянемо стаціонарний режим при температурі контактної площадки $T_c = 25^\circ\text{C}$, та при номінальному струмі $I_f=700\text{ mA}$. Цьому режиму відповідає відносний світловий потік - 150%. Після перерахунку знаходимо абсолютний світловий потік

$$\Phi |_{I_f=1900} = 1900 \frac{150}{100} = 2850\text{лм}$$

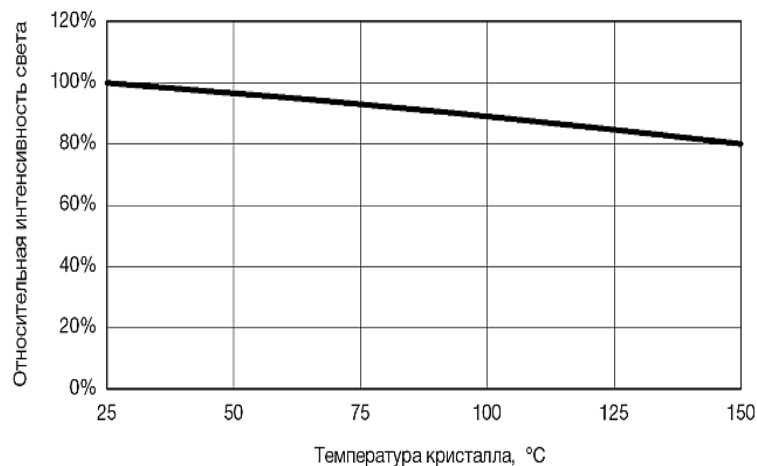


Рис. 3.2. Залежність відносного світлового потоку від температури p - n -переходу для світлодіода *GREE Xlamp CMA 1516 LED*.

Використовуючи метод регресійного аналізу [0] температурну залежність світлового потоку можна апроксимувати лінійною функцією

$$\Phi |_{I_f=I_{f0}}(T_j) = \Phi_0 [c_0 - c_1(T_j - T_{j0})], \quad (3.1)$$

де Φ_0 – світловий потік при температурі p - n -переходу $T_{j0}=85$ C і при струмі $I_{f0}=450$ мА, $c_0=1$, $c_1=0.003236$ K⁻¹.

Цей вираз в межах інтервалу температур $T_j = 25 \div 150$ C описує дані з точністю до 1%. Із збільшенням струму частота рекомбінації електрон-діркових пар з випромінюванням квантів світла збільшується. Це приводить до збільшення інтенсивності випромінювання. Графічна залежність відносного світлового потоку від струму представлена на рисунку 3.2.

Залежність світлового потоку від струму можна апроксимувати параболічною функцією

$$\Phi |_{T_j=T_{j0}}(I_f) = \Phi_0 \left[-d_0 + d_1 \frac{I_f}{I_{f0}} - d_2 \left(\frac{I_f}{I_{f0}} \right)^2 \right] \quad (3.2)$$

де $d_0 = 0,0481$, $d_1 = 1,451$, $d_2 = 0,404$, $T_{j0}=85$ C, $I_{f0} = 450$ мА.

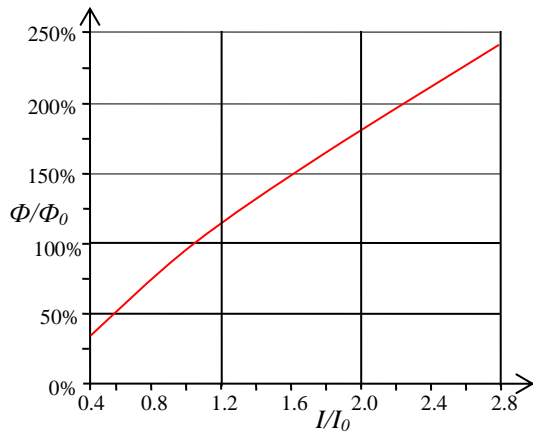


Рис. 3.3 Залежність відносного світлового потоку від струму для світлодіода *GREE Xlamp CMA 1516 LED*.

Оскільки світловий потік злежить від двох незалежних змінних, то в першому наближенні можна припустити, що його можна представити у вигляді добутку двох знайдених функцій:

$$\Phi(T_j, I_f) = \Phi_0 \left[c_0 - c_1(T_j - T_{j0}) \right] \left[-d_0 + d_1 \frac{I_f}{I_{f0}} - d_2 \left(\frac{I_f}{I_{f0}} \right)^2 \right] \quad (3.3)$$

Використовуючи отриману функцію, можна знайти оптимальний баланс між тепловим режимом і параметрами розроблюваної системи на базі СД. Для приросту світлового потоку маємо:

$$d\Phi = \frac{\partial \Phi(T_j, I_f)}{\partial T_j} dT_j + \frac{\partial \Phi(T_j, I_f)}{\partial I_f} dI_f \quad (3.4)$$

При одночасній зміні T_j , та I_f найбільшого зростання світлового потоку можна досягти, якщо одночасно

$$\frac{\partial \Phi(T_j, I_f)}{\partial I_f} \Big|_{T_j = \text{const}} > 0 \quad \text{і} \quad \frac{\partial \Phi(T_j, I_f)}{\partial T_j} \Big|_{I_f = \text{const}} > 0. \quad (3.5)$$

Перша умова виконується завжди, тому що із збільшенням прямого струму світловий потік завжди збільшується. Виконання другої умови можна забезпечити при охолодженні кристала СД пристроями примусового

охолодження. Отже, для отримання великого світлового потоку необхідно експлуатувати НПДС при великих струмах і при низьких температурах світловипромінювального кристала. Запропонована узагальнена процедура розрахунку і приклади аналітичних виразів дозволяють отримати світловий вихід СД залежно від його теплового режиму. Дана методика дозволить вибрати температуру переходу і прямий струм на основі світлового потоку, близького до максимальної величини.

Графічна залежність відносного світлового потоку від температури кристалу для світлодіода *GREE Xlamp CMA 1516 LED* представлена на рисунку 3.4. Як видно із графіка, світловий потік збільшується із збільшенням прямого струму. Проте, реальна температура переходу світлодіода становить $90 \div 110$ С. Отже, у будь-якого НПДС світловий потік не перевищує 90% від паспортного величини світлового потоку приладу. При порушенні теплового режиму НПДС відхилення від заявленого значення може бути ще більшим. Крім того, із збільшенням температури кристала змінюється колірна температура світла в бік збільшення (рис. 3.2).

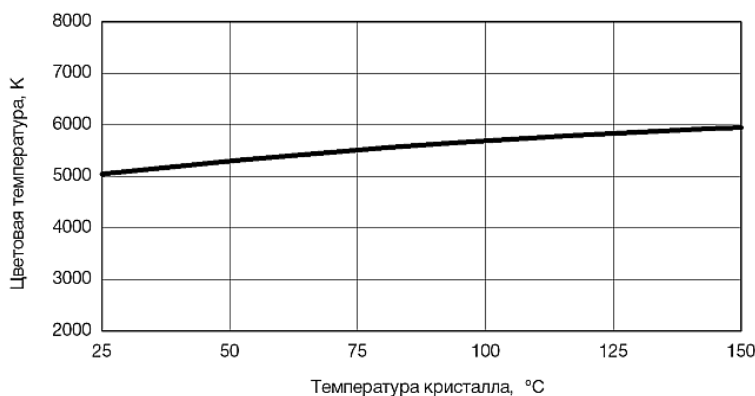


Рис. 3.4 Залежність колірної температури від температури кристала.

Найчастіше в світильниках встановлюються світлодіоди холодного білого світла з помітною часткою блакитного відтінку, оскільки як вони мають меншу вартість в порівнянні з такими ж джерелами більш теплого світла. Їх колірна температура складає 6000 С і дуже близька до колірної температури поверхні Сонця.

В НПДС холодного білого світла значна частина випромінювання складається із синьої частини спектра, де чутливість ока менша. І, незважаючи на те, що світловий потік більший, ніж у «теплих» НПДС, відчуттєва освітленість таких

джерел світла може виглядати недостатньою, а світло надто тьмяним. Перегрів кристалів і зміщення спектра в сторону синьої області в сукупності із зменшенням світлового потоку сприймається як помітне послаблення світла. До всього перерахованого вище додаються втрати світлового потоку на оптичній гарнітурі освітлювача та рефлекторних втратах у фокусируючих елементах. Для зменшення непродуктивних втрат, оптика й захисне скло в НПДС часто виготовляють з полікарбонату, втрати світлового потоку в якому більша, ніж в оптиці із силікатного скла. Підсумовуючи наведені міркування можна стверджувати, що високі температури експлуатації є визначальним фактором, який погіршує світлові характеристики НПДС. Причому погіршуються відразу декілька важливих параметрів: світловий потік, колірна температура, термін експлуатації. В результаті спільної дії вказаних факторів знижується економічна ефективність застосування НПДС. Проте, у сучасних високоякісних світильниках фактор впливу високої температури на працездатність світлодіодів врахований. Елементи тепловідведення виготовлені так, що в найгіршому режимі роботи максимальна температура кристалів залишається меншою 100 С, а в номінальному знаходиться на рівні 80 С. Це гарантує високоякісне освітлення, тривалий термін експлуатації та суттєвий економічний ефект застосування НПДС.

Очевидно, що світловий потік НПДС збільшується при збільшенні струму і зменшується при збільшенні температури. Обидві залежності близькі до лінійної. Розглянемо для прикладу, як залежить світловий потік світлодіода серії *XP-L* від температури кристала при різних робочих струмуах. Графік цієї залежності наведений на рис. 3.5.

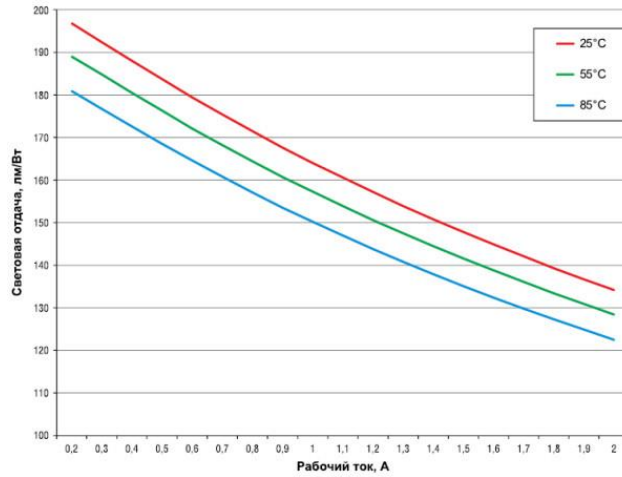


Рис. 3.5 Світловіддача світлодіода XR-L в залежності від прямого струму і температури кристала

Графік наочно демонструє, наскільки різко знижується світловіддача НПДС при збільшенні робочого струму і температури кристала. При струмі 150мА, та при температурі кристала 25°C ефективність світлодіода серії XR-L досягає майже 200 лм/Вт, а на максимальному струмі 3000 мА - падає в два рази, приблизно до 100 лм/Вт.

3.2 Теплова математична модель НПДС з тепловою трубкою

В основі теплової математичної моделі світлодіода лежить принцип подібності аналітичних залежностей, які описують електричне поле в провіднику поза джерелами ЕРС і теплове поле поза джерелами тепла.

Аналоги електричних і теплових величин

Таблиця 3.1

Електричне коло			Теплове коло		
Назва	Позн. або форм.	Од. вимір.	Назва	Позн. або форм.	Одиниця вимір.
Питома електропровідність	σ	$I/Ом \cdot м$	Питома теплопровідність	K	$Вт/м \cdot K$
Електричний опір	R	$Ом$	Тепловий опір	Θ	$K/Вт$
Сила струму	I	A	Потужність	P	$Вт$
Потенціал	φ	B	Температура	T	$K, ^\circ C$
Напруга	$U=\varphi_1-\varphi_2$	B	Перепад температури	$\Delta T=T_1-T_2$	$K, ^\circ C$

Модель корисна тим, що тепловими опорами можна оперувати так само як електричними. Це робить теплові процеси наочними і значно спрощує розрахунки. Така модель ніяким чином не впливає на точність розрахунків і не обмежує сфери її застосування.

Для побудови теплової математичної моделі будемо розглядати НПДС як тепловий генератор потужністю P_t . Будемо вважати теплову трубку суцільним однорідним тілом з незмінною площею поперечного перерізу. Для інтенсифікації теплообміну з навколишнім середовищем на поверхню трубки нанесене радіаторне оребрення.

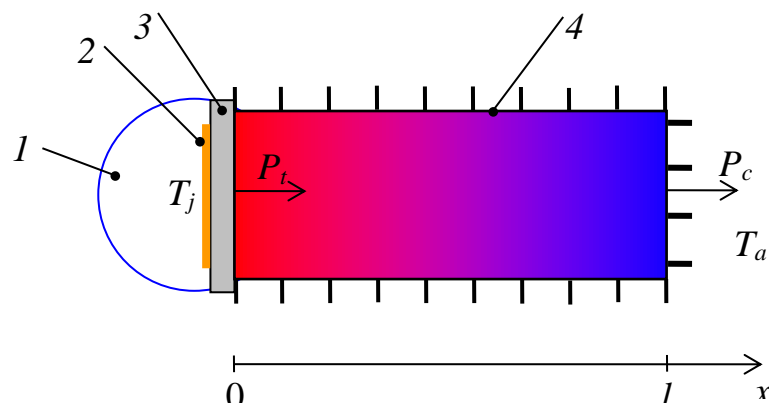


Рис. 3.6 Схема охолодження НПДС тепловою трубкою. 1 - корпус, 2 – кристал, 3 – контактна площадка, 4 – теплова трубка.

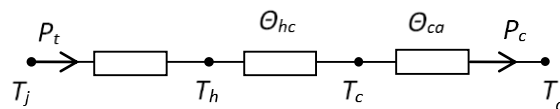


Рис. 3.7 Теплова схема охолодження НПДС тепловою трубкою. T_j - температура кристала, T_h - температура контактної площадки, T_c - температура поверхні трубки, T_a - температура середовища.

Процес теплопереносу в тепловій трубці можна описати стаціонарним рівнянням теплопровідності [8]

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} - \gamma^2 t = 0. \quad (3.6)$$

де T - температура поверхні трубки,

T_a - температура навколишнього середовища,

$$t = T - T_a, \quad (3.7)$$

температура перевищення,

$$\gamma = \sqrt{\frac{\alpha_p P}{\kappa S}}, \quad (3.8)$$

p і S –периметр і площа поперечного перерізу трубки,

κ - коефіцієнт теплопровідності теплової трубки,

α_p - коефіцієнт теплообміну між бічною поверхнею трубки і середовищем.

Рівняння теплопровідності необхідно доповнити рівнянням теплогенерації Джоуля

$$P_t = (1 - \eta_e) I_f U_f, \quad (3.9)$$

та граничними умовами неперервності потоків тепла на межі поділу однорідних структур НПДС (кристал - контактна площадка, контактна площадка –теплова трубка)

$$-\kappa \frac{dt}{dx} \Big|_{x=0} = q_t, \quad (3.10)$$

$$-\kappa \frac{dt}{dx} \Big|_{x=l} = \alpha_l t \Big|_{x=l}. \quad (3.11)$$

Тут P_t - потужність генерації тепла,

I_f , - номінальний струм НПДС,

U_f , - номінальна напруга живлення,

η_e - квантова ефективність НПДС,

α_l - коефіцієнт теплообміну між торцевою поверхнею теплової трубки і навколишнім середовищем.

Будемо вважати, теплова трубка є однорідною, а тепловий потік по перерізу трубки розподілений рівномірно. Знайдемо густину потоку тепла:

$$q_t = \frac{P_t}{S}. \quad (3.12)$$

Розв'язок рівняння теплопровідності будемо шукати у вигляді суми експонент:

$$t(x) = C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x}, \quad (3.13)$$

де C_1 і C_2 постійна коефіцієнти, які визначаються із граничних умов.

Підставимо (3.13) в (3.10) і (3.11)

$$(C_1 - C_2) = -\frac{q_t}{\kappa\gamma}, \quad (3.14)$$

$$(C_1 e^{\gamma l} - C_2 e^{-\gamma l}) = -\frac{\alpha_l}{\kappa\gamma} (C_1 e^{\gamma l} + C_2 e^{-\gamma l}), \quad (3.15)$$

Спільно розв'язуючи систему двох лінійних рівнянь з двома невідомими знайдемо C_1 і C_2

$$C_1 = \frac{q_t}{2\kappa\gamma} \left(1 - \frac{\alpha_l}{\kappa\gamma} \right) \left(\frac{e^{-\gamma l}}{\operatorname{sh} \gamma l + (\alpha_l/\kappa\gamma) \operatorname{ch} \gamma l} \right), \quad (3.16)$$

$$C_2 = \frac{q_t}{2\kappa\gamma} \left(1 + \frac{\alpha_l}{\kappa\gamma} \right) \left(\frac{e^{\gamma l}}{\operatorname{sh} \gamma l + (\alpha_l/\kappa\gamma) \operatorname{ch} \gamma l} \right) \quad (3.17)$$

Підставимо (3.16) і (3.17) в рівняння (3.13). Для розподілу температури перегріву на поверхні теплової трубки отримаємо:

$$t(x) = \frac{P_t}{\alpha_l S} \left(\frac{\operatorname{ch} \gamma(l-x) + \operatorname{sh} \gamma(l-x)}{\operatorname{sh} \gamma l + (\alpha_l/\kappa\gamma) \operatorname{ch} \gamma l} \right) \frac{\alpha_l}{\kappa\gamma}, \quad (3.18)$$

Знайдемо температуру перегріву гарячого кінця теплової трубки. При $x=0$ отримаємо

$$t(0) = \frac{P_t}{\alpha_l S} \left(\frac{1 + (\alpha_l/\kappa\gamma) \operatorname{th} \gamma l}{(\alpha_l/\kappa\gamma) + \operatorname{th} \gamma l} \right) \frac{\alpha_l}{\kappa\gamma}. \quad (3.19)$$

Знайдемо температуру перегріву холодного кінця теплової трубки. При $x=l$ отримаємо

$$t(l) = \frac{P_t}{\alpha_l S} \left(\frac{1}{(\alpha_l/\kappa\gamma) + \operatorname{th} \gamma l} \right) \frac{\alpha_l}{\kappa\gamma}. \quad (3.20)$$

Важливим є середній градієнт температури на поверхні трубки.

$$\lambda(\gamma) = \frac{t(0) - t(l)}{l} = \frac{P_t}{\alpha_l S} \left(\frac{\alpha_l}{\kappa\gamma} \right)^2 \frac{\operatorname{th} \gamma l}{(\alpha_l/\kappa\gamma) + \operatorname{th} \gamma l}. \quad (3.21)$$

Із (3.20) видно, що для довгої теплової трубки

$$\lim_{\gamma \rightarrow \infty} \lambda(\gamma) = 0. \quad (3.22)$$

Дане співвідношення говорить, що бічна поверхня теплової трубки є поверхнею рівної температури (ізотермічною поверхнею). Завдяки цьому, теплообмін із середовищем через бокову поверхню відбувається рівномірно з через всю поверхню трубки. Це сприяє ефективнішому і швидшому теплообміну з навколишнім середовищем.

Враховуючи, що

$$t = T - T_a, \quad (3.23)$$

знайдемо температуру бокової поверхні теплової трубки

$$T_j = T_a + P_t \left[\frac{\varepsilon}{\alpha_l S} \left(\frac{1 + \varepsilon th \beta}{\varepsilon + th \beta} \right) \right]. \quad (3.24)$$

тут $\beta = \eta$ - ефективна довжина трубки,

$\varepsilon = \alpha_l / \kappa \eta$ - ефективний коефіцієнт теплообміну між торцевою поверхнею трубки і навколишнім середовищем.

Граничні коефіцієнти теплопровідності суцільних металевих стержнів і теплових трубок.

Таблиця 3.2

Матеріал теплопроводу	Граничні коефіцієнти теплопровідності Вт/мК
Нержавіюча сталь	10-80
Анодований алюміній	200-235
Електротехнічна мідь	390-400
Теплова трубка	5000-6000

Проведемо порівняльний аналіз отриманої температурної залежності для тепловідводу, виготовленого з різних матеріалів: сталі, алюмінію і міді. Виберемо металеві стержні однакової довжини і однакового поперечного перерізу. Як видно з отриманого співвідношення температура кристала зменшується при збільшенні довжини теплової трубки, і при $\beta \rightarrow \infty$ асимптотично наближається до граничного значення

$$T_j = T_a + P_t \left[\frac{\alpha_l}{\alpha_p} \frac{1}{\kappa \eta} + \Theta_{jh} \right]. \quad (3.25)$$

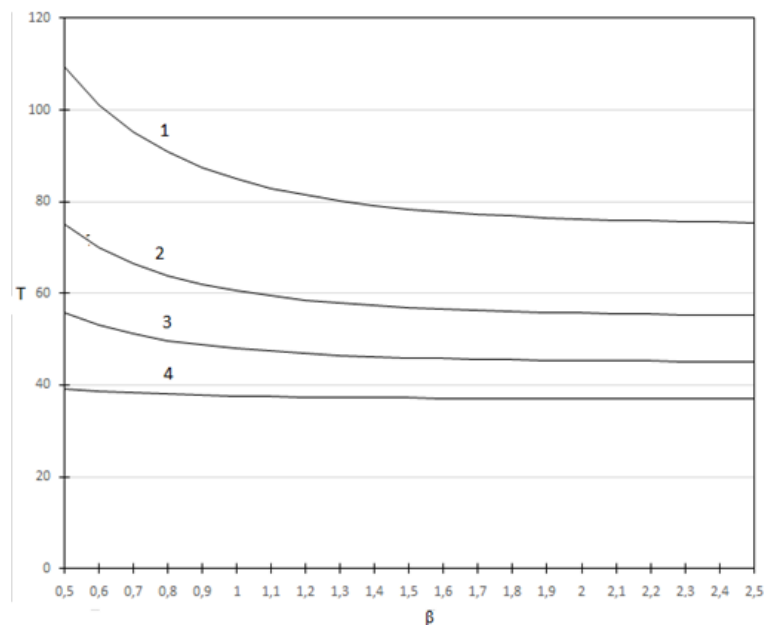


Рис. 3.8 Залежність температури кристала світлодіода потужністю 20 Вт від ефективної довжини тепловідводу виготовленого з різних матеріалів. Крива 1 - сталюого, 2 - алюмінієвого, 3 – мідного, 4 – теплової трубки.

На рис 3.6 зображений графік залежності температури кристала СД від ефективної довжини тепловідводу. З графіка видно, що із збільшенням ефективної довжини і периметра тепловідводу ефективність тепловіддачі збільшується, а температура кристала світлодіода зменшується. Це пояснюється збільшенням площі поверхні теплообміну із навколишнім середовищем. Проте, коли необхідно передати тепло між джерелом і приймачем на відстань, що не перевищує 50 мм для відведення надлишкової теплової енергії більше підходять тепловідводи з однорідного металу, найкраще мідні.

На температуру кристала сильно впливає ефективний коефіцієнт теплообміну.

$$\varepsilon = \frac{\alpha_l}{\kappa\gamma} = \alpha_l \sqrt{\frac{S}{\alpha_p \kappa p}} \quad (3.26)$$

Зменшення ефективного коефіцієнта також приводить до зменшення температури кристала T_j . Залежність температури кристала НПДС від ε зображена на рис. 3.6.

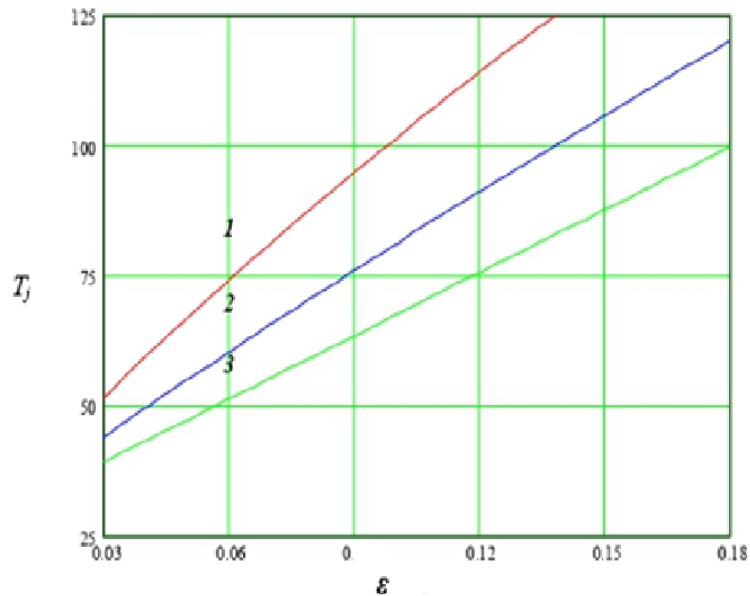


Рис. 3.9 Залежність температури кристала світлодіода потужністю $P_t=100\text{Вт}$ від ϵ при різних приведених довжинах теплової трубки. Криві 1, 2 і 3 відповідно при $\beta=0.5$, $\beta=0.9$, $\beta=3$.

Таким чином, система охолодження світлодіода з тепловими трубками ефективніша ніж система охолодження з металевими стержнями. Вища ефективність є наслідком рівномірного розподілу температури по поверхні трубки і, як наслідок, інтенсивнішим відведенням теплової енергії в навколишнє середовище.

3.3 Розрахунок системи охолодження НПДС з тепловою трубкою

Розрахуємо температуру кристала конкретного НПДС. Для визначеності візьмемо потужну білу світлодіодну матрицю XLamp CXA-3590. Вона здатна віддати через контактну площадку до 150 ват теплової енергії при температурі світловипромінюючих кристалів не більше 85°C . Але для цього контактну площадку матриці потрібно встановити на тепловід.

Всі потужні НПДС випускаються в корпусах, які легко можна встановити на зовнішній тепловідвід. Завдання тепловідводу полягає в тому, щоб стабілізувати температуру корпусу НПДС, а отже і температуру світловипромінювальних кристалів при температурі, яка не перевищує максимально допустиму. Для Cree XLamp CXA-3590, це 125°C . Його параметри приведені в табл. 3.2.

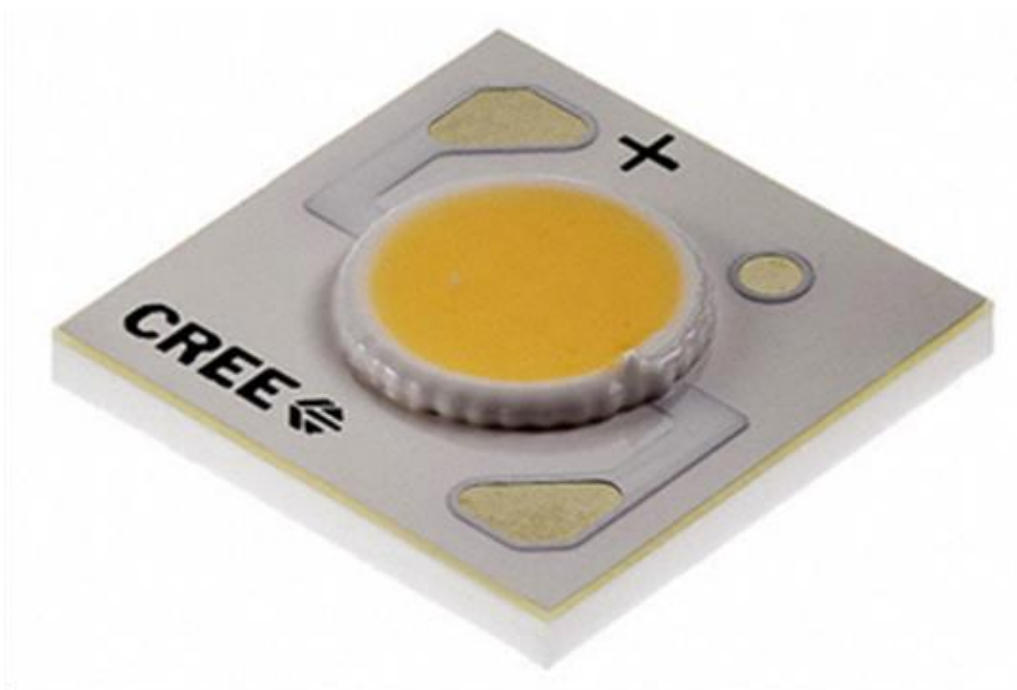


Рис. 3.10 НПДС Cree XLamp CXA-3590

Таблиця 3.3

Серія	Ном. Напр. (В)	Прямий струм (мА)	Макс. потужн. (Вт)	Світл. потік (Лм)	Тепл. опір (К/Вт)	Макс. темп. активної зони (С°)
XL1310CX A	18	700-1050	20	1400-2100	1.2	125
XL1310CX A	36	350-525	20	1400-2100	1.2	125
XL1520CX A	35	500-900	33	2000-4000	1.2	125
XL1850CX A	35	1400-2100	78	6000-9400	0.6	125
XL2590CX A	69	1200-1800	130	8000-15600	0.6	125

Знаючи всі основні параметри можна підібрати необхідний тип і кількість теплових трубок. Важливо знати максимальну температуру середовища в якому буде працювати освітлювальний прилад та потужність, яку він буде розсіювати. Потім, використовуючи метод електротеплової аналогії, розрахувати температуру світловипромінювальних кристалів. Для цього необхідно знати величину всіх теплового опору всіх теплових переходів: кристал-корпус, корпус-теплова трубка, теплова трубка - середовище. На завершальній стадії необхідно вибрати тип і кількість теплових трубок, при яких температура кристалів буде меншою критичної температури.

Найважливішим параметром при підборі і розрахунку кількості теплових трубок є тепловий опір НПДС. Він є відношенням перепаду температур при кристалу і його контактної площадки

$$\Theta = \frac{T_j - T_h}{P_t}, \quad (3.27)$$

де T_j - температура кристала,

T_h - температура контактної площадки,

P_t – тепловий потік.

Тепловий опір не залежить від температури кристала, і визначається лише якістю теплового контакту. Проведемо розрахунок теплового режиму світлодіодної лампи нової конструкції, яка містить НПДС Cree XLamp CXA-3590. Матриці Cree XLamp CXA-3590 є досить компактними і перспективними для масового використання в освітлювальній індустрії. Дані матриці створюють світловий потік від 8000 до 15600 люмен. Це дає можливість створювати освітлювальні лампи спрощеної конструкції, низької вартості з широким діапазоном світлового потоку.

Розглянемо напівпровідниковий освітлювач нової конструкції, в якому тепло в навколишнє середовище поширюється від колектора через систему теплових трубок до розсіюючого радіатора.

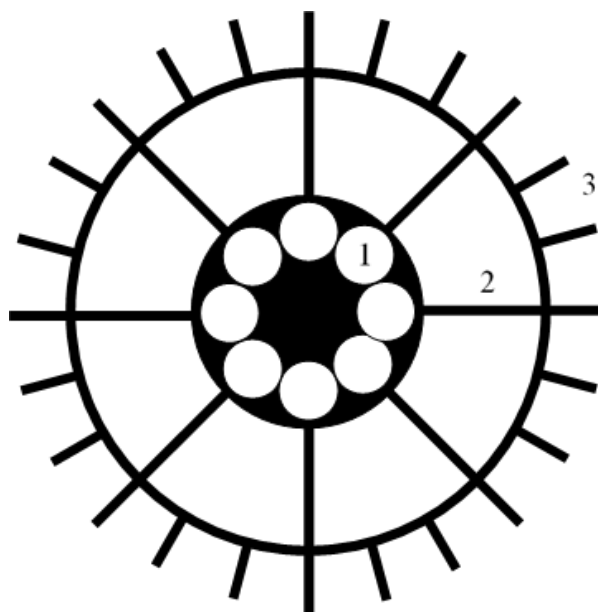


Рис. 3.11 Зовнішній вигляд лампи нової конструкції.

1- колектор тепла із матрицями, 2 – теплові трубки, 3 – радіатор.

Оскільки освітлювач має чотири осі симетрії то еквівалентну схему теплопереносу від НПДС Cree XLamp CXA-3590 по тепловій трубці до радіатора представимо у спрощеному вигляді.

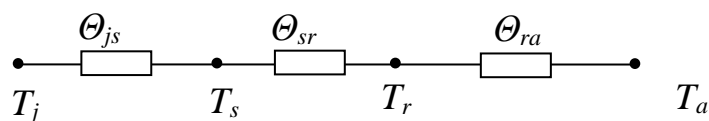


Рис. 3.12 Схема теплового кола системи охолодження CXA-3590

Як впливає з попереднього параграфу, загальний тепловий опір системи охолодження можна представити у вигляді

$$\Theta = \frac{T_j - T_a}{P_t} = \left[\frac{\alpha_l}{\alpha_p} \frac{1}{\kappa \rho} + \Theta_{js} + \Theta_{sr} \right]$$

Тепловий опір Θ_{js} матриці знаходиться в межах від 0.01 К/Вт до 0.1 К/Вт. Його конкретна величина залежить від величини струму, і визначається із графіка. В нашому випадку $\Theta_{js} = 0.05$ К/Вт.

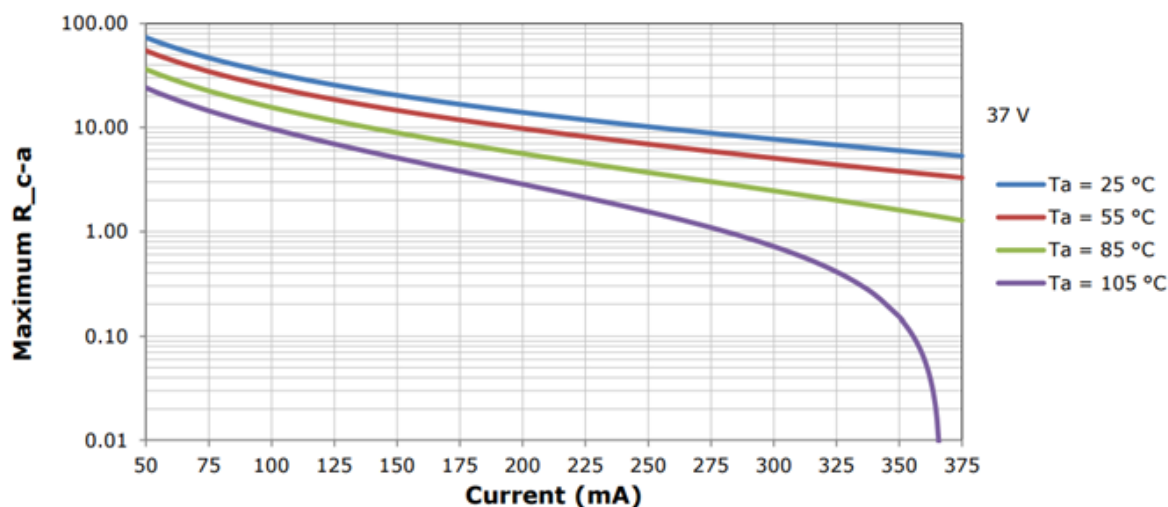


Рис. 3.12 Залежність внутрішнього теплового опору Θ_{jh} матриці Cree XLamp CXA-3590 від струму.

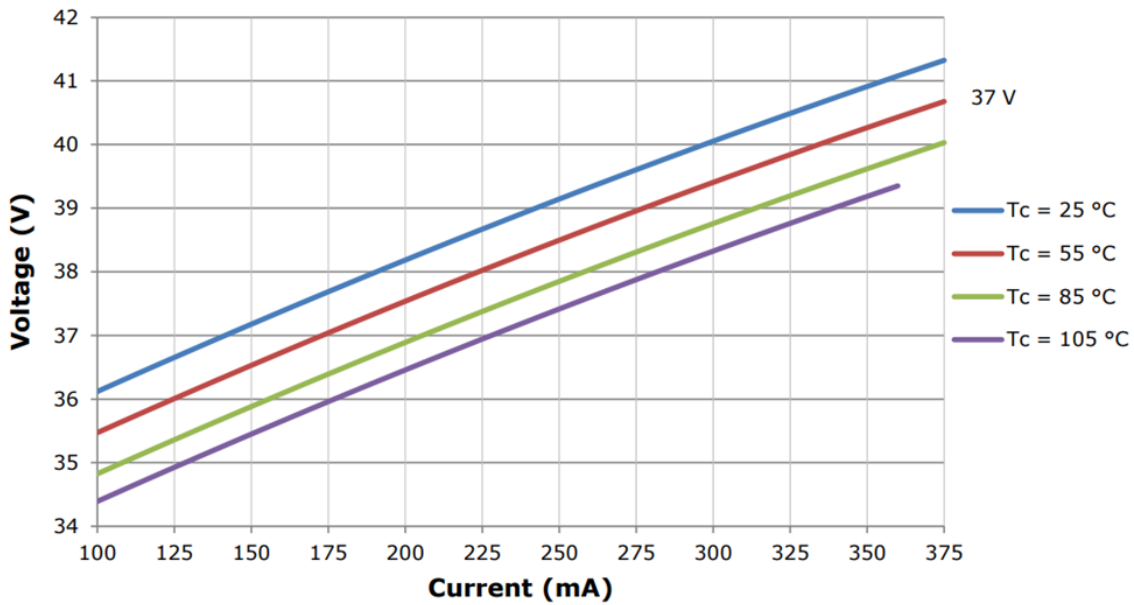


Рис. 3.13 Вольт-амперна характеристика світлодіода Cree XLamp CXA-3590.

Параметри НПДС Cree XLamp CXA-3590
Таблиця 3.4

1	Напруга (В)	36-42
2	Струм (мА)	1000-3600
3	Потужність (Вт)	40-150
4	Макс. температура переходу (К)	400
5	Колірна температура ,(К)	3600
6	Кут освітлення (град)	115
7	Макс. температура переходу (К)	400
8	Розмір контактної площадки	34,85*34,85 мм ²
9	Тепловий опір Θ_{js} (К/Вт.)	0.015

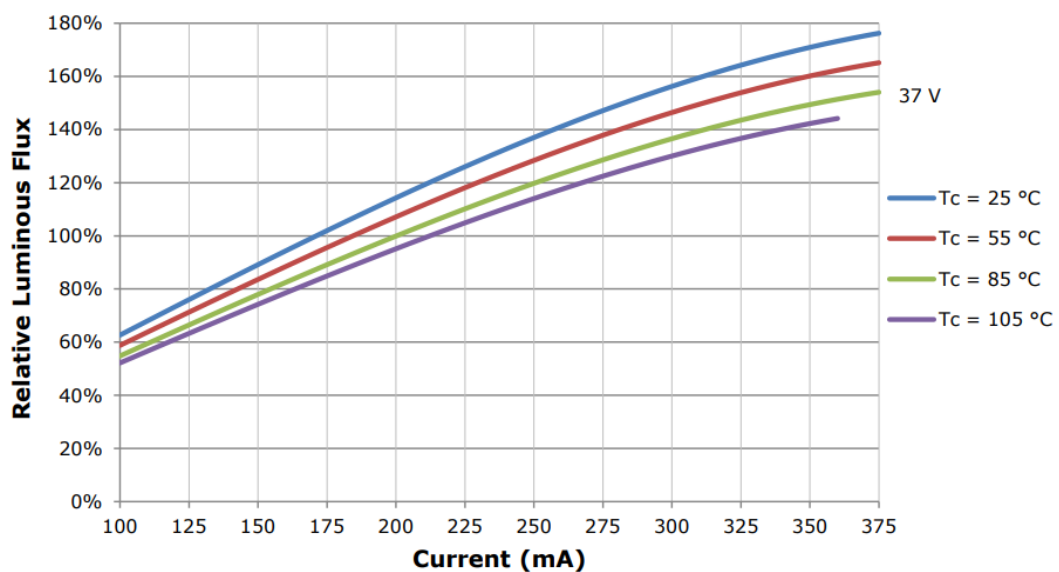





Рис. 3.14 Люмен-амперна характеристика світлодіода CXA-3590.

Параметри світлодіодів серії СХА з діаметром

випромінювача понад 14мм.

Таблиця 3.5

Параметр							
Тип світлодіода	СХА2520	СХА2530	СХА2540	СХА3050	СХА3070	СХА3590	
Розміри, мм	23.85*23.85			27.35*27.35		34.85*34.85	
Діаметр випромінювача, мм	19			23		30	
Світловий потік, лм	1000...5600	2000...7000	3500...9200	3500...11300	4000...12500	5500...17500	
Прямонапруга, В	35	36.4	36.2	36	38.5	38.5	77
Прямий струм, А (тип./макс)	0.55/1.25	0.8/1.6	1.1/2.1	1.4/2.5	1.93/2.8	2.4/3.6	1.2/2.8
Споживана потужність, Вт (тип./макс)	20/48	29/64	40/84	51/99	74/116	93/151	93/151

Виберемо струм $I_f = 3600 \text{ mA}$. Із вольт-амперної характеристики для такого струму знайдемо $U_f = 42 \text{ V}$.

Знайдемо електричну потужність:

$$P = U_f I_f = 42 \cdot 3.6 = 150 \text{ Вт.}$$

Знайдемо теплову потужність

$$P_t = (1 - \eta_e) P = 0.8 \cdot 150 = 120 \text{ Вт.}$$

Знайдемо опір теплопровідного шару. Для монтажу освітлювальної системи використаємо термічну пасту КПТ-8 з коефіцієнтом теплопровідності $\kappa = 0,7 \text{ Вт/(м К)}$. Товщину теплоконтактного шару покладемо рівними $\Delta l = 0.1 \text{ мм}$ а його його площу рівною величині контактної площадки матриці $\Delta S = 1215 \text{ мм}^2$ відповідно. Для теплового опору отримаємо

$$\Theta_{sr} = \frac{1}{\kappa} \frac{\Delta l}{\Delta S} = \frac{10^{-3}}{0.7 \cdot 251 \cdot 10^{-6}} = 0.1 \text{ } ^\circ\text{K/Вт.}$$

Знайдемо загальний тепловий опір системи охолодження. Температуру середовища покладемо рівною $T_a = 300 \text{ К}$.

$$\Theta_{ja} = \frac{T_j - T_a}{P_t} = \frac{400 - 300}{120} = 0.8 \text{ } ^\circ\text{K/Wm}.$$

Тепловий опір переходу радіатор–середовище визначимо із співвідношення

$$\Theta_{ra} = \Theta - \Theta_{js} - \Theta_{sr} = 0.8 - 0.05 - 0.1 = 0.65 \text{ } ^\circ\text{K/Wt}$$

Такий опір може забезпечити ребристий радіаторний профіль з алюмінієвого анодованого сплаву площею $S=150 \text{ cm}^2$ в розрахунку на одну матрицю. При такій потужності, світловий потік від освітлювача складе $17500 \cdot 8 = 140000$ люмен.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз можливих небезпечних і шкідливих виробничих чинників, електробезпеки і пожежної безпеки

Підстерігати безпека у вигляді різних негативних факторів нас може практично скрізь [44-49]. Навіть на самих нешкідливих робочих місцях можна говорити про шкідливий вплив комп'ютерів, тривалої сидячої роботи і про багато іншого. На багатьох виробництвах робота пов'язана з постійним впливом на працівників несприятливих умов. Шкідливі та небезпечні виробничі фактори (ВФ) нерозривно пов'язані між собою. ВФ - це фактори, які в результаті свого тривалого або короткочасного впливу на людину призводять до погіршення стану здоров'я або до травми. На виробництвах з такими умовами праці різні нещасні випадки відбуваються досить часто.

ВФ - це фактори, які, діючи на працівника, знижують його працездатність або призводять до різних захворювань, їх часто ще називають професійними хворобами. Варто зазначити, що межа між цими двома групами факторів досить умовна. При деяких умовах шкідливі виробничі фактори можуть стати небезпечними. Наприклад, підвищена вологість відноситься до несприятливих умов праці, вона може викликати різні захворювання дихальної системи. Якщо людині доводиться в таких умовах працювати з електричним струмом, то це стає вже занадто небезпечно, а не просто шкідливо.

Всі фактори на будь-якому підприємстві можуть мати різне походження. Часто можна зустрітися з несприятливими умовами праці, які виникають з вини керівництва. Це питання потребує особливої уваги з боку контролюючих органів. Слід зазначити, що немає чіткої межі між шкідливими та небезпечними факторами, вона завжди умовна і в будь-який момент може бути зруйнована. На виробництві завжди є технологічні процеси, обладнання, які є джерелом виділення ВФ. До цих проваджень можна віднести: очищення деталей за допомогою хімічних засобів; фарбування устаткування; зварювальні роботи; процеси нанесення захисних антикорозійних покриттів; обробку або переробку металів. При здійсненні всіх цих процесів виділення шкідливих речовин

неминуче, але, як правило, посилене їх утворення пов'язане з недотриманням технологій або невмілим їх використанням.

На багатьох виробництвах просто неможливо уникнути впливу деяких факторів. Серед них особливе місце займають: температура, висока вологість і випромінювання; електромагнітні поля; лазерне і ультразвукове випромінювання; вібрація; сильний шум; освітлення, яке може бути як занадто інтенсивним, так і недостатнім, що однаково шкідливо для зору; вплив пилу і аерозолів; працюючі частини обладнання. Кожен фактор окремо начебто і не становить особливої небезпеки для здоров'я людини при короткочасному впливі. Але часто працівник перебуває тривалий час у їх оточенні, та ще відразу декількох, тому їх вплив стає цілком відчутним.

На підприємствах, де в цехах стоять верстати та інше обладнання, без шуму, як правило, не обходиться. Постійно працює техніка видає гучні звуки, які можуть змінювати свою інтенсивність. Якщо людина змушений регулярно зазнавати такого впливу, то це негативно позначиться на його здоров'ї. Від сильного шуму починає боліти голова, підвищується тиск, знижується гострота слуху. Зрештою, від таких умов знижується працездатність, з'являється втома, знижується увага, а це вже може призвести до нещасного випадку. Керівники на подібних підприємствах повинні подбати про своїх працівників, щоб постаратися хоч трохи зменшити негативний вплив шуму на організм.

В результаті постійного впливу даного фактору починає страждати не тільки нервова система, а й опорно-рухова, і система аналізаторів. Робітники, які змушені працювати в таких умовах, часто скаржаться на головні болі, запаморочення, заколисування.

Якщо додати ще і вплив супутніх чинників, таких як вологість, висока температура, шум, то це тільки посилює шкідливий вплив вібрації. Якщо на шкідливих підприємствах досить ефективно налагоджено використання засобів захисту, то робітники будуть піддаватися впливу небезпечних речовин в набагато меншому ступені.

До психофізіологічних факторів можна віднести тягар умов праці і його напруженість. Під напруженістю роботи мається на увазі навантаження на

нервову систему та органи відчуття. Сюди можна віднести тривалу розумову роботу, монотонність виконуваних процесів, емоційні перевантаження. Все це шкідливі виробничі фактори, які, якщо розібратися, практично кожен з нас на своєму робочому місці відчуває в тій чи іншій мірі.

На будь-якому підприємстві необхідно з метою створення сприятливих умов для працівників намагатися забезпечувати комфортну обстановку. Це стосується, насамперед, чистоти повітря у виробничих приміщеннях. Санітарно-гігієнічні служби розділяють основні шкідливі виробничі фактори на хімічні речовини та промисловий пил.

Негативний вплив пилу проявляється в тому, що він здатний провокувати розвиток легеневих захворювань. На будь-якому підприємстві на працівників чиниться вплив шкідливих виробничих факторів відразу з кількох груп, тобто комплексний.

Незважаючи на всі заходи, спрямовані на нейтралізацію шкідливого впливу факторів, неможливо досягти ідеальних умов праці. Це не дозволяють зробити особливості технологічних процесів, продукція та сировина для її виготовлення. Тому для керівників захист від шкідливих виробничих факторів - це першочергове завдання.

Часто буває так, що всі вжиті заходи не можуть забезпечити повністю безпечні умови праці, в цих випадках без застосування ЗІЗ просто не обійтися. Можна зробити висновок про те, що засоби індивідуального захисту, з одного боку, зменшують вплив шкідливих факторів, а з іншого - можуть створювати іншу небезпеку для здоров'я працівника. Заходи безпеки спрямовані, насамперед, на те, щоб шкідливі виробничі фактори не надавали свого небезпечного впливу на людину. З цією метою на будь-якому підприємстві в обов'язковому порядку повинен проводитись інструктаж з безпеки. Дата проведення, зміст фіксуються у спеціальному журналі за підписом усіх інструктованих і того, хто провів цей інструктаж.

4.2 Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів

Дія електромагнітного імпульсу блискавки на металеві елементи будівельних конструкцій, електричні й електронні системи є вторинною дією блискавки. Вторинні дії блискавки пов'язані з дією на об'єкт електромагнітного поля близьких розрядів. Це поле має дві складових: електростатичну та електромагнітну індукції.

Електростатична індукція зумовлена переміщенням зарядів у каналі блискавки. Електростатичний індукційний вплив проявляється у виді імпульсних перенапруг, що виникають на металевих конструкціях об'єкта. Величина імпульсної перенапруги залежить від величини сили струму блискавки, відстані до місця удару, опору заземлення. За відсутності належного заземлення імпульсна перенапруга може сягати сотень кіловольт і створювати небезпеку ураження людей електричним струмом та виникнення іскор між окремими частинами об'єкта.

Електромагнітна індукція зумовлена зміною струму блискавки в часі. Електромагнітна індукція приводить до утворення у металевих контурах об'єкта ЕРС, пропорційної швидкості зміни струму блискавки і площі, охопленої контуром. Протяжні комунікації в сучасних виробничих будівлях можуть утворювати контури, що охоплюють велику площу, в яких є небезпека наведення ЕРС у кілька десятків кіловольт. У місцях зближення протяжних металевих конструкцій, у розривах незамкнених контурів створюється небезпека перекриттів та іскрінь із можливим розсіюванням енергії близько десятків частот джоуля.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004 пожежна небезпека вторинних дій блискавки полягає в іскрових розрядах, що виникають у результаті індукційного й електромагнітного впливу атмосферної електрики на виробниче устаткування, трубопроводи й будівельні конструкції. Енергія іскрового розряду перевищує 250 мДж є достатньою для запалення горючих речовин з мінімальною енергією запалювання до 0.25 Дж.

Також небезпечним є занесення високого потенціалу в будинок по металевих комунікаціях не тільки при прямому влученні блискавки, але і при розташуванні комунікацій у безпосередній близькості від громовідводу. При недотриманні безпечних відстаней між громовідводами й комунікаціями енергія можливих іскрових розрядів сягає значень 100 Дж і більше, тобто є достатньою для загоряння всіх горючих речовин.

Захист від електростатичної індукції здійснюється приєднанням устаткування до заземлювача для відведення електростатичних зарядів, індукованих блискавкою, в землю. Захист від електромагнітної індукції полягає у встановленні методом зварювання перемичок між протяжними металоконструкціями в місцях їхнього зближення менше, ніж на 10 см. Інтервал між перемичками повинен становити не більше 20 м. Це дає змогу наведеному струму блискавки переходити з одного контуру в інший без утворення електричних розрядів. Захист від занесення високих потенціалів у будівлю здійснюється шляхом приєднання до заземлювача металоконструкцій перед їх введенням у будівлю.

Для влаштування штучних заземлюючих пристроїв використовуються сталеві вертикально закладені у землю труби діаметром від 3 до 5 см і товщиною стінок не менше як 3,5 мм, довжиною 2,5...3 м; металеві стержні діаметром 10-12 мм, довжиною до 10 м; кутову сталь 40Ч40Ч4, довжиною 2.5-5 м. Застосовувати для штучних заземлюючих пристроїв алюмінієві оболонки силових кабелів і неізолювані алюмінієві провідники заборонено.

Таким чином, при дотриманні вимог викладених у ПУЕ-7, щодо улаштування захисту від ЕМІ блискавок, буде збережене світлотехнічне обладнання та його складові, а також життя працівників, які обслуговують цю апаратуру.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. При проходженні електричного струму в НПДС виділяється теплова потужність, яка нагріває світловипромінювальний кристал. Оскільки розміри кристалів малі, вони самостійно не можуть скинути, надлишкове тепло.

2. Для тривалого, ефективного використання НПДС їх потрібно примусово охолоджувати. Перспективним способом пасивного охолодження НПДС є теплові трубки в комплекті з пасивним виносним радіатором.

3. Для побудови ефективної охолоджувальної системи НПДС побудована математична теплова модель з тепловою трубкою і пасивним радіатором.

4. Математична модель показала збільшення ефективності охолодження при збільшенні довжини теплової трубки та площі її бокової поверхні.

5. Аналіз показав, що система охолодження з тепловими трубками має вищу ефективність в порівнянні з такою ж системою металевих трубок. Перевага обумовлена їх більшою на кілька порядків ефективною теплопровідністю порівняно з теплопровідністю металів.

6. Температура світловипромінювальних кристалів НПДС зменшується при зменшенні теплового опору між кристалом та навколишнім середовищем. Подальше зменшення теплового опору можливе при використанні активних радіаторів.

7. Для відведення тепла від потужних НПДС можна застосовувати радіальну систему теплових трубок, з'єднаних з пасивним радіатором великої площі. Використання такої схеми охолодження дасть можливість стабілізувати температуру НПДС на оптимальному рівні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

2. Справочная книга по светотехнике / Под ред.. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. Перераб. И доп. М.: Знак. – 972 с.
3. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики. / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 735 с.
4. Беляев Н.М. Методы теории теплопроводности. Ч.1. / Н.М. Беляев, А.А. Рядно. – М.: Высш. шк., 1982. –327 с.
5. Светодиоды / Авт.: Шуберт Ф.Е. Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2008. –496 с. ISBN: 978-5-9221-0851-5.
6. В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев Электроника. М: Высш. школа, 1991 г. - 622 с.
7. [Полищук А.А. Обеспечение теплового режима светодиодных ламп при разработке светотехнических устройств. /А.А Полищук // Современная электроника. – 2006. – № 3. – С. 42-45.](#)
8. [Алферов Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур. /Ж.И Алферов // Физика и техника полупроводников. – 1998. – т. 32, – № 1. – С.3-18.](#)
9. [Давыденко Ю. Высокоэффективные современные светодиоды. / Ю. Давыденко // Современная электроника. – 2004. – № 10. – С. 36-43.](#)
10. [Никифоров С. Температура в жизни и работе светодиодов. / С. Никифоров // Компоненты и технологии. – 2005. – № 9. – С. 140-146.](#)
11. [Лотар Ноэль. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов. / Лотар Ноэль // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 3. – С. 13-15.](#)
12. [Миранович В. Мощные светодиоды: особенности применения, проблемы и методы решения на примере светодиодов компании](#)
13. [PROLIGHT OPTO TECHNOLOGY. / В. Миранович, И. Филоненко // Электронные компоненты. – 2007. – № 6. – С. 45-49.](#)
14. [Староверов К. Системы охлаждения для светодиодов. / К. Староверов // Новости электроники. – 2008. – № 17. – С. 21-23.](#)

15. Константинов В. И. Выбор оптимального режима работы светодиодных излучателей / В. И. Константинов, Е. В. Вставская, Т. А. Барбасова, В. О. Волков // Вестник ЮУрГУ. 2010, № 2. С.46–51.
16. Schubert E. F. Light-emitting diodes. – Cambridge, 2006.
17. Вейнерт Дж. Справочник: светодиодное освещение. – М., 2010.
18. Ноэль Л. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010, № 3. С. 13–15.
19. Колпаков А. Охлаждение силовых модулей: проблемы и решения // Силовая электроника. 2012, № 3. С. 12–18.
20. Huaiyu Y. A review of passive thermal management of LED module / Y. Huaiyu, S. Koh, H. Zeijl, A.W.J. Gielen, Z. Guoqi // J. of Semiconductors. 2011. Vol. 32, N 1. P. 0140081–0140084.
21. Поль А. Особенности расчета систем отвода тепла при использовании светодиодов в корпусах PLCC // Полупроводниковая светотехника. 2010, № 5. С. 54–57.
22. Колпаков А. Охлаждение в системах высокой мощности // Силовая электроника. 2010, № 3. С. 62–66.
23. Lee H. Thermal design: heat sinks, thermoelectrics, heat pipes, compact heat exchangers, and solar cells. – New Jersey: Wiley, 2010.
24. Reay D., Kew P., McGlen R. Heat pipes: theory, design and applications. – Oxford: Elsevier, 2014.
25. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика. – М., 1981.
26. Faghri A. Heat pipes: review, opportunities and challenges // Frontiers in Heat Pipes. 2014. Vol. 5, Is. 1. P. 1
27. Закордонець В.С., Фера В.І. Розрахунок системи охолодження світлодіода на базі теплової труби. // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 16-17 листопада 2017., м.Тернопіль. – С.138.
28. Арутюнян А. А. - Основы энергосбережения. Москва, Энергосервис. – 2007.-387с.

29. Рохлин Г.Н. Газоразрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991.- 586с.
30. <http://duray.ru/database/stati/svetodiod-ustroystvo-printsip-raboty-preimushchestva/>
31. http://www.kit-e.ru/articles/powerel/2009_12_120.php
32. http://elektrovary.te.ua/index.php?route=information/news&news_id=6
33. <https://dilux.com.ua/p461859293-svetodiodnaya-matritsa-prozhektora.html>
34. http://www.kit-e.ru/articles/powersource/2010_12_131.php
35. http://www.led-e.ru/articles/led-cooling/2010_3_13.php
36. <https://moluch.ru/archive/131/36367/>
37. <http://www.electrosad.ru/Ohlajd/TC.htm>
38. <https://npostk.ru/teplovaya-trubka-heat-pipe.html>
39. <https://cyberleninka.ru/article/v/analiz-effektivnosti-primeneniya-termoelektricheskikh-moduley-v-sistemah-ohlazhdeniya-radioelementov>
40. <https://foton.ua/upload/datasheet/cree/CXA1507.pdf>
41. [https://www.compel.ru/lib/ns/2013/2/5-spasitelnaya-prohlada ili teplootvod dlya moshhnyih svetodiodnyih matrits_](https://www.compel.ru/lib/ns/2013/2/5-spasitelnaya-prohlada_ili_teplootvod_dlya_moshhnyih_svetodiodnyih_matrits_)
42. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00–1.21–98.
43. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці : підручник / М. П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський; за ред.. М.П. Гандзюка; МОН України. – 4-е вид. – К. : Каравела, 2008. - 384 с.