

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)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітній (освітньо-кваліфікаційний) рівень)

на тему: **Стабілізація температурного режиму світлодіодів
при допомозі теплових труб**

Виконав: VI курсу груп ЕЕмз-61
студент _____, и _____

напряму підготовки 141
(спеціальності) _____

Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ **Фера В.І.** _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ **Закордонець В.С.** _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ **Вакуленко О.О.** _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ **Савків В.Б.** _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра Електричної інженерії

Освітній рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.т.н., проф. М.Г. Тарасенко

« 10 » вересня 2018 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Фері Василю Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Стабілізація температурного режиму світлодіодів при допомозі теплових труб

Керівник проекту (роботи) Закордонець Володимир Савич, к. ф.-м. н., доцент

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

Затверджені наказом по університету від « 23 » серпня 2019 року № 4/7-731

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 20 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

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

1. Аналітична частина

2. Науково-дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Проектно-конструкторська частина

5. Спеціальна частина

6. Обґрунтування економічної ефективності

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

8. Екологія

Загальні висновки до дипломної роботи

Перелік посилань

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

1. _____ 1л. ф – А1

2. _____ 1л. ф – А1

3. _____ 1л. ф – А1

4. _____ 1л. ф – А1

5.	1 л. ф – А1
6.	1 л. ф – А1

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Обґрунтування економічної ефективності	Мельник Л. М. к.е.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Стручок В. С. ст. викл.		
Екологія	Зварич Н. М. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання **10 вересня 2019 року**

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	15.09.2019	
2	Аналітична частина	25.09. 2019	
3	Науково-дослідна частина	10.10.2019	
4	Технологічна частина	01.11.2019	
5	Проектно-конструкторська частина	20.11.2019	
6	Спеціальна частина	01.12.2019	
7	Обґрунтування економічної ефективності	10.12.2019	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.12.2019	
9	Екологія	10.12.2019	
10	Висновки	15.12.2019	
11	Оформлення пояснювальної записки	20.12.2019	
12	Оформлення графічної частини	20.12.2019	

Студент _____
(підпис)*Фера В.І.*

(прізвище та ініціали)Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)*Закордонець В.С.*

(прізвище та ініціали)**АНОТАЦІЯ**

Фера В.І. Стабілізація температурного режиму світлодіодів при допомозі теплових труб. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕмз 61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2019.

Стор. – 103; рис. – 47; табл. – 19; посилань на першоджерела - 35.

В дипломній роботі побудовано теплову математичну модель систем охолодження світлодіода на базі локального радіатора та на базі теплової труби. Розв'язано систему диференціальних рівнянь, яка включає стаціонарне рівняння теплопровідності та рівняння термогенерації Джоуля доповнених тепловими граничними умовами. Розраховано розподіл температури в структурних елементах системи охолодження в залежності від потужності світлодіода, параметрів охолоджувальної системи і температури середовища. Сформульовано рекомендації по збільшенню світлового потоку світлодіодних ламп при одночасній стабілізації їх температурного режиму.

Ключові слова: світлодіоди, енергетична ефективність, квантова ефективність, система охолодження, світловий потік, тепловий режим, тепловий опір.

ANNOTATION

Fera I. Stabilization of temperature mode of LEDs with the help of heat pipes.

141 «Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics». Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Department of Electrical Engineering, group EEm-61. – Ternopil.: TNTU, 2019. Pages – 101; Illustrations – 47; Tables – 19; Sources – 35.

In diploma paper the mathematical thermal model of the cooling system of the LED based on the thermal tube was constructed. The system of differential equations was solved, which includes stationary equation of thermal conductivity and the equation of Joule's thermal generation, both supplemented by thermal boundary conditions. The distribution of temperature in structur elements of the cooling system was calculated in dependance on the power of LED, the parameters of thermal pipe and surrounding temperature.

Keywords: LEDs, energy efficiency, quantum efficiency, cooling system, light flux, thermal mode, thermal resistance.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Принцип роботи світлодіодів	11
1.2 Класифікація світлодіодів	13
1.2.1 Індикаторні світлодіоди	13
1.2.2 Освітлювальні світлодіоди	14
1.3 Вплив температури р-п-переходу на параметри світлодіодів	17
1.4 Стабілізація температурного режиму світлодіодів	19
1.4.1 Пасивне охолодження	20
1.4.2 Охолодження через друковану плату	24
1.4.3 Активне повітряне охолодження	27
1.4.4 Струминне охолодження	28
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	31
2.1 Побудова математичної моделі світлодіода	31
2.2 Розрахунок теплового режиму світлодіода з локальним радіатором	36
2.3 Розрахунок системи охолодження світлодіода на базі теплової труби	43
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	52
3.1 Будова і принцип дії теплової труби	52
3.2 Класифікація теплових труб	55
4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	60
4.1 Конструювання пасивних систем охолодження світлодіодів	60
4.1.1 Охолодження через корпус	61
4.1.2 Охолодження пасивним радіатором	61
4.2 Конструювання систем охолодження на базі активного радіатора	63
4.3 Конструювання систем охолодження на базі теплових труб	67
4.3.1 Конструювання систем охолодження на базі теплових	67

труб та пасивного радіатора	
4.3.2 Конструювання систем охолодження на базі теплових труб та активного радіатора	69
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	72
5.1 Світлодіоди для систем освітлення	72
5.2 Порівняльна характеристика світлодіодних матриць	73
6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	81
6.1 Соціально-економічна ефективність нової техніки	81
6.2 Економічний ефект і строк окупності додаткових капіталовкладень в напівпровідникові системи освітлення	82
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..	84
7.1 Охорона праці	86
7.1.1 Інфрачервоне випромінювання та особливості його дії на організм людини	86
7.1.2 Дія електромагнітного випромінювання на організм людини	88
7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	91
7.2.1 Методи захисту світлотехнічної апаратури від дії електромагнітного імпульсу блискавок	91
8 ЕКОЛОГІЯ.	92
8.1 Джерела електромагнітних полів та методи зменшення їх впливу	92
8.2 Екологічний вплив електромагнітного опромінення на живі організми	97
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	99
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	100

ВСТУП

Актуальність роботи В даний час, в якості енергозберігаючих технологій все частіше застосовуються світлодіодні джерела світла. Такі джерела є перспективними при їх використанні як в промислових так і в громадських об'єктах. Це зв'язано з рядом їхніх переваг перед традиційними освітлювальними приладами. Забезпечуючи високу освітленість, вони споживають мало енергії, дозволяють отримати будь-який колір випромінювання, мають великий термін експлуатації. Завдяки відсутності скляної колби світлодіоди мають невеликі розміри, високу механічну міцність та за рахунок низької напруги живлення безпечні в експлуатації. Однак, незважаючи на високий ККД, близько 75% підведеної електричної енергії перетворюється в тепло. З появою потужних освітлювальних приладів на основі світлодіодів (100 Вт і більше) ефективний відвід тепла є важливим фактором їх нормальної роботи. Адже при перегріві знижується світловий потік світлодіодів, погіршуються їх світлові характеристики, зменшується термін роботи. Основним і визначальним параметром при теплових розрахунках режимів роботи світлодіодів є температура р-п-переходу. Вона не повинна перевищувати максимально допустиму, вище якої в напівпровідниковому кристалі починаються процеси деградації. Зменшується світловий потік, зменшується яскравість свічення, знижується світлова проникність оптичної системи. В зв'язку із сказаним, особливої актуальності набуває проблема забезпечення адекватного температурного режиму світлодіодів і світлодіодних ламп.

Мета роботи полягає у виявленні параметрів, які найбільше впливають на процес охолодження світлодіодів та підтримання їх температури на необхідному рівні.

Об'єктом дослідження є світлодіоди та світлодіодні охолоджувальні системи.

Предметом дослідження є світлодіоди.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Побудовано теплову математичну модель світлодіода, яка описує вплив основних параметрів: потужності, квантової ефективності, теплового опору, температури зовнішнього середовища на його тепловий режим.
- Розраховано тепловий режим світлодіода в складі системи охолодження на базі локального радіатора.
- Розраховано тепловий режим світлодіода в складі системи охолодження на базі теплової труби.
- Сформульовано рекомендації по збільшенню світлового потоку та світлової віддачі світлодіодів при одночасній стабілізації їх теплового режиму.

Практична цінність результатів дослідження.

- Запропоновано конструкцію системи охолодження світлодіодної лампи з локальним радіатором.
- Запропоновано конструкцію системи охолодження світлодіодної лампи на основі теплової труби.
- Запропоновано конструкцію світлодіодної лампи оснащеної радіальною системою теплових труб з'єднаних з виносним радіатором.
- Представлені результати дослідження направлено на збільшення світлового потоку існуючих світлодіодів ламп при одночасній стабілізації їх теплового режиму.

Апробація. Окремі результати роботи доповідались на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів. «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 27 – 28 листопада 2019 р.

Структура роботи. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку та посилань. Обсяг розрахунково-пояснювальної записки – 103 арк. формату А4.

В сучасних освітлювальних приладах все частіше застосовуються напівпровідникові джерела світла – світлодіоди (СД). Такі освітлювачі є перспективними перед усім, при їх використанні в промислових об'єктах та

побути. Це пов'язано з перевагами світлодіодів перед традиційними джерелами світла. СД забезпечують високу освітленість об'єктів, споживають мало енергії, дозволяють отримати будь-який колір випромінювання, мають великий термін експлуатації. Зокрема, термін експлуатації світлодіодної продукції складає 100000 годин, або 11.4 роки безперервної роботи. Завдяки відсутності скляної оболонки світлодіоди надзвичайно надійні і механічно міцні. Серед інших важливих якостей світлодіодів треба виділити їх невеликі розміри і безпеку експлуатації, пов'язану з роботою при низьких напругах і з малим процентним складом тепла в світловому потоці, тобто в інфрачервоному діапазоні спектру [1].

Сучасні світлодіодні лампи є енергозберігаючими. В них, ККД перетворення електричної енергії в світлову близький до 25% [2]. Наприклад, за величиною світлового потоку, світлодіодна лампа потужністю 10 Вт може замінити лампу розжарювання потужністю 100 Вт, споживаючи при цьому електроенергії в 10 разів менше. Якщо така лампа буде використовуватися хоча б п'ять годин на добу, то за рік світлодіодна лампа дозволить зекономити майже 800 кВт год.

В даний час більшість індустриально розвинутих країн світу здійснюють заходи енергозбереження за рахунок сфери освітлення. Створюються, впроваджуються в практику і дають реальні результати спеціальні програми по розробці енергоощадних джерел світла. Процес масового впровадження енергозберігаючих світлотехнічних виробів отримав додатковий стимул для розвитку, і в зв'язку з загальною світовою енергетичною кризою, наростаючим дефіцитом викопних вуглеводнів, з проблемою охорони довкілля та ін..

В даний час в Україні до 25-30% валових енерговитрат припадає на різні види освітлення. Тому, масове впровадження напівпровідникових джерел світла може скоротити цей обсяг в 6÷8 разів. Це разом з непрямыми ефектами може посприяти збільшенню ВВП держави на 1.5÷2%. У зв'язку із сказаним, тема впровадження ефективних енергозберігаючих технологій в сучасній світлотехніці є центральною [3].

Незважаючи на високий ККД світлодіодних джерел світла, майже 75% підведеної електричної енергії перетворюється в тепло. Це приводить до надмірного нагріву корпусу світлодіода і його активної зони. Порушення теплового режиму р-п-переходу приводить до: зменшення світлового потоку, зменшення терміну експлуатації, зменшення яскравості свічення, деградації світлових характеристик, зниження світлової проникності оптичної системи. В зв'язку із цим особливої актуальності набуває забезпечення адекватного теплового режиму світлодіода. Для кардинального розв'язку цієї проблеми необхідно удосконалювати якість напівпровідникового матеріалу. В той же час, вдало сконструйований тепловідвід вже на сучасному етапі розвитку напівпровідникових технологій дозволить суттєво покращити експлуатаційні характеристики існуючих світлодіодів. Все це змушує шукати ефективні пристрої охолодження.

В сучасних освітлювачах застосовуються пасивні і активні пристрої охолодження, в основу роботи яких покладений принцип відводу тепла конвекцією і теплопровідністю. Пасивні системи охолодження – радіатори мають певні переваги - простоту конструкції, надійність, дешевизну, відсутність додаткових енергозатрат. Однак, для застосування в потужних освітлювальних приладах на основі світлодіодів вони не придатні, оскільки необхідна надто велика площа тепловідводу.

Активні системи охолодження, які базуються на примусовому русі теплоносія в контурі або вентиляції повітря, можуть забезпечити необхідний тепловий режим. Однак вони створюють додатковий шум, мають малу надійність і потребують додаткового обладнання. Їх використання значно збільшує первісну вартість освітлювального пристрою і експлуатаційні витрати. Сказане вище змушує до активного пошуку альтернативних систем охолодження, які не мають зазначених недоліків.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Принцип роботи світлодіодів

Світлодіод - напівпровідниковий пристрій, який випромінює некогерентне світло. Світло випромінюється при проходженні електричного струму через р-п-перехід. Випромінене світло традиційних світлодіодів лежить у вузькій ділянці спектру, а його колір залежить від хімічного складу використаного у ньому напівпровідника. Сучасні світлодіоди можуть випромінювати світло від інфрачервоної до ультрафіолетової ділянки спектру. Існують методи розширення смуги випромінювання і створення білих світлодіодів [1,2].

Принцип роботи світлодіода наступний. При протіканні струму через область р-п- переходу відбувається інжекція електронів. Процес самовільної рекомбінації інжектованих електронів, що відбувається, як в активній зоні, так і в самому гетеропереході, супроводжується їхнім переходом з вищого енергетичного рівня на нижчий. Електрон після рекомбінації знаходиться у дуже нестабільному стані, оскільки має зайву енергію (E_{ex}). В такому стані електрон довго перебувати не може. Він перейде на стаціонарну орбіту з нижчим енергетичним рівнем E_{cm} і випромінить квант світла. Тому $E_{кв.св.} = E_{надл.}$, $E_{надл.} = E_{ex} - E_{cm}$. Щоб кванти - фотони, які вивільнились при рекомбінації відповідали квантам видимого світла, збільшують кількість р-п переходів.

Не всі напівпровідникові матеріали ефективно випромінюють світло при рекомбінації. Гарними випромінювачами як правило, є, прямозонні напівпровідники типу $A^{III}B^V$ (наприклад, GaAs або InP) і $A^{II}B^{VI}$ (наприклад, ZnSe або CdTe). Варіюючи склад напівпровідників, можна створювати світлодіоди різних довжин хвиль, - від ультрафіолету (GaN) до середнього інфрачервоного діапазону (PbS).

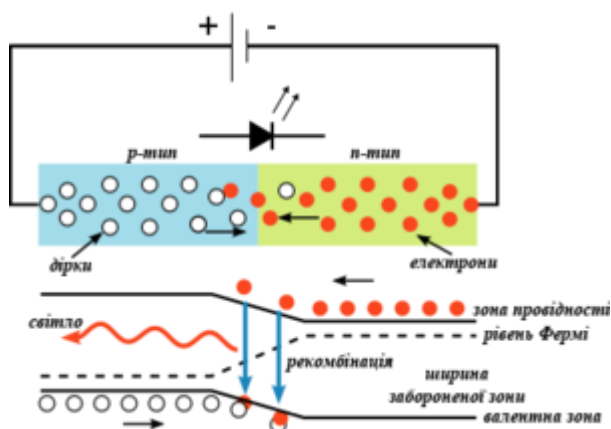


Рис. 1.1. Схематична діаграма принципу роботи світлодіода

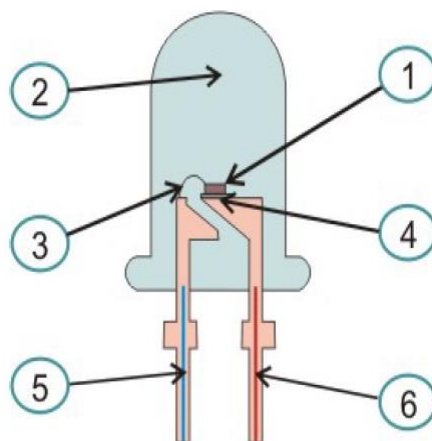


Рис. 1.2. Схематична будова світлодіода. 1- напівпровідниковий кристал, 2- лінза і корпус, 3- з'єднувальні провідники для підключення контактів до кристалу, 4 - тепловідвід який кріпиться на підкладку, 5, 6 - контакти.

Основна проблема при створенні потужних СД – ефективність перетворення електричної енергії в світлову. Вона визначається зовнішньою квантовою ефективністю [4]

$$\eta_e = \gamma \eta_i \eta_o, \quad (1.1)$$

де γ – коефіцієнт інжекції електрон-діркових пар в активну зону світлодіода, $\eta_i = R_r/R$ – внутрішня квантова ефективність гетеропереходу (теоретично вона може бути близькою до 1), R_r і R – інтенсивності рекомбінації електрон-діркових пар з випромінюванням кванта світла і без випромінювання

відповідно, η_o – коефіцієнт виходу світла в зовнішнє середовище.

Ефективність світлодіодів найбільше проявляється там, де потрібно виробляти потужні кольорові світлові потоки (світлові сигнали) [5]. Світло від лампи розжарювання доводиться пропускати через спеціальні оптичні фільтри, що виділяють певну частину спектру (червону, синю, зелену). В результаті майже 90% енергії світлового потоку лампи втрачається. Більше того, близько 80-90% споживаної потужності лампи розжарення, витрачається на її нагрів. У світлодіоді 100% випромінювання є забарвленим світлом і в застосуванні світлофільтра, немає потреби.

1.2 Класифікація світлодіодів

Світлодіоди, є енергоощадними джерелами світла та споживають від 30% до 60% потужності, необхідної для роботи традиційних джерел світла. Світлодіоди поділяються на індикаторні та освітлювальні.

1.2.1 Індикаторні світлодіоди

Це дешеві малопотужні прилади, придатні для експлуатації тільки в якості світлових індикаторів в панелях і електронних приладах, для підсвітки дисплеїв, або інформаційних табло, в світлофорах, ліхтариках, гірляндах тощо [5].



Рис. 1.3. Індикаторний світлодіод червоного свічення АЛ307БМ

1.2.2 Освітлювальні світлодіоди

Це – надійні і потужні пристрої, які генерують великий світловий потік. Вони використовуються для забезпечення потрібного рівня освітленості приміщень та об'єктів. Освітлювальні світлодіоди в свою чергу поділяються на світлодіоди поверхневого монтажу, високої яскравості і високої потужності [5]. Всі освітлювальні світлодіоди мають подібну конструкцію: напівпровідниковий чіп, підложку на яку він встановлюється, контакти для підключення. Крім того, освітлювальні світлодіоди мають корпус для прямого припаювання до теплопровідної поверхні, що в свою чергу забезпечує відведення тепла, яке генерує світлодіод. Освітлювальні світлодіоди застосовуються для освітлення приміщень і вулиць в складі ліхтарів, автомобільних фар, світлодіодних ламп і т.п.. В зв'язку з цим вони мають велику потужність, велику інтенсивність випромінювання і випускаються тільки з білим кольором випромінювання в корпусах, придатних для поверхневого монтажу. Як правило виготовляється дві модифікації, які відрізняються колірною температурою: холодний білий і теплий білий. Оскільки кристалів, які би випромінювали біле світло в природі не існує, то при виготовленні освітлювальних світлодіодів розробники застосовують різні технології змішування базових кольорів.

Випромінюване світло традиційних світлодіодів лежить у вузькій ділянці спектру, а його колір залежить від хімічного складу використаного у світлодіоді напівпровідника [1]. Основою світлодіодів білого кольору свічення є структури на основі GaN, які випромінюють на частоті 470нм (синій колір) і нанесений зверху на неї люмінофор. Він випромінює в широкому діапазоні довжин хвиль і має максимум в жовтій частині видимого спектру. Частково, випромінювання світлодіода потрапляє на люмінофор, формуючи вторинне випромінювання в жовто-помаранчевій області. Накладення двох випромінювань формує біле світло, колірна температура якого залежить від балансу між первинним і вторинним випромінюваннями. Однак люмінофор погіршує теплові характеристики світлодіода, тому його термін експлуатації скорочується.

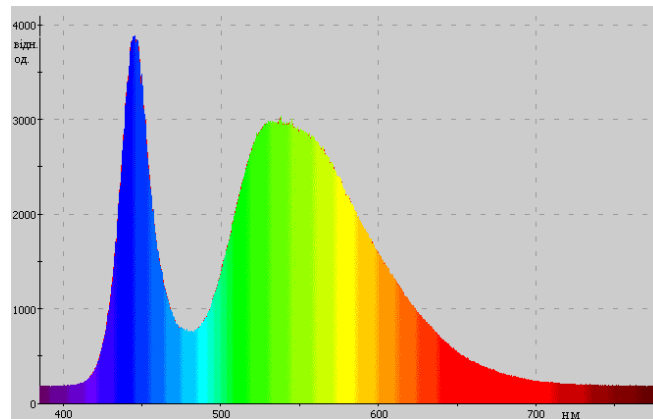


Рис. 1.4. Спектр випромінювання світлодіода білого свічення

Широкого поширення набули світлодіоди типу COB (Chip On Board, чіп на платі). Вони являють собою інтеграцію великої кількості кристалів SMD кристалів в одному корпусі, які в подальшому покриваються люмінофором [6].



Рис. 1.5. Світлодіодна матриця CDM 5050 (зліва), і COB- матриця із 36 чіпів (справа).

Filament світлодіоди є ще одним типом освітлювальних світлодіодів. Вони використовуються для декоративної підсвітки приміщень. Спектр світла, на відміну від CDM і COB, значно приємніший для людського ока і нагадує звичне світло ламп розжарювання. При цьому зберігаються всі переваги напівпровідникових джерел світла: низьке енергоспоживання і тривалий термін служби [1,6].



Рис. 1.6 Filament світлодіоди

У порівнянні з іншими електричними джерелами світла світлодіоди мають наступні переваги:

- Висока світлова віддача. Сучасні світлодіоди зрівнялися за цим параметром з натрієвими газорозрядними і металогалогенними лампами, досягнувши 146 лм/Вт.
- Висока механічна міцність, вібростійкість (відсутність нитки розжарювання та інших чутливих складових).
- Тривалий термін служби - від 30000 до 100000 годин (при роботі 8 годин на день - 34 роки). Але і він не нескінченний. При тривалій роботі і / або поганому охолодженні відбувається «деградація» кристала і поступове зменшення яскравості.
- Кількість циклів включення-виключення не чинять істотного впливу на термін служби світлодіодів (на відміну від традиційних джерел світла - ламп розжарювання, газорозрядних ламп).
- Спектр сучасних білих світлодіодів буває різним - від теплого білого з колірною температурою 2700 К до холодного білого – 6500. Спектральна чистота, досягається не фільтрами, а принципом дії приладу.
- Відсутність інерційності - вмикається відразу на повну яскравість, в той час як у ртутно-фосфорних ламп час включення від 1 с до 1 хв., а

яскравість збільшується від 30% до 100% за 3-10 хвилин, в залежності від температури навколишнього середовища.

- Різний кут випромінювання - від 15 до 180 градусів.
- Низька вартість індикаторних світлодіодів.
- Безпека в користуванні - не потрібні високі напруги.
- Низька температура поверхні світлодіода, зазвичай не вище 60°C.
- Нечутливість до низьких і дуже низьких температур. Однак, високі температури протипоказані світлодіоду, як і будь-якому іншому напівпровідниковому приладу.
- Екологічність - відсутність ртуті, фосфору і ультрафіолетового випромінювання (на відміну від люмінесцентних ламп).

1.3 Вплив температури р-п-переходу на параметри світлодіодів.

При проходженні струму через світлодіод його активна зона нагрівається внаслідок нагріву струмом провідності пасивних областей гетероструктури а також внаслідок безвипромінювальної рекомбінації електрон-діркових пар на дефектах гетероструктури [3]. Для збільшення світлового потоку світлодіоду потрібно збільшувати кількість електрон-діркових пар, які рекомбінують в одиницю часу в його активній зоні. Це легко зробити збільшуючи величину струму через гетероперехід. Однак, збільшення величини струму приводить до збільшення інтенсивності рекомбінації електрон-діркових пар на дефектах кристалічної ґратки, до зменшення квантової ефективності світлодіода і до збільшення теплових втрат. Сучасні світлодіоди мають *ККД* перетворення електричної енергії в світлову близький до 25%. Таким чином, майже 75% підведеної енергії перетворюється в тепло. Якщо теплову енергію не відводити, то це спричинить надмірний нагрів гетеропереходу світлодіоду. Збільшення температури гетеропереходу зменшує яскравість свічення і світловий потік.

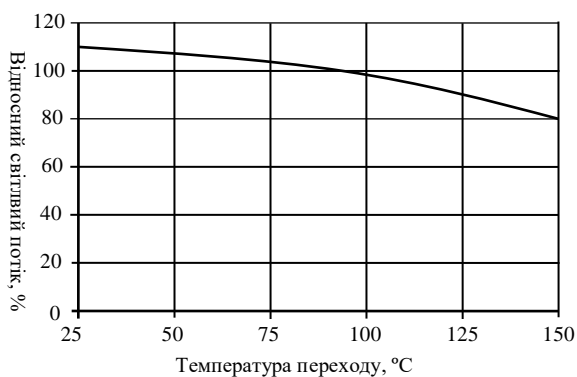


Рис. 1.7. Залежність відносного світлового потоку від температури для світлодіода серії MKR

На рисунку (1.7) зображена залежність величини відносного світлового потоку від температури для світлодіодів компанії CREE. Як видно із графіка, із збільшенням температури переходу світлодіода величина світлового потоку зменшується.

Порушення теплового режиму (як правило це робота з температурою гетеропереходу більшою ніж 120...125°C) спричиняє деградацію світлових характеристик світлодіодної лампи [6]. Зміна характеристик люмінофору приводить до зміщення робочої довжини хвилі що негативно впливає на якість кольоропередачі СД. У приладів ряду виробників додатково знижується показник світлової проникності оптичної системи. В результаті цього зменшується довговічність світлодіодної лампи - один з основних показників, що вигідно відрізняє її від традиційних джерел світла. Світлова віддача поступово знижується. За визначенням, після того як вона досягне 50% від початкового значення, очікуваний термін служби світлодіода збігає.

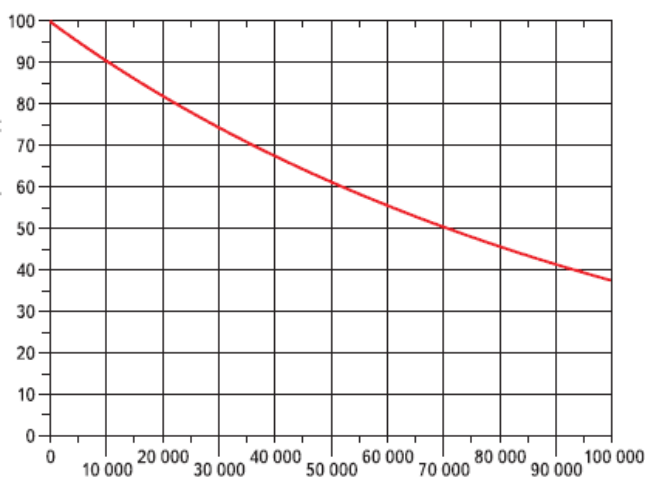


Рис. 1.8. Залежність відносного світлового потоку від терміну експлуатації світлодіода.

Із збільшенням температури зменшується і величина прямого падіння напруги на світлодіоді [7]. Величина зміни напруги залежить від конкретної моделі. У таблиці 1.1 наведені значення коефіцієнтів залежності напруги від температури для серій світлодіодів MKR і MKR2. Важливо брати до уваги значення даного параметра і вибрати драйвер для освітлювальної системи так, щоб він міг забезпечувати необхідну напругу у всьому робочому діапазоні температур світлодіода.

Величини коефіцієнтів залежності напруги від температури для світлодіодів серії MKR і MKR2

Таблиця 1.1

Назва	Коефіцієнт залежності напруги від температури, мВ/°С
MKR	-7
MKR2	-28

1.4 Стабілізація температурного режиму світлодіодів

В зв'язку із сказаним особливої актуальності набуває забезпечення адекватного теплового режиму світлодіода [7]. Для кардинального розв'язку

цієї проблеми необхідно удосконалювати якість матеріалу світлодіодної гетероструктури. В той же час вдало сконструйований тепловідвід вже на сучасному етапі розвитку напівпровідникових технологій дозволить суттєво покращити експлуатаційні характеристики існуючих СД. При цьому важливо забезпечувати якісні теплові контакти між всіма ланками тепловідводу.

1.4.1. Пасивне охолодження

Пасивне охолодження - найбільш поширений тип охолодження який використовується при виготовленні світлодіодних світильників. Пасивне охолодження в кінцевому підсумку визначається розміром і типом радіатора. Як правило радіатори виготовляються з високотеплопровідних матеріалів, наприклад, із міді. Теплопровідність міді становить 390 Вт / (м К) , що вважається прийнятним значенням. Але у міді в порівнянні з алюмінієм є два суттєві недоліки. Зокрема, питома вага міді приблизно в три рази, а ціна в п'ять разів більша ніж в алюмінію [2]. Тому для виготовлення радіаторів використовують алюміній. Радіатор світильника призначений для видалення і розсіювання тепла від джерела світла в навколишнє середовище на максимальну від електронного пристрою відстань. Таке охолодження ґрунтується на природній конвекції повітря. Основна характеристика пасивного радіатора - загальна площа його поверхні. Чим більше площа, тим ефективніше відбувається відведення тепла. Для хорошого контакту з світлодіодом основа радіатора повинна бути гладкою, інакше теплопередача буде порушена. Відомі, наприклад, конструкції корпусів, які використовуються при розробці світильників з люмінесцентними або газорозрядними лампами. Це так звані «трофери», в яких повітря входить в світильник через отвори, з боку торця корпусу проходить уздовж ламп і виходить через отвори вгорі корпусу. Потік повітря утворюється за рахунок різниці щільності гарячого повітря всередині і холодного зовні світильника [8]. Це, в певному сенсі, ідея яку можна використати для охолодження напівпровідникових світильників. Існує кілька методів виробництва радіаторів. Найпоширеніші з них: екструзія, лиття і

штампування. Проектування радіатора може бути досить складним завданням, в якому необхідно враховувати габаритні обмеження, вартість, вагу, можливість серійного виробництва.

Штамповані радіатори представляють собою основу, перпендикулярно до якої і паралельно один одному розташована велика кількість пластин (рис. 1.9). Штампування є найбільш ефективним методом для формування складних форм, а також має багато переваг. Основна перевага полягає в тому, що процес штамповки відбувається під високим тиском, який формує структуру зерна. Це призводить до суттєвого збільшення теплопровідності матеріалу радіатора [8].



Рис.1.9. Штампований радіатор.

Штамповані радіатори мають кілька важливих переваг у порівнянні з механічно обробленими, литими і екструдованими радіаторами. Зокрема, це підвищена теплопровідність у поєднанні з можливістю багатократного збільшення площі поверхні розсіювання без збільшення розміру радіатора. Даний фактор особливо важливий в умовах обмеженого простору і у випадках коли мала вага має вирішальне значення.

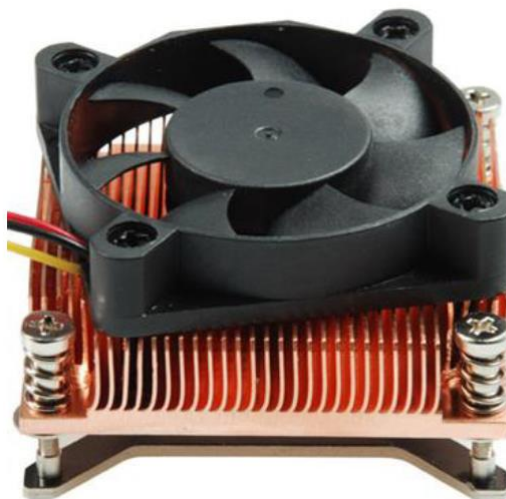


Рис. 1.10. Штампований радіатор для процесора

Оскільки основний тепловідвід йде з пластин в навколишнє середовище, бажано щоб такий радіатор мав інтенсивне повітряне охолодження. Це пояснюється тим, що при малих відстанях між пластинами можуть виникати застійні зони, які суттєво знижують ефективність відведення тепла. Така схема охолодження реалізована в комп'ютерних процесорах (рис. 1.10). Штамповані радіатори, в основному, використовуються для роботи в закритих приміщеннях, оскільки на відкритому повітрі, контактуючи з навколишнім середовищем, пластини досить швидко засмічуються і радіатор стає малоефективним.

Литі радіатори виготовляються методом лиття під тиском розплавленого металу в ливарну форму. Великою перевагою литих радіаторів є мінімальна фінішна обробка. Тобто, даним методом можна отримати радіатор - корпус в якому будуть враховані всі необхідні отвори та пази. Однак, радіатор отриманий методом лиття меншу теплопровідність ніж радіатори, виготовлені методом штамповки чи екструзії. Це пояснюється тим, що розплавлений метал охолоджується в матриці. В результаті процесу кристалізації створюються множинні пори, які погіршують теплопровідність. Литі радіатори, як і штамповані виготовляються під конкретну модель світлодіодної лампи. Для виготовлення серії ламп потрібно буде робити кілька ливарних форм, в результаті чого первісні затрати зростуть в декілька разів.



Рис.1.11. Литий радіатор для світлодіодної лампи

Екструдовані радіатори – радіатори [8] виготовлені методом пресування. Це найбільш поширений вид радіаторів. Екструзія базується на технології отримання виробів шляхом продавлювання вязкого розплаву або густої пасти через формуючий отвір. Основний матеріал, який використовується при цьому – різноманітні сплави алюмінію. Радіатори, виготовлені методом екструзії можуть мати різний профіль і, за рахунок цього, досягати необхідних тепловідвідних якостей.



Рис.1.12. Радіатор виготовлений методом екструзії

Виготовлення радіаторів методом екструзії має суттєвий недолік – вони лінійні. Оскільки радіатори витягуються вздовж однієї осі, то отвори і пази

можна передбачити тільки в осьовому напрямку. Це означає, що кріпильні отвори збоку і зверху потрібно просвердлювати окремо (на відміну від радіаторів, виготовлених методом лиття). Зрозуміло, що додаткові операції принесуть додаткові затрати. Однак, радіатори отримані таким способом мають велику перевагу в порівнянні з іншими методами виробництва – вони можуть мати довільну довжину. Ця якість дозволяє, маючи один профіль, виготовляти радіатори для світильників різної потужності, змінюючи тільки довжину профілю.

1.4.2. Охолодження через друковану плату

Більшість світлодіодів невеликої потужності необхідно встановлювати на плату (для підведення кіл живлення світлодіода і механічного монтажу) [9]. Від вибору матеріалу друкованої плати і топології в значній мірі залежить тепловий опір. Наприклад, для стандартних плат FR4 тепловий опір може становити 20...80 К/Вт, в той час як для плат на металевій підкладці тепловий опір становитиме одиниці К/Вт. Компанія CREE пропонує керівництво «optimizing pcb Thermal performance» з проектування друкованих плат для світлодіодів. В ньому для зменшення теплового опору викладені рекомендації щодо топології друкованої плати.

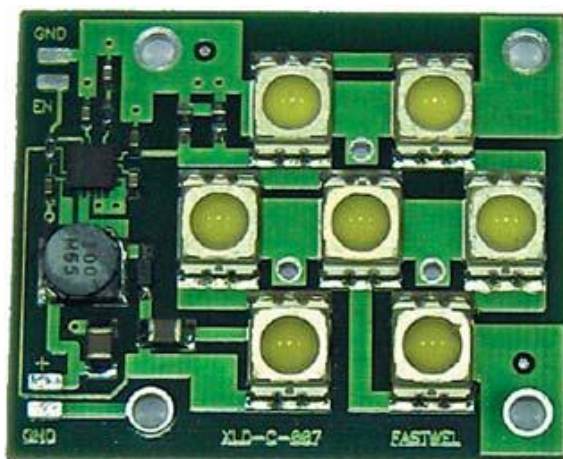


Рис. 1.13. Друкована плата із світлодіодами

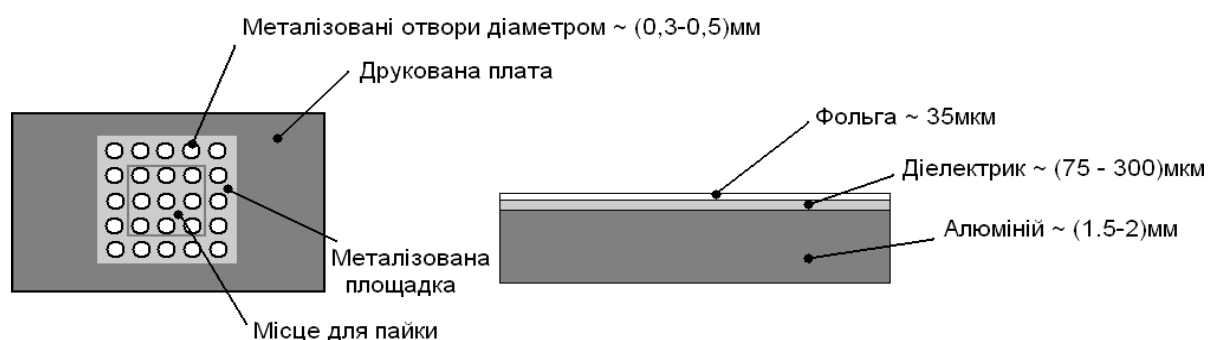
На сьогодні є три основні типи друкованих плат для світлодіодів, що застосовуються для різних діапазонів розсіювання тепла [9]:

тип I – одностороння друкована плата FR4 з/(без) додатковою мідною площиною – є найдешевшою і найменш ефективною для розсіювання тепла;

тип II – двостороння друкована плата FR4 з додатковою мідною площиною і тепловими отворами – забезпечує додаткове розсіювання тепла від світлодіода через отвори до додаткової мідної площини на нижньому боці друкованої плати, яка може бути залишена без паяльної маски за допомогою технології вирівнювання паяння гарячим повітрям (HASL), якщо це забезпечить краще розсіювання тепла в навколишнє середовище. Це також забезпечує кращу взаємодію металу в разі приєднання додаткового радіатора;

тип III – друкована плата з внутрішнім металевим шаром Metal Core Printed Circuit Board (MCPCB). У друкованій платі цього типу зазвичай як внутрішню основу використовують алюміній, який має добру теплопровідність (понад 200 Вт/м К). При цьому тепло, відведене від світлодіода, може ефективно поширюватися через плату MCPCB у навколишнє середовище. Порівняно з підкладкою FR4 плата MCPCB чудово підтримує низьку температуру р-п-переходу світлодіода.

Для відведення тепла від активної області потужного світлодіода, та розсіювання його в навколишнє середовище нами використано друковану плату з наскрізними металізованими отворами та радіатор (див. рис. 2а).



а

б

Рис. 1.14. Схематичне зображення друкованої плати з наскрізними отворами (а) та фольгованої алюмінієвої плати (б).

Двостороння друкована плата з текстоліту має металізовану мідну площадку для пайки та наскрізні отвори діаметром 0.5мм, які передають теплову енергію від верхньої (де встановлено світлодіод) до нижньої сторони плати, яка з'єднана з радіатором. Плата з наскрізними отворами потребує більш товстого шару металізації, а саме 70 мкм замість широкоживаних 35 мкм. Кріплення радіатора виконувалося за допомогою теплопровідного клею з додатковим кріпленням гвинтами.

Як показали проведені дослідження, ефективним та чи не найпростішим розв'язанням задачі відведення тепла, є застосування структури поданої на рис. 2б. Плата являє собою алюмінієву пластину товщиною від 1,5 до 2мм з шаром діелектрика (75...300) мкм (теплопровідність коливається від 0,5 до 5 Вт/(м·К)), що являє собою склотканину просочену епоксидними смолами, на який нанесений шар мідної фольги товщиною 35 мкм (виключно для утворення струмоведучих доріжок). Від плати тепло передається через шар теплопровідного матеріалу радіатору, розміри якого відповідають розміру металічної пластини.

Досліджувались потужні світлодіоди DORADO з представленими видами монтажу. Метою експерименту було вимірювання температури плати при тривалій роботі світлодіоду. Отримані наступні значення температур:

76,6°C – металізована друкована плата;

75,5°C – друкована плата з наскрізними отворами;

84,8°C – плата з фольгованого алюмінію.

Встановлено, що за рахунок наявності та збільшення кількості металізованих отворів можна суттєво зменшити тепловий опір між світлодіодом і радіатором та суттєво покращити тепловідвід у порівнянні з платою з фольгованого алюмінію.

1.4.3. Активне повітряне охолодження

Структурна схема активного повітряного охолодження [9] показана на рис. 1.13. Джерело постійного струму підключено до світлодіода або групи світлодіодів встановлених на платі. До джерела струму приєднаний також елемент активного охолодження – вентилятор. Для забезпечення плавності регулювання швидкості обертання вентилятора від температури світлодіодів, в коло послідовно із джерелом живлення включений терморезистор з негативним коефіцієнтом опору.

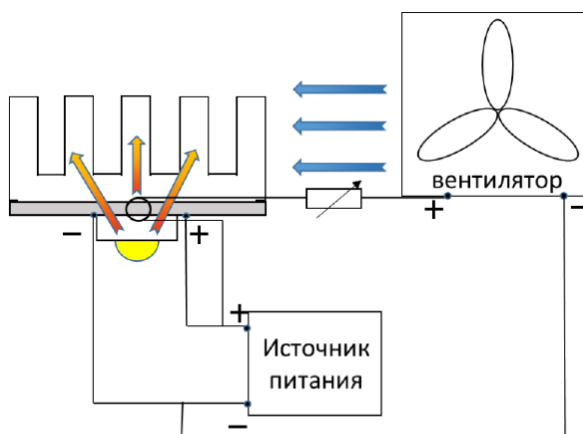


Рис.1.15. Система охолодження світлодіода на базі активного радіатора.

Для більш точного визначення температури терморезистор повинен знаходитися в безпосередньому тепловому контакті із світлодіодами. В розглядуваному випадку в коло живлення вентилятора послідовно слід включити резистор. Він необхідний для обмеження максимальної швидкості обертання вентилятора. Однак, в деяких випадках такий резистор не потрібний. Принцип дії системи активного охолодження наступний. При збільшенні температури радіатора збільшується температура терморезисторів. При цьому опір терморезисторів з негативним температурним коефіцієнтом зменшується. За рахунок зменшення опору в колі охолоджуючого вентилятора швидкість обертання вентилятора збільшується, що приводить до зменшення температури радіатора і, відповідно, терморезистора. Активне охолодження з використанням терморезисторів з негативним температурним коефіцієнтом має

одну з найпростіших схему оберненого зв'язку. Адже вона побудована всього на одному електронному компоненті (терморезисторі з негативним температурним коефіцієнтом опору).

Не дивлячись на всі плюси активного охолодження, основними неділками даної системи є її обмеженість у використанні. Повітряні системи охолодження можуть працювати тільки в приміщенні. Наступний недолік таких систем – обмежений термін служби. Це зв'язано як з можливістю забруднення вентилятора так і з виходом з ладу підшипників на яких обертається крильчатка. Головним недоліком системи охолодження є збільшення вартості кінцевого продукту, в порівнянні з лампами з пасивною системою охолодження світлодіодів.

1.4.4. Струмине охолодження

Охолодження при допомозі вентилятора порівняно недороге, але з огляду на генерацію звукового шуму має обмежене використання. Для подолання даного недоліку і ще більшого зниження розмірів тепловідведення була розроблена струменева технологія обдуву радіатора. Наприклад, розроблені компанією Nuventix струменеві системи охолодження світлодіодів SynJet [10].

Принцип роботи вентиляторів SynJet базується на поступально-поворотному коливанні мембрани, яка втягує порції повітря, а потім викидає їх через сопла в вигляді імпульсних турбулентних струменів. Імпульсні струмені відштовхують гаряче повітря від радіаторних пластин забезпечуючи ефективне охолодження радіатора. Порожнина в яку засмоктується зовнішнє повітря, герметична, і механізм, що приводить в рух мембрану захищений від пилу і вологи. Перевага охолоджувальної системи SynJet перед вентиляторами полягає у відсутності деталей, що труться, що сприяє довговічності механізму.

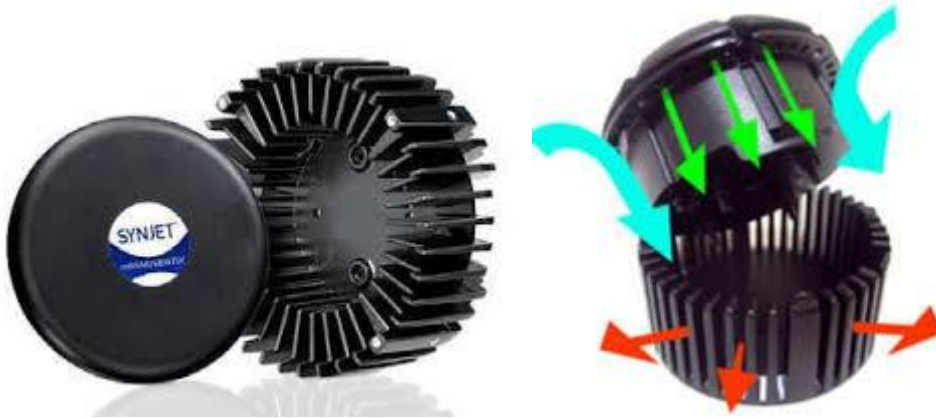


Рис. 1.16. Зовнішній вигляд охолоджувальної системи SynJet

Система охолодження SynJet при малих розмірах і низькому рівні генерації шуму забезпечує зниження теплового опору до 0,75...2,67 К/Вт.

Висновки до першого розділу

1. На сьогодні в Україні до 25-30% валових енерговитрат припадає на різні види освітлення. Тому, масове впровадження напівпровідникових джерел світла може скоротити цей обсяг в 6÷8 разів. Це разом з непрямыми ефектами може посприяти збільшенню ВВП держави на 1.5÷2%.
2. В сучасних світлодіодах ефективність перетворення електричної енергії в світлову складає близько 25%.
3. Майже 75% підведеної до світлодіода енергії перетворюється в тепло. Якщо теплову енергію не відводити, це спричинить надмірний нагрів приладу.
4. Порушення теплового режиму приводить до: зменшення яскравості свічення; зменшення світлового потоку; деградації світлових характеристик; зниження показника світлової проникності оптичної системи; зменшення терміну експлуатації.

2 НАУКОВО ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Побудова математичної теплової моделі світлодіода

Теплова енергія, яка виділяється при роботі СД може відводитися двома способами: кондукцією і конвекцією. Кондукція, це передача тепла шляхом теплопровідності. Завдяки конвекції тепло за рахунок руху потоків рідин або газів передається навколишньому середовищу. Зазвичай, в світлодіодних світильниках навколишнім середовищем є повітря.

В основу математичної теплової моделі покладемо принцип електротеплової аналогії. Він базується на подібності рівнянь, що описують електричне і теплове поле. Така модель зручна тим, що тепловими опорами можна оперувати аналогічно електричним опорам. Це робить модель наочною і спрощує розрахунки (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Аналоги електричних і теплових величин

Електричне коло			Теплове коло		
Назва	Позн. або форм.	Од. вимір.	Назва	Позн. або форм.	Од. вимір.
Питома електропровідність	σ	$1/Ом\cdot м$	Питома теплопровідність	K	$Вт/м\cdot К$
Електричний опір	R	$Ом$	Тепловий опір	Θ	$К/Вт$
Сила струму	I	A	Потужність	P	$Вт$
Потенціал	φ	B	Температура	T	$К, ^\circ C$
Напруга	$U=\varphi_1-\varphi_2$	B	Перепад температури	$\Delta T=T_1-T_2$	$К, ^\circ C$

Відомо, що потік тепла прямує від точки середовища з вищою температурою T_1 в точку з нижчою температурою T_2 . При цьому середовище чинить опір проходженню тепла. Тепловий опір Θ визначається як відношення перепаду температури ΔT до теплового потоку P_t :

$$\Theta = \frac{\Delta T}{P_t}, \quad (2.1)$$

де $\Delta T = T_1 - T_2$.

Величину теплового опору матеріалу через який внаслідок його теплопровідності проходить тепловий потік P_t визначають співвідношенням [11]:

$$\Theta = \frac{1}{\kappa} \frac{\Delta l}{\Delta S}, \quad (2.2)$$

де κ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

ΔS і Δl - площа поперечного перерізу і товщина матеріалу відповідно.

Потік тепла, розсіяного за допомогою конвекції, можна розрахувати за формулою:

$$P_c = \alpha \cdot \Delta S \cdot \Delta T, \quad (2.3)$$

де α - коефіцієнт теплообміну з навколишнім середовищем;

ΔS - площа поверхні випромінюючого елемента;

ΔT - різниця між температурою випромінюючого елемента і температурою навколишнього середовища.

Величину теплового опору теплообміну з навколишнім середовищем через конвекцію визначають співвідношенням:

$$\Theta_c = \frac{1}{\alpha} \frac{1}{\Delta S}. \quad (2.4)$$

Основна проблема в підрахунку потоку тепла, розсіяного за допомогою конвекції - це визначення коефіцієнта α . Значення коефіцієнта α може значно змінюватися, в залежності від геометрії радіатора, граничних умов і інших параметрів. Наприклад, при природній конвекції коефіцієнт α знаходиться в межах $5 \div 20$ Вт/(м²·К). Для систем з примусовою конвекцією коефіцієнт теплообміну може досягати значень 100Вт/(м²·К) при повітряному охолодженні і до 1000Вт/(м²·К) - при рідинному. У світлодіодному освітленні зазвичай використовується природне повітряне охолодження. Для розрахунків таких систем значення коефіцієнта теплообміну можна прийняти рівним 10Вт/(м²·К).

Для світлодіодних освітлювальних приладів найбільш важливою характеристикою є тепловий опір між *p-n*-переходом і контактною площадкою світлодіода θ_{js} . Його величина завжди вказується у технічній документації на прилад. Якщо світлодіод встановлюється на тепловідвід, то в тепловій моделі послідовно з θ_{js} включаються теплові опори між світлодіодом і радіатором і радіатором і навколишнім середовищем (див. рис. 2.1).

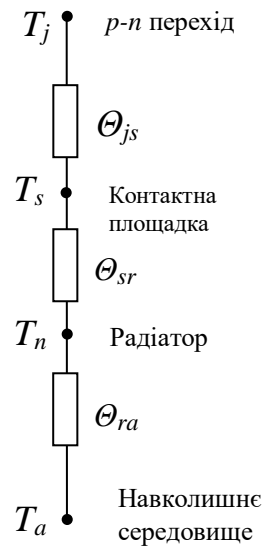


Рис. 2.1 - Теплова модель світлодіодної лампи в якій на радіатор встановлено один світлодіод.

Повний тепловий опір тепловий опір обчислюється за формулою для послідовного з'єднання теплових опорів:

$$\Theta_{ja} = \Theta_{js} + \Theta_{sr} + \Theta_{ra}, \quad (2.5)$$

Температуру $p-n$ переходу можна визначити із із закону Ома для теплових кіл [11]:

$$T_j = T_a + P_t \cdot \Theta_{ja}, \quad (2.6)$$

де T_a - температура навколишнього середовища;

Θ_{ja} – сумарний тепловий опір;

P_t - теплова потужність.

З наведеного співвідношення видно, що при заданих умовах роботи світлодіоду висока температура навколишнього середовища та велика теплова потужність сприяють збільшенню, а низький тепловий опір – зменшенню температури переходу.

Якщо на тепловідводі встановлено декілька світлодіодів, то еквівалентна

теплова схема буде мати вигляд, показаний на рис. 2.2 [12,13].

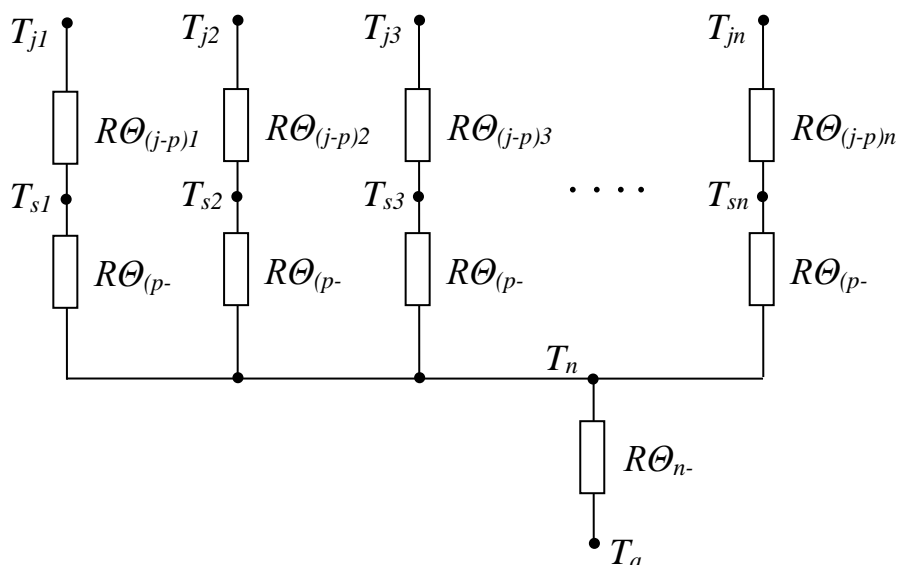


Рис. 2.2. Теплова модель світлодіодної лампи в якій на радіатор встановлено кілька світлодіодів.

При цьому повний тепловий опір обчислюється за формулою для паралельного з'єднання теплових опорів:

$$\frac{1}{\Theta_{(j-a)\Sigma}} = \sum_i \frac{1}{\Theta_{(j-b)i}}, \quad (2.7)$$

У разі еквівалентних умов теплопередачі кожного світлодіода формулу (2.6) можна спростити:

$$\Theta_{(j-a)\Sigma} = \frac{\Theta_{(j-b)l}}{n}, \quad (2.8)$$

Величини теплових опорів θ_{ph} і θ_{ha} у ряді випадків можна знайти в технічній документації виробників світлодіодів. Однак, на практиці, достовірні значення можна отримати лише в результаті натурального моделювання вимірюючи температури контактної площадки світлодіода і всіх інших компонентів системи забезпечення теплового режиму. Знаючи температуру навколишнього середовища і розсіювану приладом потужність, за формулою

(2.1) можна визначити відповідні теплові опори. Незважаючи на трудомісткість такої процедури, її результатами можна скористатися для теплових розрахунків будь-яких світлотехнічних систем, для яких використовується аналогічна технологія монтажу світлодіодів, матеріали і конфігурація елементів тепловідведення.

Місцями виділення тепла всередині світлодіода є контакти, зовнішні шари і активна зона [13]. При малих значеннях струму нагріванням контактів і зовнішніх шарів можна знехтувати з огляду на малість потужності, яка розсіюється на їх паразитних опорах. Тому при малих струмах основним джерелом тепла є *p-n*-перехід світлодіода, який нагрівається в результаті безвипромінювальної рекомбінації. Із збільшенням струму внесок паразитних опорів контактів і зовнішніх шарів у збільшення температури світлодіода стає помітнішим. В результаті підвищення ролі безвипромінювальної рекомбінації через глибокі домішкові рівні, поверхневої рекомбінації і втрат носіїв заряду в бар'єрних шарах гетероструктур інтенсивність випромінювання світлодіода падає.

Таким чином світлодіод, як і будь-який інший електронний прилад, не буде мати ККД 100%. Це означає, що частина споживаної ним потужності перетвориться в тепло. Сучасні світлодіоди мають ККД близький до 25÷40%. Тобто в середньому 60÷75% споживаної потужності перетворюється в тепло. Наприклад, при використанні 20 ватної світлодіодної матриці необхідно розсіяти 12 Вт тепла. Потужність, яку потрібно розсіювати, можна розрахувати за формулою:

$$P_t = (1 - \eta_e) U_f I_f, \quad (2.9)$$

де: P_t - теплова потужність;

U_f - пряме падіння напруги на світлодіоді;

I_f - струм через світлодіод;

η_e - квантова ефективність світлодіода.

Компанія CREE в документі «XLampThermalManagement» рекомендує

користуватися припущенням, що в тепло перетворюється 75% споживаної потужності. Дане припущення дозволяє перестраховатися при розрахунку тепловідведення.

2.2 Розрахунок теплового режиму світлодіода з локальним радіатором

Розглянемо найбільш поширену конструкцію світлодіодного пристрою, де тепло розсіюється в навколишнє середовище, проходячи від р-n-переходу через шар теплопровідної пасти до радіатора [14-16]. Схема теплового кола представлена трьома ділянками кожна з яких характеризується своїм тепловим опором. Зокрема, тепловий опір між р-n переходом та контактною площадкою світлодіода вказується в технічній документації на світлодіод і визначається внутрішньою конструкцією та матеріалом напівпровідникового пристрою. Для світлодіодів малої і середньої потужності ця величина коливається від 4К/Вт до 12К/Вт. Для потужних світлодіодних матриць може бути меншою 1К/Вт. Θ_{sr} – тепловий опір між контактною площадкою світлодіода і радіатором. Його величина визначається якістю теплового контакту між ними (притискний контакт, пайка, теплопровідні клеї, теплопровідні пасти тощо).

Тепловий опір між радіатором і навколишнім середовищем - Θ_{ra} . Його величина визначається типом і розсіюючою потужністю радіатора. Радіатор можна вибрати із стандартного ряду, що пропонуються на ринку. Тепловий опір радіатора можна розрахувати на підставі відомих емпіричних методів розрахунку за умов максимальної теплової ефективності, технологічних, вартісних та інших показників. При цьому ефективним є використання спеціальних програм, наприклад QLED, за допомогою яких можна проаналізувати та оцінити ефективність прийнятих рішень щодо забезпечення теплового режиму пристроїв. На сьогодні, для світлодіодів потужністю до 15 Вт, широко використовують алюмінієві (голчасті і ребристі) та керамічні радіатори. Для більш потужних світлодіодів (15÷30 Вт) додатково

використовують вентилятори чи струминну технологію обдування радіатора (наприклад такі, що розроблені і впроваджені компанією Nuventix). Для найбільш потужних світлодіодів (десятки і сотні ват) застосовують рідинну або термоелектричну систему охолодження.

Для прикладу, радіатор LPF11180-ZHE зовнішній вигляд якого представлений на рисунку має максимальний тепловий опір $\Theta_{га} = 1.07^\circ \text{C}/\text{Вт}$.



Рис. 2.3 - Зовнішній вигляд радіатора LPF11180-ZHE

Для прикладу проведемо розрахунок теплового режиму світлодіода Cree XLamp CXA1507. Він є найбільш компактним представником сімейства CXA, забезпечуючи світловий потік від 710 до 1300 люмен при діаметрі оптичного вікна 9-мм, що дозволяє виробникам виготовляти освітлювальні прилади спрощеної конструкції і низької вартості. Вихідними даними для розрахунку є прямий струм світлодіода, температура р-п-переходу і температура навколишнього середовища.

Максимальну температуру р-п-переходу виберемо на рівні $T_{j \max} = 125^\circ \text{C}$, а температуру середовища - $T_a = 25^\circ \text{C}$. Робочу температуру р-п-переходу знайдемо як

$$T_j = T_{j \max} K_T$$

де K_T - коефіцієнт запасу.

Це дозволить в реальних умовах роботи зменшити ймовірність перегріву р-п-переходу і забезпечить потрібний ресурс роботи світлодіода. Фірма CREE

величину коефіцієнта запасу K_T рекомендує вибирати в межах 0.7÷0.8. Отже, для критичної температури Cree XLamp CXA1507 маємо:

$$T_j = 125 \cdot 0.7 = 85 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Проведемо розрахунок для максимального і мінімального значення прямого струму.

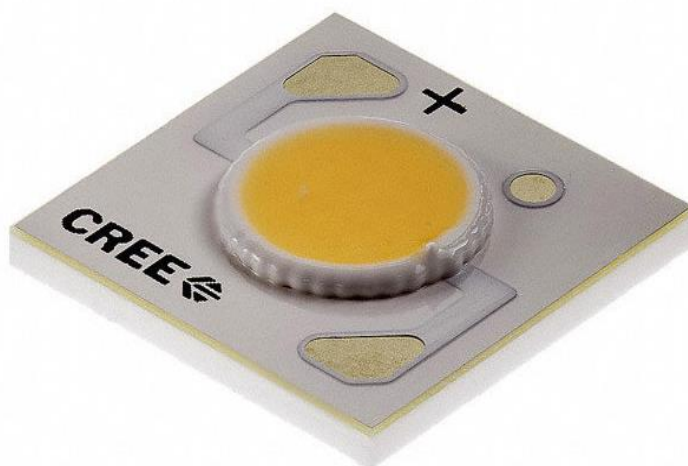


Рис. 2.4 - Зовнішній вигляд світлодіода Cree XLamp CXA1507

Таблиця 2.2 - Параметри світлодіода CXA1507

Максимальна температура переходу, $^\circ\text{C}$	125 $^\circ\text{C}$
Тепловий опір р-п –перехід – контактна площадка світлодіода Θ_{js} при при $I_f = 0.175\text{A}$, (K/Wm)	8
Тепловий опір р-п –перехід – контактна площадка світлодіода Θ_{js} при при $I_f = 0.350\text{A}$, (K/Wm)	4
Теплопровідність термопасти κ , (Wm/(m K))	0.7

Площа контакту світлодіода ΔS , мм²

250

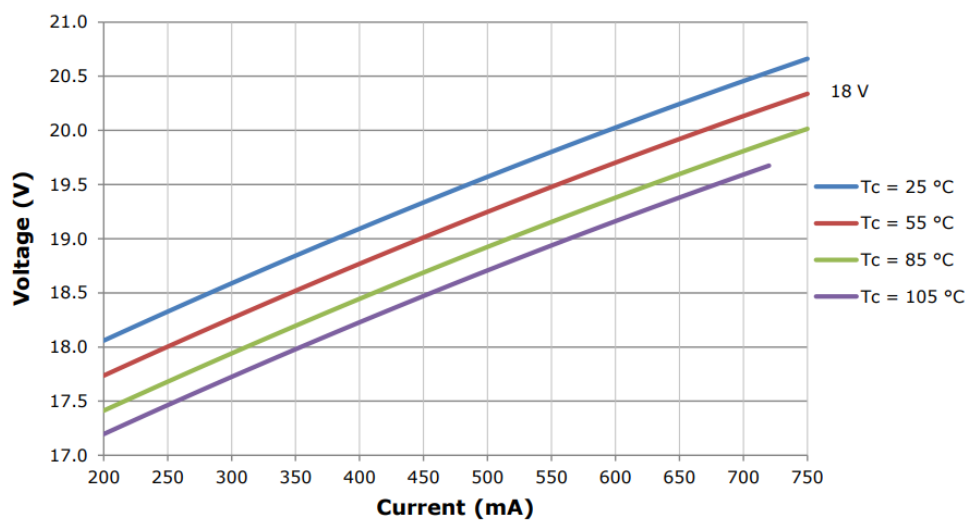


Рис. 2.5 - Вольт-амперна характеристика світлодіода СХА1507 (18В).

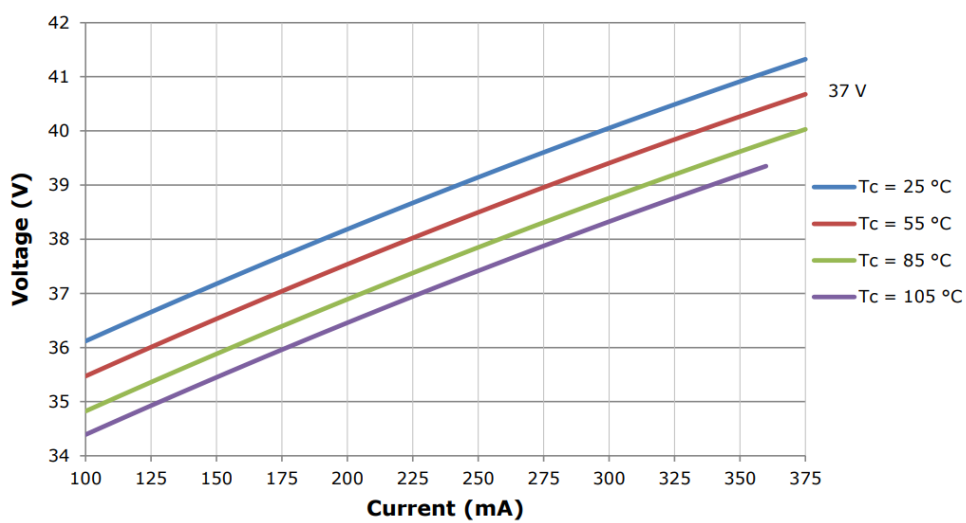


Рис. 2.6 - Вольт-амперна характеристика світлодіода СХА1507 (37В).

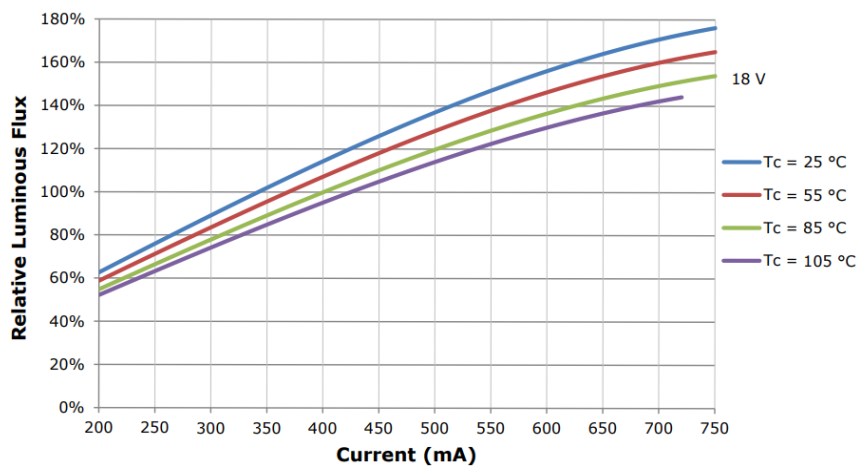


Рис. 2.7 - Люмен-амперна характеристика світлодіода CXA1507 (18В).

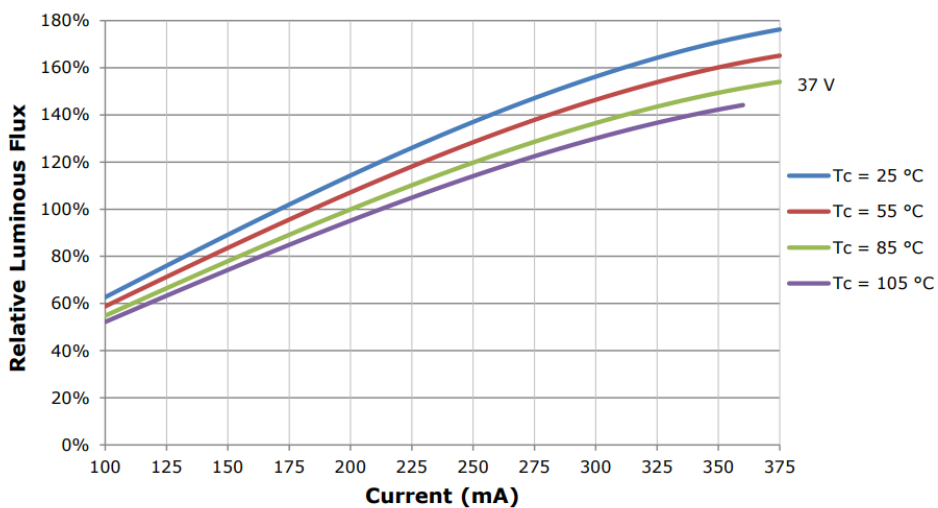


Рис. 2.8 - Люмен-амперна характеристика світлодіода CXA1507 (37В).

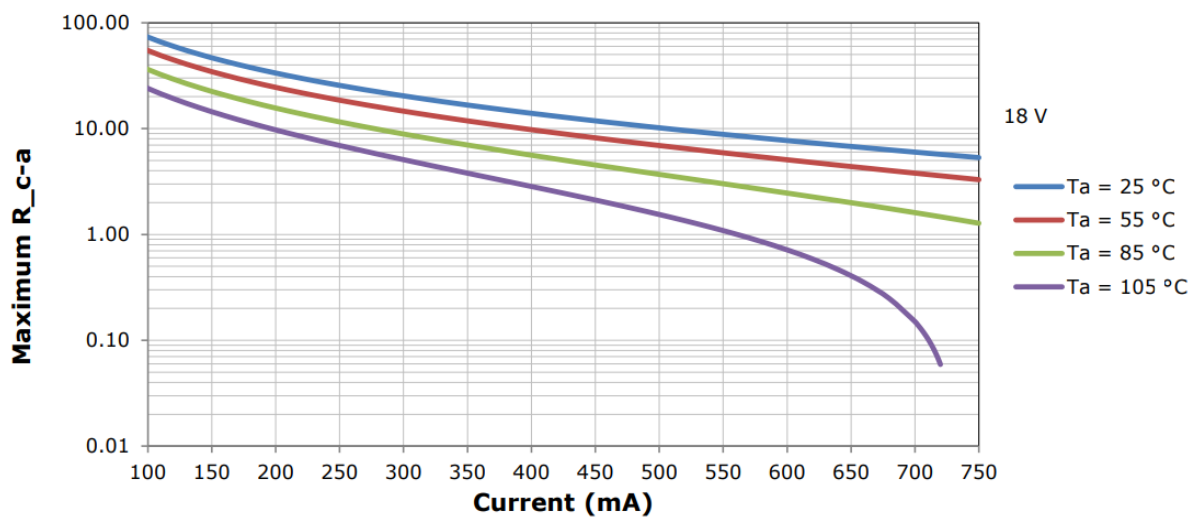


Рис. 2.9 - Залежність теплового опору світлодіода CXA1507 від струму.
(18В).

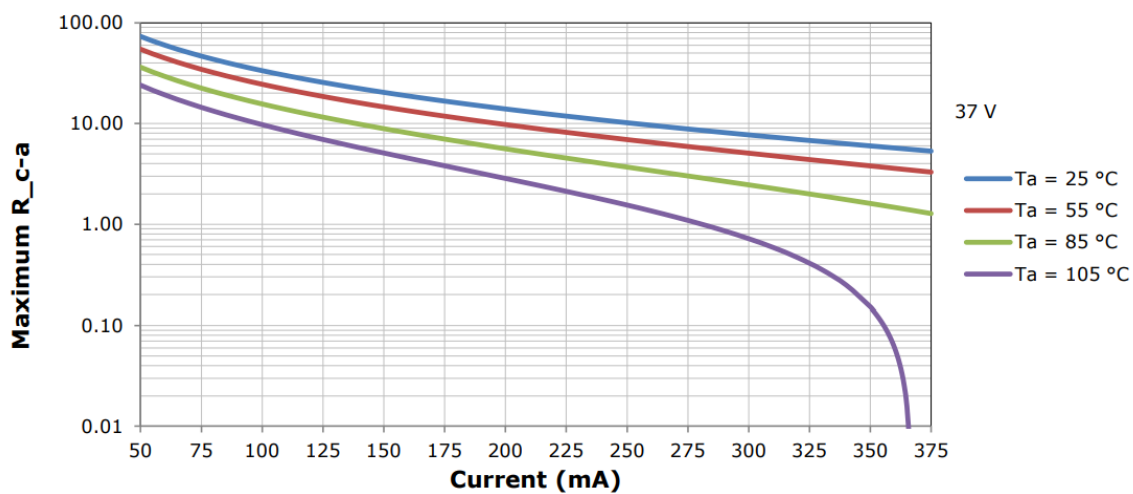


Рис. 2.10 - Залежність теплового опору світлодіода CXA1507 від струму.
(37В).

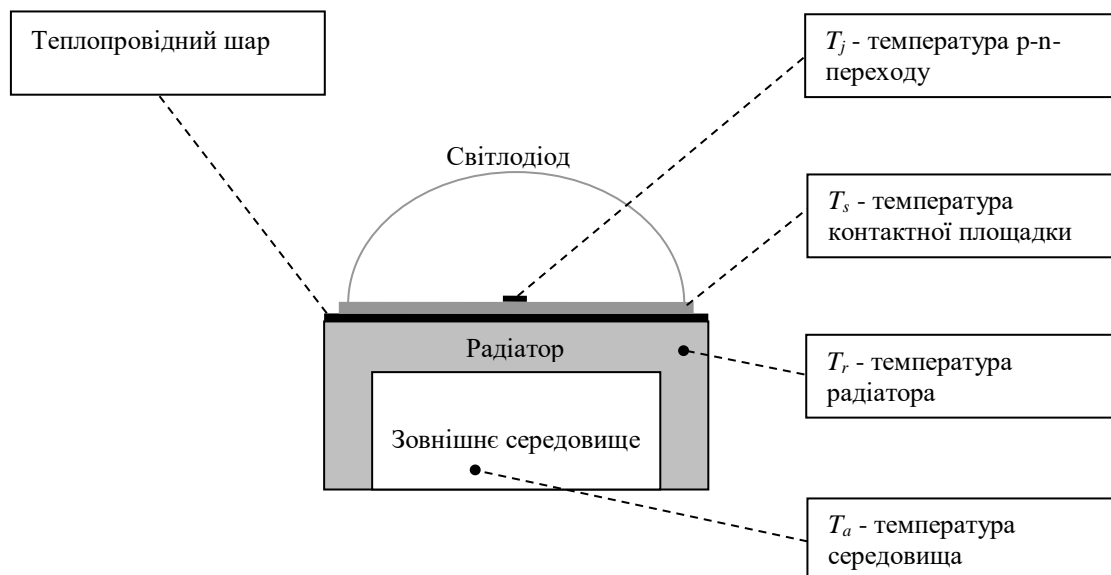


Рис. 2.11 - Схематичне зображення системи охолодження світлодіода на базі радіатора.

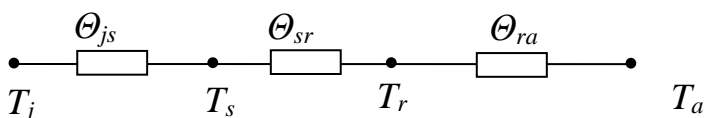


Рис. 2.12 - Теплова схема системи охолодження світлодіода на базі радіатора. Де Θ_{js} - тепловий опір р-п-перехід-контактна площадка, Θ_{sr} - тепловий опір контактна площадка – радіатор, Θ_{ra} - тепловий опір радіатор – навколишнє середовище.

1 й випадок.

Нехай прями́й струм $I_f=0.175A$. По вольт-амперній характеристиці знаходимо пряму напругу $U_f=37.5V$. Для потужності СД маємо:

$$P = U_f I_f = 37.5 \cdot 0.175 = 6.6 \text{ Вт.}$$

Знаходимо теплову потужність

$$P_t = (1 - \eta_e) P = 0.8 \cdot 6.6 = 4.9 \text{ Вт.}$$

Знаходимо максимально допустимий сумарний тепловий опір Θ_{ja}

$$\Theta_{ja} = \frac{T_j - T_a}{P_t} = \frac{85 - 25}{4.9} = 12.2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Wm}.$$

Знаходимо тепловий опір теплопровідного шару. Будемо використовувати термопасту КПТ-8. Її теплопровідність $\kappa = 0.7 \text{ Вт}/(\text{м К})$, товщину шару складає $\Delta l = 0.1 \text{ мм}$, при площі теплового контакту $\Delta S = 250 \text{ мм}^2$. Звідси, для теплового опору маємо:

$$\Theta_{sr} = \frac{1}{\kappa} \frac{\Delta l}{\Delta S} = \frac{10^{-3}}{0.7 \cdot 251 \cdot 10^{-6}} = 0.6 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Wm}.$$

Тепловий опір p-n – перехід – контактна площадка світлодіода візьмемо з паспортних даних. Для прямого струму $I_f = 0.175 \text{ А}$ та температури середовища $T_a = 25^\circ\text{C}$ знаходимо $\Theta_{js} = 6 \text{ К}/\text{Вт}$. При такому струмі величина світлового потоку складе 710 люмен.

Знаходимо максимально допустимий тепловий опір радіатора

$$\Theta_{ra} = \Theta_{ja} - \Theta_{js} - \Theta_{sr} = 12.2 - 6 - 0.6 = 5.6 \text{ К}/\text{Вт}.$$

2 й випадок.

Зробимо аналогічні розрахунки для струму $I_f = 0.350 \text{ А}$. При цьому пряма напруга $U_f = 41 \text{ В}$. Знаходимо споживану потужність:

$$P = U_f I_f = 41 \cdot 0.350 = 14.4 \text{ Вт}.$$

Для теплової потужності і теплових опорів маємо:

$$P_t = (1 - \eta_e) P = 0.8 \cdot 41 \cdot 0.350 = 11.5 \text{ Вт},$$

$$\Theta_{ja} = 5.2 \text{ К}/\text{Вт}, \quad \Theta_{sr} = 0.6 \text{ К}/\text{Вт}.$$

При струмі $I_f = 0.350 \text{ А}$ величина світлового потоку складе величину 1200 лм. Знайдемо максимально допустимий тепловий опір радіатора

$$\Theta_{ra} = \Theta_{ja} - \Theta_{js} - \Theta_{sr} = 5.2 - 4 - 0.6 - 0.1 = 1.5 \text{ К}/\text{Вт}.$$

Тобто, радіатор LPF11180-ZHE повністю забезпечить тепловий режим світлодіода XLamp CXA1507 в інтервалі потужностей $P = 6.6 \div 14.4 \text{ Вт}$.

2.3. Розрахунок системи охолодження світлодіода на базі теплової труби

В сучасних потужних світлодіодних освітлювальних системах (СОС) широкого поширення набувають активні системи охолодження в основі роботи яких лежить примусова циркуляція повітря або рідини в контурі [26-31]. Однак, активне охолодження пов'язане з шумом. Електродвигуни вентиляторів і сам повітряний потік створюють звукові хвилі, які часто небажані. Зокрема, при освітленні житлових приміщень, концертних залів, навчальних аудиторій і т. п. Крім того вони потребують додаткових капіталовкладень та технічного обслуговування. Все це змушує до пошуку альтернативних систем охолодження.

Теплові труби (ТТ) є одним з найбільш ефективних пасивних методів відбору і переносу теплової енергії. Завдяки використанню для передачі тепла прихованої теплоти пароутворення її ефективна теплопровідність в тисячі разів більша за теплопровідність [Cu](#), [Ag](#) або [Al](#), і досягає $\sim 10^7$ Вт/м · К.

Термостабілізація радіоелектронної апаратури при допомозі теплових труб свідчить про високу ефективність цього методу охолодження [2, 3]. Очевидно, що він може бути ефективним і для для стабілізації теплового режиму світлодіодів. Зокрема в [4-6] експериментально досліджувалася система охолодження світлодіодів, яка функціонує за принципом теплової труби. Доведено, що розглянуті системи охолодження забезпечують необхідний тепловий режим світлодіодів в широкому діапазоні температур. В [7] досліджувалася система охолодження світлодіода при різних режимах роботи теплової труби. Експериментально доведено її вищу ефективність в порівнянні з радіатором, що має ідентичний профіль і площу поверхні.

Однак, у вказаних роботах розглядалися лише практичні конструкції. При цьому теплова математична модель системи охолодження не розглядалася і теоретичний аналіз не проводився.

Для розрахунку теплового режиму СД в якості базової розглянемо

теплову математичну модель світлодіода закріпленого на торцевій поверхні теплової труби. Будемо вважати, що теплова потужність СД повністю поглинається її гарячим кінцем

$$P_t = P_h, \quad (2.10)$$

а від бічної і торцевої поверхонь завдяки конвективному теплообміну відводиться надлишкова потужність. Схема системи охолодження на основі теплової труби приведена на рис.2.1.

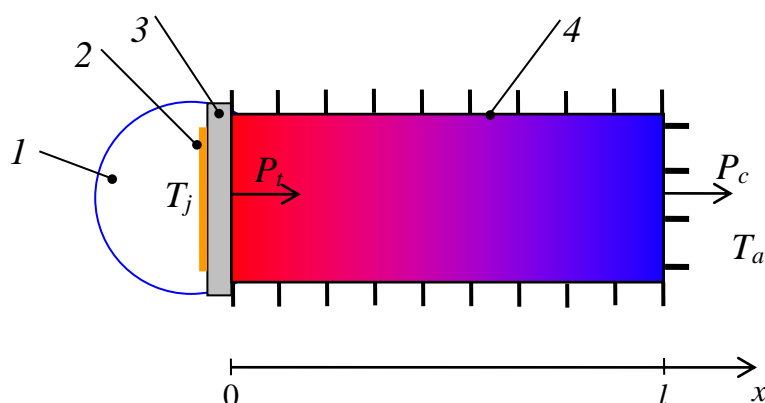


Рис. 2.13 - Схема системи охолодження світлодіода на базі теплової труби. 1- світлодіод, 2 – р-п перехід, 3 – контактна площадка, 4 - теплова труба,

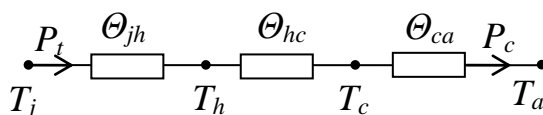


Рис. 2.14 - Теплова схема системи охолодження світлодіода на базі теплової труби. T_j - температура активної зони LED, T_a - температура середовища, T_h і T_c - температура гарячого і холодного кінців теплової труби відповідно.

Розглянемо поширення тепла в тепловій трубці з постійним по довжині поперечним перерізом. Для інтенсифікації теплообміну її бічна і торцева поверхні мають радіаторний рельєф. Вважаємо, що труба знаходиться в середовищі з постійною температурою. Поширення тепла в трубці описується стаціонарним рівнянням теплопровідності [8]

$$\nabla^2 t - \gamma^2 t = 0, \quad (2.11)$$

і рівнянням термогенерації Джоуля

$$P_t = (1 - \eta_e) I_f U_f, \quad (2.12)$$

де

$$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$$

оператор Гамільтона, $t = T - T_a$ - температура перегріву поверхні труби, T_a - температура середовища, P_t - потужність теплової генерації, U_f - пряма напруга, I_f - прямий струм, η_e - квантова ефективність світлодіода,

$$\gamma = \sqrt{\frac{\alpha_p P}{\kappa S}}, \quad (2.13)$$

де p і S - периметр бічної поверхні і площа поперечного перерізу, α_p і α_l - коефіцієнти теплообміну між бічною і торцевою поверхнею труби та середовищем відповідно.

Вважаємо, що потік тепла рівномірно розподілений в площині труби. Тоді, для густини потоку тепла отримаємо:

$$q_t = \frac{P_t}{S}, \quad (2.14)$$

Записані рівняння слід доповнити граничними умовами. На границях поділу структур охолоджувальної системи задамо традиційні умови спряження для теплових потоків.

$$-\kappa \frac{dt}{dx} \Big|_{x=0} = q_g, \quad -\kappa \frac{dt}{dx} \Big|_{x=l} = \alpha_l t \Big|_{x=l}, \quad (2.15)$$

Розв'язок системи рівнянь (2-6) будемо шукати у вигляді:

$$t(x) = C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x}, \quad (2.16)$$

де C_1 і C_2 постійні інтегрування, які визначаються із граничних умов.

В результаті розв'язку системи рівнянь був отриманий наступний розподіл температури перегріву:

$$t(x) = \frac{P_t}{\alpha_l S} \frac{\alpha_l}{\kappa \gamma} \left(\frac{ch \gamma (l-x) + sh \gamma (l-x)}{sh \gamma l + (\alpha_l / \kappa \gamma) ch \gamma l} \right), \quad (2.17)$$

Знайдемо температуру найгарячішого і найхолоднішого кінців теплової труби і середній погонний перепад температури. При $x=0$ і $x=l$ отримаємо відповідно:

$$T_h = T_a + \frac{P_t}{\alpha_l S} \frac{\alpha_l}{\kappa \gamma} \left(\frac{1 + (\alpha_l / \kappa \gamma) th \gamma l}{(\alpha_l / \kappa \gamma) + th \gamma l} \right), \quad (2.18)$$

$$T_c = T_a + \frac{P_t}{\alpha_l S} \frac{\alpha_l}{\kappa \gamma} \left(\frac{1}{(\alpha_l / \kappa \gamma) + th \gamma l} \right). \quad (2.19)$$

Для середнього погонного перепаду температури маємо:

$$\lambda(\gamma l) = \frac{T_h - T_c}{l} = \frac{P_t}{\alpha_l S} \left(\frac{\alpha_l}{\kappa \gamma} \right)^2 \frac{th \gamma l}{(\alpha_l / \kappa \gamma) + th \gamma l}. \quad (2.20)$$

Із аналізу (11) слідує, що завдяки великому коефіцієнту теплопровідності теплової труби $\lim_{\gamma l \rightarrow \infty} \lambda(\gamma l) = 0$ в широкому діапазоні довжин. Це свідчить, що поверхня труби є ізотермічною поверхнею. Внаслідок цього досягається рівномірне і ефективно відведення теплової енергії по всій довжині.

Температуру активної зони СД визначимо методом електротеплової аналогії із закону Ома для теплової вітки [9]

$$T_j = T_h + \Theta_{jh} P_t. \quad (2.21)$$

Враховуючи (9) отримаємо

$$T_j = T_a + P_t \left[\frac{\varepsilon}{\alpha_l S} \left(\frac{1 + \varepsilon th \beta}{\varepsilon + th \beta} \right) + \Theta_{jh} \right]. \quad (2.22)$$

де $\beta = \gamma l$ - відносна довжина теплової труби, $\varepsilon = \alpha_l / \kappa \gamma$ - відносний коефіцієнт теплообміну.

Температура активної зони зменшується із збільшенням відносної довжини теплової труби, і при $\beta \rightarrow \infty$ асимптотично наближається до граничного значення

$$T_j = T_a + P_t \left[\frac{\alpha_l}{\alpha_p} \frac{1}{\kappa \varphi} + \Theta_{jh} \right]. \quad (2.23)$$

Для проведення числового аналізу виберемо білий світлодіод Gree

XL1310CXA параметри якого представлені в таблиці 1. При цьому його квантова ефективність складає $\eta_e=0.25$, а тепловий опір $\theta_{jh} = 1.2 \text{ K/Wt}$. Для умов вільної конвекції повітря величина коефіцієнту тепловіддачі $\alpha_p = 5 \div 25 \text{ (Вт/м}^2\text{К)}$. При вимушеній конвекції коефіцієнт тепловіддачі коливається в межах $\alpha_p = 10 \div 200 \text{ (Вт/м}^2\text{К)}$. Використаємо теплові труби з коефіцієнтами теплопровідності $\kappa = 4 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}$ і $\kappa = 2 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Для порівняння виберемо мідний теплопровід такої ж довжини, який має ідентичний профіль і площу поверхні а коефіцієнт теплопровідності рівний $\kappa = 400 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

На рис. 2. представлені залежності температури активної зони СД від відносної довжини ТТ. Очевидно, що із збільшенням довжини температура активної зони зменшується.

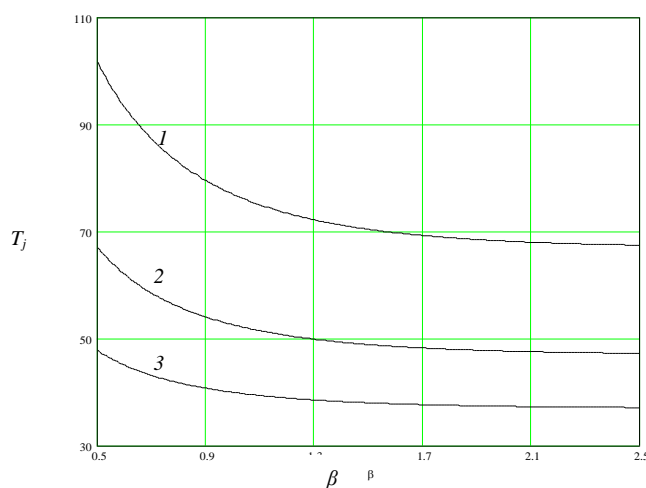


Рис. 2.15 - Залежність температури активної зони СД тепловою потужністю $P_t=20 \text{ Вт}$ від відносної довжини ТТ при різних відносних коефіцієнтах теплообміну. Лінії 1, 2, і 3 – при $\epsilon=0.1$ (мідний радіатор), $\epsilon=0.05$ (ТТ) і $\epsilon=0.025$ (ТТ) відповідно.

Це пояснюється збільшенням площі поверхні теплообміну із середовищем. Збільшенню відносної довжини теплової труби сприяє збільшення добутку γl , який відповідає за поширення тепла через бічну поверхню.

На температуру активної зони суттєво впливає і відносний коефіцієнт

теплообміну.

$$\varepsilon = \frac{\alpha_l}{\kappa\gamma} = \alpha_l \sqrt{\frac{S}{\alpha_p \kappa \rho}}. \quad (2.24)$$

Його зменшення також призводить до зменшення температури T_j . Зменшенню ε сприяє збільшення добутку $\alpha_p \kappa \rho$, який відповідає за швидке поширення тепла вздовж теплової труби. Залежність температури активної зони СД від відносного коефіцієнта теплообміну представлена на рис.3.

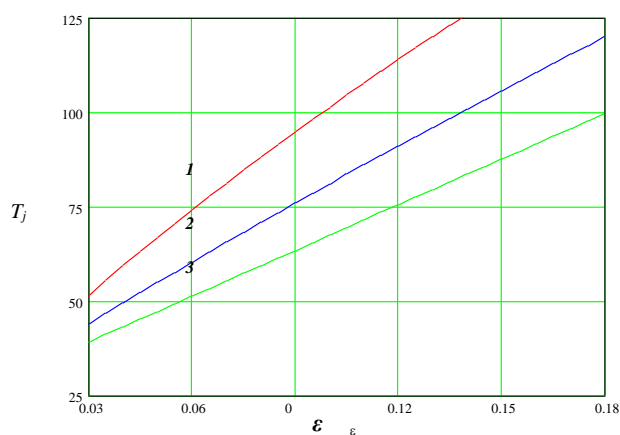


Рис. 2.16 - Залежність температури активної зони СД тепловою потужністю $P_i=20$ Вт від відносного коефіцієнта теплообміну при різних відносних довжинах ТТ. Лінії 1, 2, 3 при $\beta=0.50$, $\beta=0.85$, $\beta=2.5$ відповідно.

Таким чином, система охолодження СД на базі теплової труби має вищу ефективність в порівнянні з радіатором, що має ідентичний профіль і площу поверхні. Така перевага обумовлена рівномірним розподілом температури по поверхні теплової труби, а значить, і більш ефективним відведенням теплової енергії.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики світлодіодів серії СХА

Серія	Номинальна напруга (В)	Прямий струм (мА)	Максимальна потужність (Вт)	Світловий потік (Лм)	Тепловий опір (К/Вт)	Максимальна температура активної зони (С°)
XL1310СХА	18	700-	20	1400-2100	1.2	125

		1050				
XL1310CXA	36	350-525	20	1400-2100	1.2	125
XL1520CXA	35	500-900	33	2000-4000	1.2	125
XL1850CXA	35	1400-2100	78	6000-9400	0.6	125
XL2590CXA	69	1200-1800	130	8000-15600	0.6	125

Альтернативою ефективного і безшумного охолодження світлодіодів при допомозі теплових труб є застосування термоелектричного охолодження [10].

Висновки до другого розділу

1. При експлуатації потужних світлодіодних ламп часто виникає необхідність просторово розділити джерело тепла та джерело холоду. Така ситуація виникає, коли світлодіод є складовою частиною потужної світлодіодної лампи з щільною упаковкою елементів, які знаходяться в замкнутому об'ємі. В цьому випадку необхідно розмістити світлоди на спеціальному теплопроводі, який би виносив надлишкову теплову енергію із зони генерації тепла і світла в зону охолодження.

2. Теплова труба (ТТ) є одним з найбільш ефективних пасивних методів охолодження СД. Причому, ефективність охолодження збільшується із збільшенням її довжини, периметра, коефіцієнта тепловіддачі і коефіцієнта теплопровідності. Застосування ТТ дозволить значно скоротити розміри і масу пасивної системи охолодження.

3. Система охолодження СД на базі теплової труби має вищу ефективність в порівнянні з мідним радіатором, що має ідентичний профіль і площу поверхні. Така перевага обумовлена рівномірним розподілом температури по поверхні ТТ, і ефективнішим відведенням теплової енергії.

4. Використання схеми охолодження на базі ТТ дозволить збільшити світловий потік світлодіода (збільшити потужність) без збільшення температури активної зони. Це дозволить зменшити кількість світлодіодів в світильнику і його вартість без скорочення терміну експлуатації.

5. ТТ мають відносно вузький діапазон ефективного використання. При перевищенні розрахункової температури вся охолоджуюча рідина може перейти в пару, і навпаки, при недостатній температурі рідина погано випаровується. Це призведе до різкого зниження теплопровідності системи охолодження СД з усіма негативними наслідками.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Будова і принцип дії теплової труби

Теплова труба - випарувально-конденсаційний пристрій, який працює по замкнутому циклу. Пристрій, являє собою запаяну з двох кінців трубу, всередині якої знаходиться невелика кількість рідини. При підведенні тепла до зони випаровування рідина переходить в пару. Тиск насичуючої пари в зоні випаровування різко підвищується, і вона почнає рухатися в зону з меншим тиском, відводячи тепло. В іншій частині труби пара конденсується, виділяючи при цьому тепло, і при допомозі гноту рухається в зону випаровування. В якості сил, які переміщують конденсат, виступають капілярні сили, що виникають при змочуванні робочою рідиною капілярно-пористого матеріалу - гноту. Необхідною умовою роботи є відведення тепла із зони конденсації. Перегрів в зоні випаровування неприпустимий. Внаслідок цього може настати криза кипіння (вся рідина випарується) і теплопередача піде по стінках ТТ. Циліндрична теплова труба з водою при $t = 50^{\circ}\text{C}$ матиме теплопровідність в тисячі разів більшу ніж мідь. Найбільш поширеним сучасним типом теплової труби є теплова труба Гровера. Вона - складається з трьох елементів: корпусу, теплоносія і капілярно-пористого матеріалу (КПМ, гноту). Корпус забезпечує: ізоляцію робочої рідини від зовнішнього середовища, герметичність, підведення і відведення теплоти від теплоносія, витримує перепад тисків між внутрішнім і зовнішнім середовищами. Переріз теплової труби може бути круглим або прямокутним. Мінімальний діаметр ТТ повинен бути таким, щоб внутрішній діаметр зони транспорту пари виключав дію капілярних сил, тобто щоб паровий канал не перетворився в капілярний.

Максимальний - принципів обмежень не має. В якості матеріалу зазвичай використовують нержавіючу сталь, алюмінієві сплави, мідь, скло, бронзу, пластмаси (гнучкі ТТ), кераміку (високотемпературні ТТ).

Капілярно-пористий матеріал (КПМ) - гніт. КПМ забезпечує переміщення рідини із зони конденсації в зону випаровування і рівномірно розподіляє її по всій зоні випаровування. Режим кипіння рідини в ТТ розглядати не будемо, тому що практично недосяжний для типових потужностей світлодіодів.

ТТ служить для відведення теплової енергії від важкодоступних теплонапружених елементів при малих градієнтах температури. Вона характеризується:

- високою ефективною теплопровідністю ($5000 \div 20000 \text{ Вт / (м К)}$);
- здатністю передавати теплову енергію на кілька порядків краще, ніж в пристроях, де цей процес відбувається за рахунок кондукції;
- ізотермічністю поверхні при низькому тепловому опорі;
- відносною простотою конструкції [10-12].

Будову і принцип дії теплової труби ілюструє рис. 3.1.

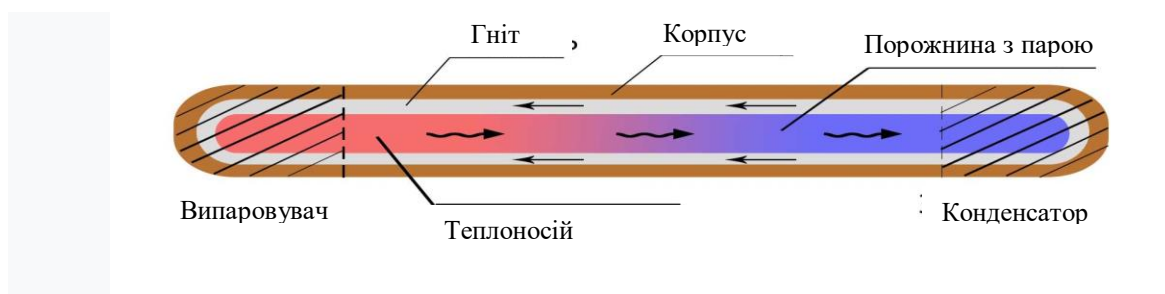


Рис 3.1 - Схематична будова теплової труби.

Переріз труби – може бути круглим або прямокутним. Мінімальний діаметр теплової труби повинен бути таким, щоб внутрішній діаметр зони транспортування пари виключав дію капілярних сил, тобто щоб паровий канал не перетворився в капілярний, максимальний - принципів обмежень не має. В якості матеріалу, як правило, використовують нержавіючу сталь, алюмінієві сплави, мідь, скло, бронзу, пластмаси (гнучкі ТТ), кераміку (високотемпературні ТТ). Капілярно-пористий матеріал (КПМ) – гніт забезпечує переміщення рідини із зони конденсації в зону випаровування і рівномірно розподіляє її по всій зоні випаровування.

Таблиця 3.1 - Теплопровідність матеріалів для виготовлення контейнерів теплових труб

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

Теплові труби є пристроями, які швидко переносять тепло з місць його генерації в місця охолодження. Ефективна теплопровідність теплової труби (відношення густини теплового потоку до спаду температури на одиницю довжини трубки) в десятки тисяч разів більша за теплопровідність [Cu](#), [Ag](#) або [Al](#), і досягає $\sim 10^7$ Вт/м·К. При цьому швидкість передачі тепла перевищує швидкість звуку. Теплові труби, як правило, застосовуються разом з іншими засобами охолодження.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики теплоносіїв для теплових труб

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

В останньому стовпці приведений масовий розхід теплоносія в тепловій трубі для відведення 1 кДж тепла. Очевидно, що його об'єм визначає можливість роботи труби при великих теплових потоках. Отже, для задовільної роботи в широкому інтервалі потужностей кількість теплоносія повинна бути великою. Але тепловий потік в тепловій трубі визначається не тільки кількістю теплоносія, але і кратністю його обертання та ефективністю відводу тепла від гарячого кінця. Звідси слідує, що для збільшення кількості тепла яке відводиться, потрібно збільшувати діаметр теплової труби. Це приводить до збільшення максимальної пропускної теплової потужності труби і до зменшення її теплового опору.

3.2. Класифікація теплових труб

Теплоносій повинен бути сумісним з матеріалом гноту і корпусу труби, добре їх змочувати, мати високу термічну стійкість і теплопровідність. Тиск парів рідини в робочому діапазоні температур не повинен надто високим або надто низьким, мати велику приховану теплоту пароутворення, низьку вязкість рідкої і парової фаз, великий коефіцієнт поверхневого натягу. При виборі теплоносія, для визначення здатності заповнення гноту використовується співвідношення [10].

$$Bo = \frac{\sigma}{\rho} \quad (3.1)$$

Данний параметр входить в критерій Бонда (Bo), який являє собою відношення сил гравітації до капілярних сил і характеризує здатність рідини рухатися в полі тяжіння. Величина Bo повинна бути мінімальною [13]. Вода переважає інші рідини по параметру Bo у всьому робочому діапазоні

температур. Для порівняння теплоносіїв використовується також критерій якості M [10, 11], або критерій Кунца [13], який визначає максимальну теплопередаючу здатність труби:

$$M = \frac{\sigma L \rho}{\mu}, \quad (3.2)$$

де σ - коефіцієнт поверхневого натягу,

ρ – густина теплоносія,

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості теплоносія,

L – питома теплота пароутворення.

Вода має незаперечні переваги завдяки великим значенням прихованої теплоти пароутворення і поверхневого натягу в порівнянні з теплоносіями органічного походження. Оскільки кипіння в пористій структурі може привести до блокування парами доступу рідини у випаровувач, бажано використовувати теплоносій з великим значенням параметра перегріву. Величина ΔT , при якій спостерігається утворення бульбашок визначається співвідношенням:

$$\Delta T = \frac{3.06 T_v \sigma}{L \rho_v \delta}, \quad (3.3)$$

де ρ_v - густина робочої пари,

δ - товщина теплового шару (для розрахунків береться 0.15 мм).

Нижче наведені найменші значення параметра перегріву для ряду теплоносіїв, розрахованого при робочій температурі пари $T_v = 60^\circ\text{C}$. Очевидно, що у води виникнення зародків пари при найбільшому перегріві найменш ймовірнеди. Вона визнана найкращим теплоносієм для системи охолодження потужних світлодіодів на базі теплових труб. При завершальному виборі враховувалася вартість води, доступність і технологічність операції заправки теплоносія. Щоб звести до мінімуму закупорку труби газами які не конденсуються, вода доводиться до високого рівня чистоти і ступеня дегазації. При виборі матеріалу корпусу слід брати до уваги його сумісність з водою для запобігання розкладання теплоносія, корозії і ерозії корпусу [10–12].

Таблиця 3.3 - Значення параметра перегріву деяких теплоносіїв

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

Мідь є оптимальним матеріалом, оскільки характеризується великою теплопровідністю, можливістю витримувати великий перепад тисків між внутрішньою порожниною і навколишнім середовищем, технологічністю (можливість зварки, простота механічної обробки, пластичність), змочуваність.

На рисунку 3.2 представлені гноти з різною капілярною структурою: порошковою, сітчастою і канавчатою. Призначення гноту – забезпечення капілярного напору для переміщення рідини із конденсатора у випаровувач, і відповідний її розподіл по всій зоні випаровування. Теплові труби з порошковим гнотом мають деякі обмеження в експлуатації.

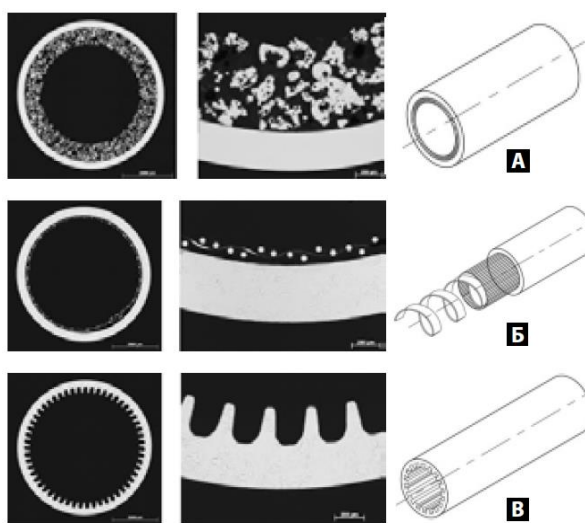


Рис 3.2 - Поперечні перерізи теплових труб з порошковою А, сітчатою Б, і канавчатою В структурами.

Наприклад, замерзання теплоносія приводить до руйнування ґноту і виходу з ладу спочатку труби, а потім і світлодіодів. Ґноти з канавчатою і сітчатою структурою працюють в широкому діапазоні температур. Вони вібростійкі і вигідно відрізняються низькою собівартістю. Їх і слід вибирати для створення системи охолодження потужних світлодіодів.

Теплопередаюча властивість теплової труби тим більша, чим більша товщина ґноту. Її тепловий опір збільшується в радіальному напрямку, що перешкоджає збільшенню здатності теплопередачі труби в цілому і зменшує допустиме теплове навантаження. Із зменшенням діаметра парового каналу обмеження по кипінню досягає одного порядку з капілярним. Ґніт теплової труби повинен постійно бути оптимально насиченим рідкою фазою теплоносія. Її недолік приводить до висихання зони випаровування, а надлишок до блокування зони конденсації.

Таблиця 3.4 - Технічні параметри теплових труб

Тип труби	Геометричні параметри мм			Корпус	Теплоносій	Ґніт	Теплопередаюча здатність Вт	Тепловий опір К/Вт
	L	d	H					
Кругла ТТ	100-400	3-12	-	мідь, алюміній, нерж.ст.	вода, аміак, орг.реч	спеч. порош. міді	до 80	0.03-0.80
Кругла ТТ	280	10		мідь	вода	сітка із нерж.ст	до 85	0.1-0.3
Плоска ТТ	100-300	100-300	1-3	мідь, алюміній, нерж.ст.	вода, аміак, орг.реч	спеч. порош. міді	до 20	0.1-0.5
Плоска	150	30	3	мідь	вода	сітка із	до 100	0.13-0.3

ТТ						нерж.ст		
----	--	--	--	--	--	---------	--	--

4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1. Конструювання пасивних систем охолодження світлодіодів

В процесі переносу теплової енергії існує три способи передачі тепла: теплопровідність, конвекція і випромінювання. При конструюванні світлодіодних ламп однією з найважливіших вимог є вибір адекватного способу відведення тепла від кристала світлодіода. Системи повітряного охолодження поділяються на такі що використовують пасивну і активну вентиляцію. Пасивна вентиляція є найбільш простим і поширеним способом охолодження компонентів освітлювальної системи.

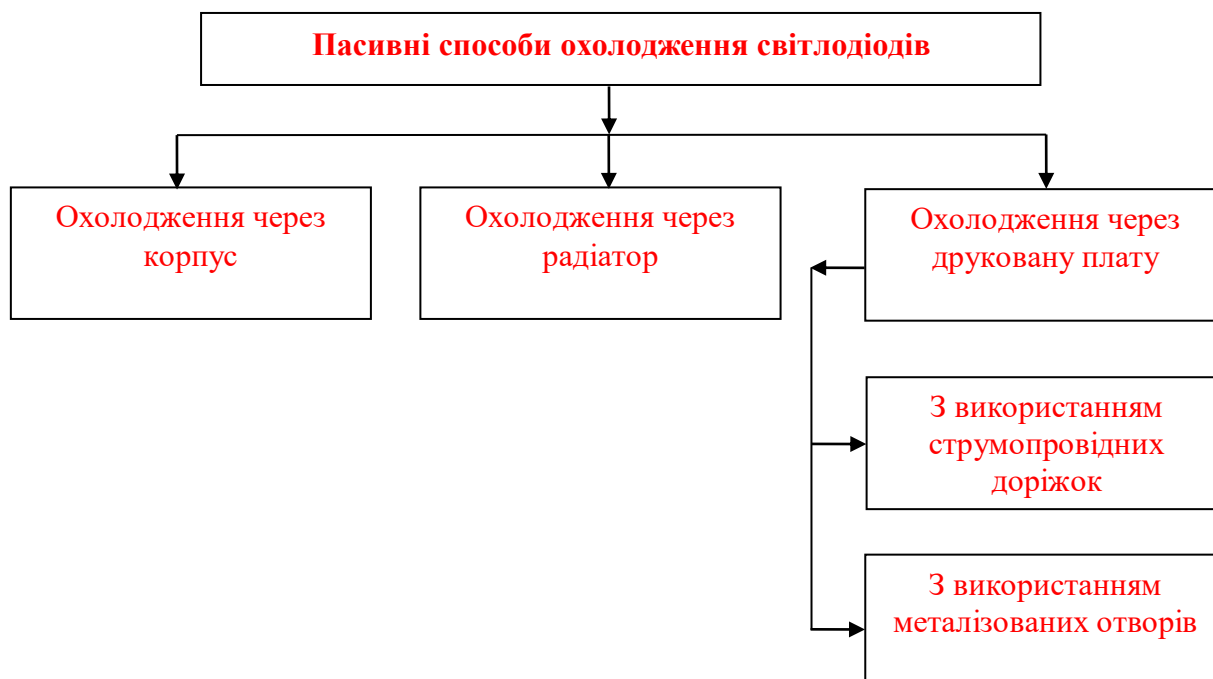


Рис. 4.1 - Класифікація способів пасивного охолодження світлодіодів

4.1.1 Охолодження через корпус

При пасивному повітряному охолодженні через корпус теплова енергія, яка виділяється при роботі освітлювального приладу, шляхом теплопровідності передається корпусу, а далі шляхом конвекції і випромінювання передається оточуючому середовищу. Цей спосіб охолодження є найдешевшим. Він не потребує додаткового устаткування і затрат енергії на роботу охолоджувальної системи. Однак він характеризується доволі низькою ефективністю.

4.1.2 Охолодження пасивним радіатором

Найпростіший спосіб охолодження світлодіодів, це пасивний тепловідвід із застосуванням радіаторів. Цей метод базується на явищах теплопровідності матеріалів і природій конвекції.

Розміри напівпровідникового кристала світлодіода занадто малі, щоб конвекція була достатньою для його охолодження. Конвекцію можна збільшити, якщо корпус світлодіода прикріпити до радіатора. Це багаторазово збільшить площу поверхні охолоджуваного елемента. Завдяки теплопровідності тепло від корпусу світлодіода передається масивному металевому радіатору. Радіатори розрізняються за матеріалом, за способом виготовлення і за конструкцією. За матеріалом прийнятніші пристрої, виконані з кольорових металів, - алюміній, мідь та їх сплави (оскільки ці метали мають найбільшу теплопровідність). За конструктивним виконанням розрізняють голчасті, пластинчаті або ребристо-пластинчаті радіатори. Голчасті краще функціонують при природній конвенції. Інші типи слід застосовувати при примусовому обдуванні повітрям. За способом виробництва прийнято розрізняти радіатори:

- виконані методом гарячого порошкового пресування;
- виготовлені фрезеруванням з цілісного шматка металу;
- складчасті (зроблені з тонкої металевої стрічки, складеної в „гармошку”);
- отримані методом холодної ковки;
- складені (виконані з елементів, виготовлених за різними технологіями і з різних металів).

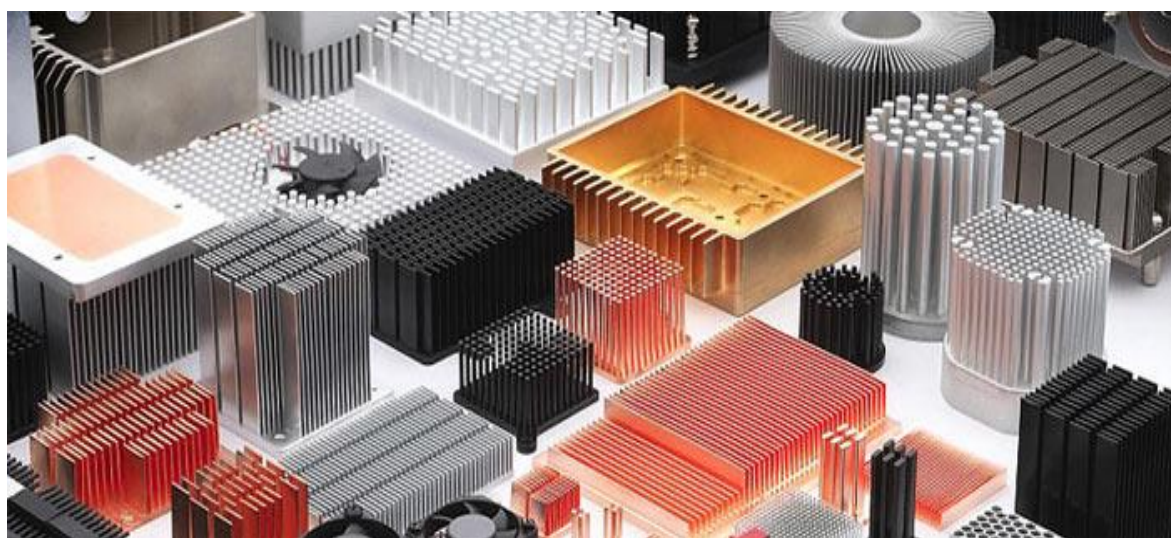


Рис.4.2 - Зовнішній вигляд радіаторів для конвективного охолодження світлодіодів

За ефективністю тепловідводу, на перше місце треба було б поставити радіатори отримані фрезеруванням, потім складені, складчасті й усі інші. Приблизно в тому ж порядку змінюється вартість радіаторів.

Таблиця 4.1 - Теплопровідність деяких матеріалів

Матеріал	Теплопровідність, $Вт/(м \cdot К)$
Повітря	0.024
Термопаста/епоксидні смоли	0.1...10
Вода	0.58
Теплопровідні полімери	3...20
Нержавіюча сталь	16
Кераміка	15...40; 100...200
Алюміній	120...240
Мідь	401

Часто до світлодіодних світильників пред'являються досить серйозні вимоги по габаритах, внаслідок чого може виникнути потреба в проектуванні радіатора під конкретні вимоги. При проектуванні радіатора потрібно врахувати вагу кінцевого виробу, вартість, теплові параметри, можливість подальшого виробництва. Зазвичай використовуються литі або ковани алюмінієві радіатори. Анодований алюмінієвий радіатор має більший коефіцієнт випромінювання. Проектування радіатора може бути досить складною справою, в якій необхідно враховувати габаритні обмеження, вартість, вагу, можливість серійного виробництва. Нижче дано кілька рекомендацій з проектування радіаторів:

- площа поверхні радіатора повинна бути максимально великою, в якості грубої оцінки можна взяти наступне припущення - на 1Вт розсіяного тепла потрібно радіатор площею 32...65 см²;

- для забезпечення інтенсивного потоку повітря між його ребрами необхідно добре уявляти як буде кріпитися світлодіодний світильник; необхідно використовувати радіатори з хорошим коефіцієнтом випромінювання, зокрема, анодування різко збільшує коефіцієнт випромінювання тепла алюмінієвого радіатора.

4.2 Конструювання систем охолодження на базі активного радіатора

При розсіюванні потужностей більших 15...20 Вт або при необхідності оптимізації розмірів тепловідведення радіатор можна доповнити елементом примусового повітряного обдуву. Найбільш типове рішення - доповнення радіатора з вентилятором. Вентилятор в залежності від способу застосування може покращити тепловідвід на 40%. Для цього використовують спеціально розроблені голчасті радіатори. Постачальники радіаторів для світлодіодів вказують графічні залежності теплового опору виробів в документації до них. Користуючись наданими виробником графіками, по розрахункових значеннях теплового опору користувач може визначити параметри радіатора для конкретного застосування.

Графічна залежність теплового опору конкретного радіатора в залежності від швидкості потоку повітря представлена на рисунку.



Рис. 4.3 - Залежність теплового опору радіатора від швидкості потоку повітря v (м/с)/

Таблиця 4.2 - Способи активного охолодження світлодіодів

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.

Однак, вентиляторне охолодження пов'язане з шумом. Електродвигун і сам вентилятор створюють звукові хвилі, які небажані в багатьох випадках. Наприклад, при освітленні житлових приміщень, концертних залів, учбових аудиторій і т.п. Проте, в даний час існує ряд методів вентиляції, які передбачають використання низькооборотних електродвигунів на радіаторі з використанням спеціального кронштейна оснащеного гумовими опорами. Гумове кріплення послаблює механічний зв'язок, перешкоджає поширенню звукових хвиль і зменшує шум. Високоякісні вентиляторні електродвигуни мають суттєво меншу частоту відмов, а їх середній термін експлуатації складає прилизно 200 тис. годин, що переважає розрахунковий термін експлуатації світлодіода. Деякі електродвигуни передбачають можливість керування за допомогою широтно імпульсної модуляції і тому особливо добре підходять для використання в вентиляторах. До інших переваг активної вентиляції, крім можливості роботи при низьких температурах, є менше забруднення повітря

пиллом, а також більш однорідний розподіл тепла при частому вмиканні і вимиканні.



Рис. 4.4 - Активне охолодження світлодіодної матриці при допомозі радіатора і вентилятора

Для створення якісного теплового контакту між світлодіодом і радіатором або між друкованою платою і радіатором необхідні спеціальні теплопровідні прокладки. Крім створення надійного теплового контакту деякі прокладки, в залежності від дизайну охолоджуючої системи, можуть виконувати й інші функції, зокрема ізоляцію електричних вузлів схеми або створення механічного кріплення. Нижче в таблиці представлені характеристики основних теплопровідних матеріалів. При виборі теплопровідного матеріалу необхідно врахувати не тільки величину теплопровідності, але і багато інших параметрів. Часто не беруть до уваги товщину клейового шару матеріалу. Але, як впливає з формули наведеної нижче, тепловий опір безпосередньо залежить від цього параметра. Виробники теплопровідних матеріалів надають інформацію про основні параметри в документації, і для правильного вибору теплопровідного матеріалу дуже

важливо розуміти вплив кожного з цих параметрів на роботу системи охолодження в цілому.

Таблиця - 4.3. Характеристики теплопровідних матеріалів

Теплопровідний матеріал	Переваги	Недоліки
Термопасти	Велика об'ємна теплопровідність, мала товщина шару клею, низка 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, нема 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 термоклей
Термоклей	Добре заповнюють нерівності поверхні	Необхідний процес очищення

Іноді більш тонкий клейовий шар з поганим значенням теплопровідності має більш низький тепловий опір в порівнянні з більш товстим шаром, але з кращою теплопровідністю. Обидві ці умови необхідно враховувати при виборі матеріалів.

4.3 Конструювання систем охолодження на базі теплових труб

4.3.1 Конструювання систем охолодження на базі теплових труб та пасивного радіатора

Теплові труби є пристроями, які швидко переносять тепло з місць його генерації в місця охолодження. Завдяки використанню для передачі теплового потоку прихованої теплоти пароутворення ефективна теплопровідність теплової труби (відношення густини теплового потоку до спаду температури на одиницю довжини труби) в десятки тисяч разів більша за теплопровідність [Cu](#),

\underline{Ag} або \underline{Al} , і досягає $\sim 10^7$ Вт/мК. Швидкість передачі тепла перевищує швидкість звуку.

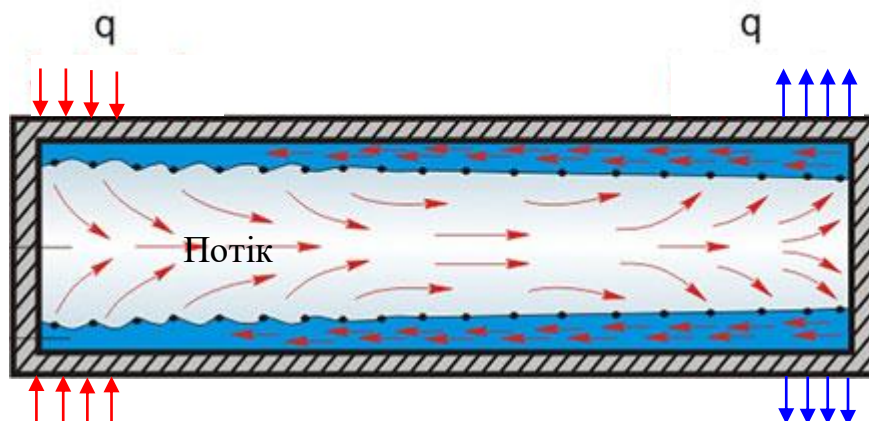


Рис. 4.5 - Схематична будова теплової труби

Теплові труби широко використовуються в якості базового елемента систем автоматичної терморегуляції електронних пристроїв. До основних переваг теплових труб в порівнянні з традиційними елементами теплопередаючих систем відносяться:

- простота конструкції;
- відсутність рухомих деталей і безшумність роботи;
- малі масогабаритні характеристики;
- відсутність витрат енергії на переміщення теплоносія;
- надійність роботи;
- висока еквівалентна теплопровідність.

Теплові труби мають великий діапазон робочих температур, і ресурс роботи більше 20000 годин, що робить їх високоефективною і надійною технічною системою.

Система охолодження світлодіодів на базі теплової труби зображена на рис. 3.3. Розглядувана система охолодження являє собою оребрений пустотілий циліндр висотою 23 см, і діаметром 17 см виготовлений із алюмінієвого сплаву. В нижній частині конструкції встановлені світлодіоди (7 кластерів по 7 світлодіодів) рис. 1. Споживана світильником електрична потужність складає

196 Вт, теплова потужність — 147 Вт. Температура поверхні монтажу світлодіодів не перевищує 90°C при температурі навколишнього середовища до 35°C . Система охолодження працює як тепла труба.



Рис. 4.6 - Система охолодження світлодіодів на базі теплових труб та пасивного радіатора



Рис 4.7 - Система охолодження світлодіодів на базі теплових труб та пасивного радіатора

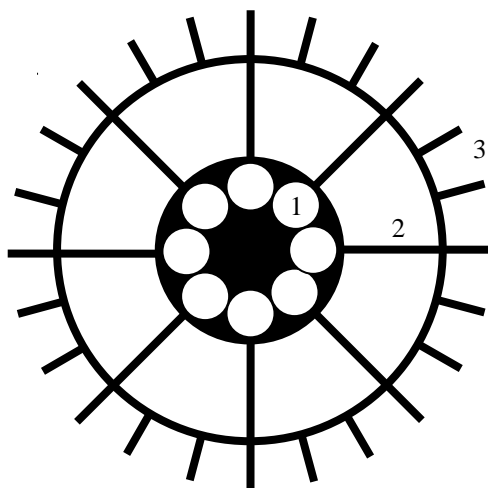


Рис. 4.8 - Система охолодження світлодіодів на основі радіальних теплових труб та пасивного радіатора. 1- світлодіоди, 2 – теплові труби, 3 – радіатор.

4.3.2 Конструювання систем охолодження на базі теплових труб та активного радіатора

Для охолодження теплові труби самостійно не застосовуються. Вони використовуються разом з іншими засобами охолодження - радіаторами. Якщо для відводу тепла пасивного охолодження недостатньо, то потрібно використовувати активне охолодження.

Існує безліч варіантів активного охолодження - від вентиляторів до водяного охолодження. Якщо застосування активного охолодження неминуче, слід врахувати те, що світлодіоди можуть працювати протягом десятків тисяч годин.

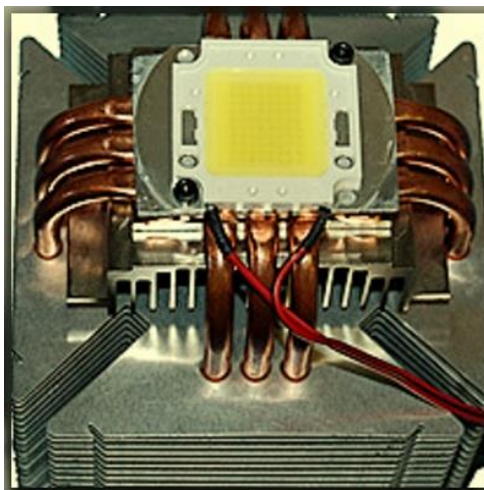


Рис. 4.9 - Система охолодження світлодіода SMA1516 на базі теплових труб та активного радіатора

Тому слід передбачити наявність системи захисту світлодіодів від перегріву в разі виходу з ладу пристроїв активного охолодження. Інакше їх вихід з ладу практично відразу ж спричинить вихід з ладу світлодіода через перегрів. Крім терміну служби, важливими параметрами є ефективність, надійність, низький рівень шуму, ціна, зручність при обслуговуванні, споживана потужність. Найчастіше пристрої активного охолодження вимагають додаткового живлення, це призводить до зниження ККД системи в цілому.

Компанії виробники для забезпечення ефективної і надійної експлуатації світлодіодного пристрою забезпечують необхідне відведення тепла від гарячої сторони світлодіода в оточуюче середовище. В залежності від величини потужності що відводиться, використовуються декілька можливих способів.

Термін служби світлодіода залежить від напівпровідникового матеріалу що використовується, а також від відношення струму світлодіода до кількості тепла що виділяється. Нагрів буде тим більшим, чим більшою буде потужність світлодіода.

Таблиця 4.4 - Характеристики систем охолодження на основі різних теплових труб та стержнів

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

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1. Світлодіоди для систем освітлення

В розділі наведена інформація про основні параметри світлодіодних матриць серій СХА і СХА2 (СХВ). Особливістю цих матриць є висока питома щільність світлового потоку, що дозволяє при мінімальних витратах реалізувати як окремі світильники, так і системи освітлення різного призначення. До складу серії СХА2 входять світлодіодні матриці XLamp СХА2 Studio з високим індексом передачі кольору. Вони призначені для застосування у фотографії, кінематографії і телебаченні.

Світлодіодні матриці СХА і СХА2 з білим кольором свічення є найбільш потужними приладами освітлювального класу, в яких поєднуються:

- велика світловіддача;
- високий ККД;
- зручність застосування.

Конструкція матриць оптимізована для спрощення конструкції світильників та зниження собівартості систем освітлення. Витрати на розробку і габарити світильників, побудованих на основі світлодіодних матриць, істотно менші, від аналогічних світильників на дискретних світлодіодах.

Світловий потік найменших за розміром матриць серії СХА становить близько 300÷1000 лм, а найбільших - понад 17000 лм. Це сприяє їх оптимальному вибору як для застосування в світильниках промислового обладнання, так і в системах освітлення вулиць, площ, складів та ін. В більш пізніх модифікаціях матриць серії СХА2 (СХВ) максимальний світловий потік збільшений до 18000 лм. Випускаються матриці серії СХА з колірною

температурою 2700, 3000, 3500, 4000, 5000, 5700 і 6500 К за стандартом ANSI, а також 4000 і 5000 К - за класифікацією EasyWhite.

Нова лінійка світлодіодних матриць сімейства СХА2, що випускається компанією Cree, дозволяє знизити вартість пристроїв і систем освітлення та підсвічування завдяки підвищеній енергоефективності цих виробів. Матриці виготовляються по карбідокремнієвій технології SC5 Technology™. У складі серій є світлодіоди з індексом передачі кольору (CRI) більше 95.

Колірна температура матриць СХА2 варіюється від 2700 до 6500 К, а індекс передачі кольору (CRI) становить 70, 80 або 90. За форм-фактору вони повністю ідентичні светодиодам СХА.

Світлодіоди серії СХА можна умовно розділити на три групи:

Світлодіоди серії СХА можна умовно поділити на три групи:





- світлодіоди з великою густиною світлового потоку [1];
- світлодіоди із стандартною густиною світлового потоку [2,3];
- світлодіоди із діаметром випромінювача до 14 мм;
- світлодіоди із діаметром випромінювача понад 14 мм.

5.2 Порівняльна характеристика світлодіодних матриць





Параметри світлодіодних матриць серії СХА з високою щільністю світлового потоку (HD) наведені з табл. 3.1, а зі стандартною щільністю світлового потоку - в табл. 5.2 і табл.5.3.

Для більшості матриць цієї серії компанія Cree надає результати випробувань, проведених протягом 6000 годин, як регламентовано документом LM-80. При цьому розрахований за методикою TM-21 термін їх служби L90 (навіть при температурі 105 ° C) перевищує 4 роки безперервної роботи. Області застосування світлодіодів серії СХА: спотові і трекові світильники для систем зонального освітлення ретрофитніе лампи спрямованого і ненаправленого світла, в тому числі PAR-лампи (Parabolic Anodized Reflector-з параболічним анодованим рефлектором) замість ламп розжарювання, люмінесцентних та металогалогенних ламп та ін.




Таблиця 5.1 - Параметри світлодіодів серії СХА з високою густиною світлового потоку.

Параметр				
Тип світлодіоду	CXA1310	CXA1520	CXA1850	CXA2590
Розміри, мм	13.35*13.35	15.85*15.85	17.85*17.85	23.85*23.85
Діаметр випромінювача, мм	6	9	12	19
Світловий потік, лм	900...2000	1000...3800	2000...8300	5900...13500
Пряма напруга, В	17.8 35.6	35	35	69
Прямий струм, А (тип.)	0.7 0.35	0.5	1.4	1.2
Прямий струм, А (макс.)	1.05 0.525	0.9	2.1	1.8
Споживана потужн., Вт(тип/макс)	12.5/20	17.5/33	42/78	83/130

Таблиця 5.2 - Параметри світлодіодів серії CXA з діаметром випромінювача до 14мм.



Параметр				
Тип світлодіода	CXA 1304	CXA 1507	CXA 1510	CXA 1512
Розміри, мм	13.35*13.35	15.85*15.85		17.85*17.85
Діаметр випромінювача, мм	6	9		12
Світловий потік, лм	250...1050	500...1700	500...1900	1000...2500
Пряма напруга, В	9.0 18 36	17.5/35		18.2/36.4
Прямий струм, А (тип.)	0.4 0.2 0.1	0.4/0.2	0.5/0.25	0.7/0.35
Прямий струм, А (макс.)	1 0.5 0.25	0.75/0.35	0.9/0.45	1.2/0.6
Споживана потужність, Вт (тип/макс)	3.7/10	7.3/14	9/16	13/24

Таблиця 5.3 - Параметри світлодіодів серії CXA з діаметром випромінювача понад 14мм.

Параметр							
Тип світлодіода	CXA2520	CXA2530	CXA2540	CXA3050	CXA3070	CXA3590	
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	
Пряма напруга, 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





Для світлодіодних матриць серії СХВ збільшення ефективності ($лм/Вт$) для кожної серії в порівнянні з матрицями першого покоління складає в середньому 15 ... 20% при номінальному струмі управління і до 33% - при максимальному. Параметри світлодіодних матриць серії СХВ з високою щільністю світлового потоку (HD) наведені в табл. 3.4 [4]. Порівнюючи параметри HD-матриць СХА і СХВ, можна переконатися в тому, що при схожих значеннях споживаної потужності нові матриці забезпечують істотно більший світловий потік. Номінальні струми в матрицях обох серій однакові, а ось максимальні в серії СХВ більше приблизно в 1.3 рази.

Таблиця 5.4 - Параметри світлодіодних матриць серії СХВ з високою густиною світлового потоку




Параметр		
Тип світлодіода	CXB1310	CXB1520
Розміри, мм	13.35*13.35	15.85*15.85
Діаметр випромінювача, мм	6	9
Світловий потік, лм	1000...3400	1800...6500
Пряма напруга, В	16.5	33
Прямий струм, А (тип.)	0.7	0.35
Прямий струм, А (макс.)	1.4	0.7
Споживана потужність, Вт(тип/макс)	12.6/24	16.5/49

В табл. 5.5 і табл.5.6 наведені параметри матриць СХВ із стандартною густиною світлового потоку [5, 6].

Таблиця 5.5 - Параметри світлодіодів серії СХВ з діаметром випромінювача до 14мм

Параметр				
Тип світлодіода	CXB1304	CXB1507	CXB1512	CXB1816
Розміри, мм	13.35*13.35	15.85*15.85		17.85*17.85
Діаметр випромінювача, мм	6	9		12
Світловий потік, лм	300... 1100	600... 1950	600... 3100	1400... 4500
Пряма напруга, В	8.6	17.3	34.5	17.3/34.5
Прямий струм, А (тип.)	0.4	0.2	0.1	0.4/0.2
Прямий струм, А (макс.)	1	0.5	0.25	0.75/0.35
Споживана потужність, Вт(тип/макс)	3.5/10	7/14	12/22	16/34

Таблиця 5.6 - Параметри світлодіодів серії СХВ з діаметром випромінювача понад 14мм

Параметр						
Тип світлодіода	CXB520	CXB2540	CXB3050	CXB3070	CXB3590	
Розміри, мм	23.85*23.85		27.35*27.35		34.85*34.85	
Діаметр випромінювача, мм	19		23		30	
Світловий потік, лм	2500... 8000	3500... 9600	5500... 12500	4000... 14000	8000... 18000	
Пряма напруга, В	35	34.8	34.8	36	36	72
Прямий струм, А (тип./макс)	0.8/1.6	1.1/2.1	1.4/2.5	1.9/2.8	2.4/3.6	1.2/1.8
Споживана потужність, Вт(тип/макс)	28/61	39/79	49/93	69/107	87/137	87/137

Порівнюючи параметри матриць з таблиць 2 і 3 (СХА) з даними табл. 5.5 і табл 5.6 (СХВ) нескладно помітити, що потужність, яка розсіюється матрицями серії СХВ, трохи менша ніж у матриць серії СХА, а от максимальний світловий потік істотно більший. Оскільки матриці серії СХВ мають таке ж конструктивне виконання і габаритні розміри, як і серії СХА, то цим забезпечується сумісність рефлекторів, радіаторів та інших аксесуарів для обох серій світлодіодних матриць.

З огляду на те, що технології виготовлення підкладки і люмінофора для світлодіодних матриць СХА і СХВ однакові, стандарт LM-80 допускає використання існуючих для світлодіодів серії СХА даних випробувань на деградацію світлового потоку для прогнозування терміну служби матриць СХВ.

Для застосування на телебаченні і в кінематографії компанія Cree розробила матриці XLamp CXA2 Studio LED, які оптимізовані для зйомок кінофільмів і фотографії [7]. Індекс CRI 90+ для колірних температур 5700 ... 3000 К відповідає калібрувальним колірним температурам ПЗС-матриць які використовуються в фото та відеотехніці.



Рис. 5.1 - Світлодіодна матриця XLamp® CXA2 Studio

Основні характеристики XLamp CXA2 Studio приведені нижче:

- білий колір світіння з колірною температурою 5600 і 3200 К, індекс CRI дорівнює 90+;
- пряме падіння напруга 36 або 72 В;
- максимальний струм 3.6 А (36 В) і 1.8 А (72 В);
- кут випромінювання 115 °;
- наявність точки кріплення термопари;
- габаритні розміри 34.85'85 мм.;

У табл. 3.7 наведені значення індексу CRI і світлового потоку для XLamp CXA2 Studio.

Таблиця 5.7 - Залежність світлового потоку матриць XLamp CXA2 Studio від температури

Колірна температура, К	Індекс CRI		Мінімальний світловий потік, лм		
	мін.	макс.	Група	при t=85C	при t=85C
5600	93	95	BB	9500	10545
3200			BD	10000	11100
			AB	8500	9435
			AD	9000	9900

Графік відносної спектральної потужності матриці XLamp® CXA2 Studio приведені на рис. 5.2.

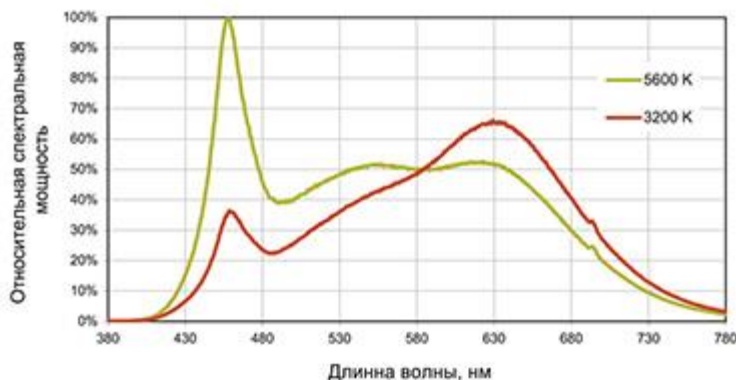


Рис. 5.2 - Графік залежності відносної спектральної потужності матриці XLamp CXA2 Studio

Компанія Cree розробила рекомендації щодо застосування світлодіодних матриць серії CXA і CXB [8], в яких наведено приклади кріплення світлодіодів на радіаторах (рис. 3.3), точки вимірювання температури кристала, приклади кріплення світлодіодів на різних радіаторах тощо.

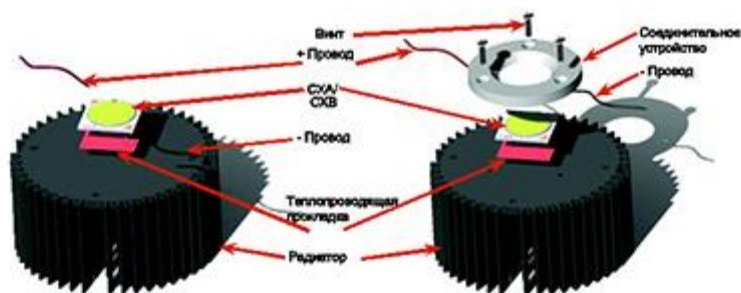


Рис. 5.3 - Приклади кріплення світлодіодних матриць серії CXA і CXB на радіаторах.

Дотримання рекомендацій дозволяє забезпечити гарантовані компанією Cree параметри матриць і забезпечити тривалий термін їх безвідмовної експлуатації. На рис. 3.4 наведені деякі типи з'єднувачів і рефлекторів, які рекомендує компанія Cree для створення світильників різного призначення з використанням матриць CXA і CXB.



Рис.5.4 - З'єднувачі і рефлектори для матриць СХА і СХВ

6.1 Соціально-економічна ефективність нової техніки

Управління виробництвом, як процес безперервної і планомірної дії на колектив людей з метою організації їх виробничої діяльності, завжди пов'язане з виробленням і виконанням певних рішень, що складають вихідну управлінську функцію. Серед останніх особливе місце займають інженерні рішення. Їх можна віднести до професійних рішень, тобто до рішень найбільш високого класу, що підготовлені інженерними кадрами на основі наукового аналізу і узагальнення відповідної інформації. Рішення, що приймаються суб'єктами управління, повинні відповідати певним вимогам. Останні зводяться до того, що кожне інженерне рішення повинно бути науково обґрунтованим, своєчасним, погодженим по всіх елементах, таким що не суперечить раніше прийнятим рішенням, чітко і ясно викладеним.

Створення, освоєння випуску і застосування нової техніки в кінцевому підсумку завжди переслідує конкретні економічні й соціальні цілі. Тому використовується категорія соціально-економічної ефективності нової техніки, що виражає співвідношення корисного соціально-економічного результату і затрат суспільної праці для його досягнення. Соціально-економічний ефект включає два взаємопов'язаних ефекти: економічний і соціальний. Економічний ефект нової техніки характеризується підвищенням якості засобів виробництва і предметів споживання, економією всіх видів ресурсів, зниженням собівартості продукції, ростом прибутків.

Соціальні результати використання нової техніки виражаються у покращенні умов праці і побуту працюючих, посиленні творчого характеру трудових процесів, охорони здоров'я людини і навколишнього середовища.

Економічний ефект служить матеріальною основою для виявлення різноманітних соціальних результатів нової техніки. В цей же час вирішення за допомогою нової техніки соціальних проблем розвитку суспільства впливає на

ріст економічних результатів виробництва (підвищення продуктивності праці й якості продукції, краще використання суспільних ресурсів).

Економічний та соціальний ефекти від впровадження нової техніки та технологій можуть мати різноплановий характер, наприклад, досягнення суттєвого економічного ефекту може супроводжуватися негативною дією на навколишнє середовище. Це потрібно враховувати при проведенні економічного обґрунтування і оцінці технічних нововведень. Тобто технікоекономічна оцінка продукції без урахування соціального ефекту не може вважатись достатньою для прийняття рішення про впровадження нової техніки чи технологій.

6.2 Економічний ефект і період додаткових капіталовкладень в напівпровідникові системи освітлення

Розрахунок експлуатаційних витрат проведено для варіантів систем освітлення:

а) на основі світильника ЖСП-07 ВОТ 600 з лампою потужністю 600 Вт — базовий варіант;

б) на основі світильника ATLANT INDUSTRY LED з світлодіодними модулями потужністю 270 Вт.

В розрахунку відображені статті витрат: матеріальних ресурсів, енергетичних ресурсів та обслуговування обладнання.

Річний розхід електроенергії розраховується за формулою:

$$PE = P_n \cdot N_{св} \cdot P\Phi \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (6.1)$$

де P_n - номінальна потужність світлодіодної лампи;

$N_{св}$ — загальна кількість світлодіодних ламп.

Річні витрати на електроенергію визначаємо за формулою:

$$BE = PE \cdot Ц_k, \quad (6.2)$$

де C_k - ціна однієї $kВт\cdot год$, грн.

Розрахунок витрат на електроенергії приведений в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Річні витрати на електроенергію

Параметри системи освітлення	<i>CO1 600 Вт ЕПРА</i>	<i>CO2 270 Вт</i>
Загальна кількість світильників, шт.	16	30
1	2	3
1	2	3
Активна потужність світильника, Вт	660	270
Річний фонд роботи системи, годин	3500	3500
Річний розхід електроенергії, кВт·год	36960	24427
Ціна кВт·год електроенергії, грн.	0,9318	0.9318
Річні витрати на електроенергію, грн.	34 439.33	22 761.01

Повні капіталовкладення в обладнання розраховуємо за формулою:

$$ПК = (C_{св} + C_{л}) \cdot N_{св} \cdot (1 + K_{мм}), \quad (6.3)$$

де $C_{св}$, - оптова ціна світильника;

$C_{л}$ — оптова ціна лампи;

$K_{мм}$ — коефіцієнт, що враховує транспортно-монтажні витрати, $K_{мм} = 0,1$.

Визначення повних капіталовкладень приведена в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - Капіталовкладення в обладнання систем освітлення

Капіталовкладення в обладнання	<i>CO1 600 Вт ЕПРА</i>	<i>CO2 270 Вт</i>
--------------------------------	----------------------------	-----------------------

Кількість світильників, шт	16	30
Ціна світильника, грн.	1014	2 075
Кількість ламп, шт	16	-
Ціна лампи, грн.	400	-
$K_{тм}$	0.1	0,1
Всього, грн.	24 886	68 475

Додаткові капіталовкладення, які необхідні для варіантних систем освітлення, знаходимо як різницю між варіантними і базовими

$$\Delta K = K_{\epsilon} - K_{\delta}, \quad (6.4)$$

де K_{δ} - капіталовкладення в базову систему освітлення;

K_{ϵ} - капіталовкладення у варіанту систему освітлення.

Тоді строк окупності додаткових капіталовкладень можна визначити за формулою:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{\Delta E}, \quad (6.5)$$

де ΔE — річний економічний ефект.

Всі отримані дані стосовно економічної ефективності додаткових капіталовкладень в варіантні системи освітлення заносимо в табл. 6.3.

Як видно з табл. 6.3 світлодіодна система освітлення CO2 повертає додаткові капіталовкладення за 3.73 року. З цього часу витрати на базовий варіант перевищать додаткові капіталовкладення і почнеться пряма економія матеріальних ресурсів.

Таблиця 6.3 - Показники економічної ефективності додаткових капіталовкладень

Економічний ефект і строк окупності додаткових капіталовкладень	CO1 600 Вт ЕПРА	CO2 270 Вт
Капіталовкладення в обладнання, грн.	24 886	94 875
Додаткові капіталовкладення, грн.	-	43 589
Річні експлуатаційні витрати, грн.	34 439,33	22 761.01
Зміна річних експлуатаційних витрат, грн.	-	11 678.32
Річний економічний ефект, грн.	-	11 678.32
Строк окупності, років	-	3.73

7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Охорона праці

7.1.1 Інфрачервоне випромінювання та особливості його дії на організм людини

До інфрачервоних випромінювань належать електромагнітні випромінювання (ЕМВ) невидимої частини спектра, що знаходяться в діапазоні довжини хвилі $\lambda=0.78-1000$ мкм.

Джерелом інфрачервоного випромінювання є будь-яке тіло, температура поверхні якого перевищує температуру абсолютного нуля (-273°C). Спектральний склад випромінювань інфрачервоного діапазону залежить від температури поверхні тіла. Чим вища температура тіла, тим коротша довжина випромінюваної електромагнітної хвилі. Вплив інфрачервоного випромінювання на людину залежить від довжини хвилі, що випромінюється, й

від глибини проникнення променів. В залежності від цього інфрачервоне випромінювання поділяють на три ділянки: А, В, С.

А – ближня (короткохвильова) – характеризується високою проникністю крізь шкіру $\lambda=0.78-1.4$ мкм;

В – середня (середньохвильова) – поглинається шарами дерми та підшкірною жировою тканиною $\lambda=1.4-3.0$ мкм;

С – далека (довгохвильова) – поглинається епідермісом $\lambda=3.0-1000$ мкм.

Інфрачервоне випромінювання, що потрапляє на тіло людини, впливає, перш за все, на незахищені його ділянки (обличчя, руки, шию, груди, очі). Основним його проявом є тепло, яке проникає на деяку глибину в тканини. Тіло людини може витримувати інфрачервоне випромінювання певної густини потоку енергії, яка вимірюється в $\text{Вт}/\text{м}^2$. Так, при густині потоку випромінювання $280-260 \text{ Вт}/\text{м}^2$ відчувається ледь помітне тепло. Його людський організм може витримувати тривалий час без будь-яких змін у функціональному стані. При густині потоку випромінювання $560-1050 \text{ Вт}/\text{м}^2$ настає межа, коли людина не витримує дії інфрачервоного випромінювання. Знаходження людини протягом тривалого періоду часу в зоні інфрачервоного випромінювання такої потужності, як і при дії високих температур, впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему (збільшується частота серцебиття, змінюється артеріальний тиск, прискорюється дихання), порушує тепловий баланс в організмі, що призводить до посиленого потовиділення, втрати необхідних для організму людини солей. Діючи на очі, інфрачервоне випромінювання викликає помутніння кришталика, опік сітківки, кон'юнктивіти. Нормована допустима густина потоку енергії інфрачервоного випромінювання на робочому місці залежить від місця куди падає випромінювання.

Для ділянки А нормована густина потоку енергії не повинна перевищувати $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при опроміненні 50% тіла і більше.

Для ділянки В - $120 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при опроміненні поверхні тіла в межах 25-50%.

Для ділянки С - 150 Вт/м^2 , якщо опромінюється не більше 25% поверхні тіла.

Для захисту людини від інфрачервоного випромінювання при перебуванні в приміщеннях з установками для імпульсного опромінення рослин використовують декілька способів.

Захист відстанню. Цей спосіб полягає в тому, що при віддаленні від джерела випромінювання густина потоку енергії зменшується пропорційно відстані до нього.

Захист часом передбачає обмеження перебування людини в зоні інфрачервоного випромінювання.

Теплоізоляція джерела випромінювання передбачає застосування конструкторських та технологічних рішень, направлених на теплоізоляцію випромінювальної поверхні матеріалами (скловата, цегла), що знижують температуру поверхні випромінювання.

Екранування джерела випромінювання полягає у використанні непрозорих або напівпрозорих екранів, які можуть бути відбиваючими або теплопоглинаючими. Для охолодження використовують водяні завіси з водяної плівки.

Індивідуальні засоби захисту: спецвзуття, спецодяг, який витримує високі температури і захищає від інфрачервоних випромінювань, який водночас є м'яким і повітронепропускним (брзент, сукно). Для захисту очей використовують спеціальні окуляри зі скельцями жовто-зеленого або синього кольору.

7.1.2 Дія електромагнітного випромінювання на організм людини

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання, а також на населення, яке мешкає поблизу джерел випромінювання. Тому в діапазоні промислових частот (у тому числі 50 Гц) допустимо розглядати вплив на біологічний об'єкт електричної і магнітної складових електромагнітного поля роздільно. В будь-

якій точці ЕМП промислової частоти енергія магнітної складової поля, яка поглинається тілом людини, майже в 50 разів менша від енергії електричної складової цього поля. Це дає змогу зробити висновок, що в діапазоні промислових частот дією магнітної складової поля на біологічний об'єкт можна знехтувати. Тобто, негативний вплив на організм обумовлений лише електричною складовою поля.

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань на організм людини залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму.

У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинну систему.

У більшості випадків такі зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи мають зворотній характер, але в результаті тривалої дії вони накопичуються, підсилюються з плином часу, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та поліпшенні умов праці. Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень та захворювань.

На початку 60-х років у науково-технічній літературі з'явилися перші відомості про те, що люди, опромінені імпульсом НВЧ коливань, можуть постійно чути якийсь звук. Залежно від тривалості та частоти повторень імпульсів цей звук сприймається як щebet, цвірінчання чи дзюркіт у деякій точці всередині чи зовні голови. Це явище викликало інтерес вчених, які розпочали систематичні дослідження на людях та тваринах.

Сумісну дію випромінювань широкого діапазону можна класифікувати як окрему радіохвильову хворобу. Тяжкість її наслідків знаходиться у прямій залежності від напруженості ЕМП, тривалості впливу, фізичних особливостей різних діапазонів частот, умов зовнішнього середовища, а також від

функціонального стану організму, його стійкості до впливу різних чинників можливостей адаптації.

У результаті дії на організм людини електромагнітних випромінювань в діапазоні 30 кГц - 300 МГц спостерігається загальна слабкість, підвищена втома, сонливість, порушення сну, головний біль та біль в ділянці серця. З'являється роздратованість, втрачається увага, сповільнюються рухово-мовні реакції. Виникає ряд симптомів, які свідчать про порушення роботи окремих органів - шлунку, печінки, підшлункової залози. Погіршуються харчові та статеві рефлексії, діяльність серцево-судинної системи, фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну, змінюється склад крові, зафіксовані зміни на рівні клітин.

Із ростом інтенсивності відбуваються електрокардіографічні зміни, при хронічному впливі - тенденція до гіпотонії, до змін у нервовій системі. Потім спостерігається прискорення пульсу, коливання об'єму крові.

При інтенсивності 6 мВт/см² помічені зміни у статевих залозах, у складі крові, помутніння кришталика, зміни у здатності згортання крові, умовно-рефлекторній діяльності, вплив на клітини печінки, зміни у корі головного мозку.

Випромінювання інтенсивністю до 100 мВт/см² викликають стійку гіпотонію, стійкі зміни серцево-судинної системи, двосторонню катаракту. Подальше опромінення помітно впливає на тканини, викликає больові почуття. Якщо інтенсивність перевищує 1 Вт/см², це спричинює дуже швидко втрату зору, що є одним із серйозних ефектів дії НВЧ на організм людини. На більш низьких частотах такі ефекти не відбуваються, і тому їх треба вважати специфічними для НВЧ діапазону. Ступінь пошкодження залежить, в основному, від інтенсивності та тривалості опромінення.

Інтенсивне НВЧ опромінення відразу викликає сльозотечу, подразнення, звуження зіниці ока. Після короткого (1-2 доби) прихованого періоду спостерігається погіршення зору, що посилюється під час повторного опромінення і свідчить про кумулятивний характер пошкоджень.

Спостереження за людьми доводять існування механізму відбудови пошкоджених клітин, який вимагає тривалого часу (10-20 діб). Зі зростанням часу та інтенсивності впливу пошкодження набувають незворотного характеру.

У разі прямого впливу на око випромінювання відбувається пошкодження рогівки. Але серед усіх тканин ока найбільшу чутливість в діапазоні 1...10 ГГц має кришталік. Сильні пошкодження кришталіка зумовлені тепловим впливом НВЧ (при щільності потоку енергії понад 100 мВт/см²). За малої інтенсивності помутніння спостерігаються тільки у задній ділянці, за великої - по всьому об'єму кришталіка.

Для попередження професійних захворювань, які виникають при перебуванні у приміщеннях імпульсного опромінення рослин, відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 «ССБТ. Електромагнітне поле радіочастот» встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань, які дорівнюють $E_{пд}=500$ А/м, $H_{пд}=50$ А/м, де $E_{пд}$ і $H_{пд}$ – значення напруженості електричного і магнітного полів відповідно. Рівні ЕМП необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція старих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію.

7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

7.2.1 Методи захисту світлотехнічної апаратури від дії електромагнітного імпульсу блискавок

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 десятих часток 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.

8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Джерела електромагнітних полів (ЕМП) та методи зменшення їх впливу.

Екологія вивчає проблеми взаємовідносин між живими істотами та умовами їхнього життя. Назва походить від грецьких слів oikos — дім, житло та logos — наука. Рівновага людини з навколишнім світом — це насамперед її комфортне відчуття себе в ньому. Такий стан передбачає сприятливе поєднання умов життя, як природних, так і соціальних.

Людина — це біологічна істота, тому всі природні фактори та умови у яких вона живе впливають на її здоров'я. Активна трудова діяльність упродовж багатьох тисяч років розвинула й ускладнила взаємозв'язок людини і природи. Лише шляхом пристосування до навколишнього середовища людина залишається жити на Землі. Сьогодні природне середовище, в якому діє людина змінюється швидше порівняно з адаптивністю людини. Це що негативно відбивається на її здоров'ї.

Покоління наших предків жили в тісному спілкуванні з природою. Уклад життя та праці був синхронним із природними режимами. Кожна пора року мала притаманні тільки їй трудову налаштованість і режим життя. Проблема здоров'я людини вирішувалась досить ефективно і просто. Це пояснюється тим, що культура здоров'я складалась в індивідуальній свідомості особистості поступово, під впливом природних умов життя і була важливим елементом загальної культури людини.

Нині вся сукупність факторів діяльності людини, які негативно впливають на її здоров'я, вимагає іншого підходу до проблеми формування здоров'я. Сьогодні люди живуть у режимі виробничого циклу, однаково в будь-яку пору року. Умови життя та праці сучасної людини, безперечно, покращились, але наслідки цього далеко не однозначні.

Забрудненість навколишнього середовища, поряд із токсичними ефектами, таїть у собі небезпеку генетичних змін (на потреби промисловості спалюється 10 млрд. т. палива, у повітря потрапляє біля 20 млрд. т. вуглекислого газу, 300 млн. т. чадного газу, 50 млн. т. окису азоту, сотні млн. т. пилу, велика кількість шкідливих та канцерогенних речовин). Забруднення атмосфери стало великою проблемою для міст. Осідання викидів на крапельках води зумовлює появу димних туманів — смогу. Л. Батонн писав: “Станеться одне з двох, або люди зроблять так, що у повітрі стане менше диму, або дим зробить так, що на Землі стане менше людей”.

Надходження великої кількості окисів азоту та сірки зумовлює появу кислотних дощів, які забруднюють територію на великих відстанях від джерел

їхнього викиду. Такі дощі знищують рослини та тварин, пошкоджують людські споруди та конструкції. Промислові викиди в атмосферу фреонів зменшують товщину озонового шару навколо Землі, який захищає живу природу від губної дії ультрафіолетових променів із космосу.

Особливо негативно позначилась на стані здоров'я населення нашої країни аварія на Чорнобильській атомній станції.

Конституційне право на безпечне для життя і здоров'я довкілля (право на екологічну безпеку) тісно пов'язане з правом на життя й охорону здоров'я.

Екологічна ситуація потребує мобілізації всіх урядових та неурядових організацій, усього суспільства на вирішення існуючих проблем. Основні шляхи для цього:

- перехід до матеріало- та енергозберігаючих технологій, а в перспективі до замкнутих, безвихідних циклів виробництва;
- раціональне природовикористання з урахуванням особливостей окремих регіонів;
- розширення природно-заповідних територій;
- екологічна освіта та виховання населення.

Вирішення проблеми здоров'я людини закладено в самій людині, у знанні та розумінні нею низки проблем, а також в умінні дотримуватись правил здорового способу життя.

Електромагнітне випромінювання — це процес утворення вільного електромагнітного поля, яке випромінюється зарядженими частинками, що коливаються. Головними джерелами ЕМП є телевізійні ретранслятори, радіолокаційні станції, антени сотового й інших видів радіозв'язку, високовольтні мережі електропередач, комп'ютерна техніка, імпульсні джерела світла тощо.

Якщо інтенсивність ЕМП перевищує вимоги нормативних актів, застосовують різні засоби і способи захисту персоналу. Вибір того чи іншого способу захисту залежить від робочого діапазону частот, характеру

виконуваних робіт та умов опромінення, від параметрів ЕМП і необхідного ступеня захисту.

Найбільшого поширення одержали наступні методи захисту від ЕМП:

1. Зменшення потужності випромінювання джерела сигналу.

Зменшення параметрів випромінювання безпосередньо у самому джерелі досягається раціональним вибором генератора, застосуванням узгоджених навантажень і спеціальних пристроїв - поглиначів потужності (еквівалент антени і навантаження).

2. Захист віддаленістю.

Якщо неможливо послабити інтенсивність опромінення цими методами, використовують захист відстанню шляхом її збільшення. Захист відстанню забезпечується за рахунок механізації й автоматизації виробничих процесів, застосуванням дистанційного управління і спеціальних маніпуляторів, раціональним розміщенням устаткування та робочих місць.

На підставі інструментальних вимірювань характеристик ЕМП для кожного конкретного випадку розміщення апаратури виділяють зони випромінювання, межі яких позначають яскравою фарбою на підлозі.

3. Архітектурно-планувальні рішення.

Діючі установки потужністю понад 10 кВт слід розміщати у спеціально виділених приміщеннях регламентованої площі з капітальними стінами і перекриттями, покритими матеріалами, що поглинають ЕМП радіочастотного діапазону — цеглою, шлакобетоном; а також матеріалами, що здатні відбивати ці випромінювання, наприклад, олійними фарбами. Такі приміщення мають бути обладнані безпосереднім виходом у коридор чи назовні. Для цього підходять кутові приміщення першого й останнього поверхів будинку.

4. Екранування джерел випромінювання та робочих місць.

Екранування - одне з найбільш ефективних і найчастіше застосовуваних засобів захисту від ЕМП.

6. Установлення раціональних режимів роботи.

Коли немає можливості знизити інтенсивність опромінення до нормативних значень, застосовують захист часом, тобто обмежують час перебування персоналу в ЕМП.

7. Застосування індивідуальних засобів захисту.

До них належать переносні парасолі, халати, куртки з каптуром, комбінезони, фартухи з металізованої тканини, які захищають організм людини за принципом сітчастого екрана із заземленням. Наприклад, від дії ЕМП НВЧ застосовують халати радіозахисні, виготовлені з тканини "Щит".

8. Організаційні заходи.

Необхідно регулярно проводити дозиметричний контроль (не менше одного разу на 6 місяців); медогляд (не менше одного разу на рік). Робітникам, що працюють із джерелами ЕМП, має бути надана додаткова відпустка, скорочений робочий день та ін.

8.2 Екологічний вплив електромагнітного опромінення на живі організми

Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти коливань, напруженості та інтенсивності поля, тривалості його впливу.

Захворювання, пов'язані з впливом електромагнітних випромінювань малої інтенсивності, проявляються у вигляді граничних нервовопсихічних розладів у поєднанні з синдромом вегетативної дистонії, характерними суб'єктивними розладами, порушеннями у центральній нервовій і серцевосудинній системах, шлунковокишкового тракту, репродуктивної функції, імунного статусу, змінами біохімічних та гематологічних показників крові. Залежно від стадії захворювання виявлені порушення можуть мати стійкий характер і не зникати після припинення контакту з електромагнітним полем. До віддалених наслідків хронічного впливу електромагнітних полів

радіочастотного діапазону слід віднести негативний вплив на потомство та синдром раннього старіння організму.

Електромагнітне опромінення людини супроводжується тепловими та нетепловими ефектами в біологічних тканинах і рідинах.

У зоні генерування електромагнітного поля відбувається безперервний взаємний перехід електричного поля в магнітне і навпаки. Електрична компонента ЕМП поглинається передусім у середовищі, де знаходяться полярні молекули чи вільні електричні заряди. У якості акцепторів магнітної компоненти ЕМП можуть виступати гемоглобін і міоглобін, рухомі електричні заряди, що виникають при окислювально-відновлювальних реакціях у процесі клітинного метаболізму, а також вільні радикали, що утворюються під час біохімічних та механікохімічних реакцій, і феромагнітні частинки, які потрапляють у легені людини з повітрям у вигляді пилу.

ВИСНОВКИ

1. Основним і визначальним параметром при теплових розрахунках режимів роботи світлодіодів є температура р-п-переходу.

2. Температура р-п-переходу світлодіода не повинна перевищувати максимально допустиму, вище якої в р-п-переході починаються процеси деградації - зменшується світловий потік і яскравість свічення, знижується світлова проникність оптичної системи.

3. Математична тепла модель світлодіодної системи охолодження на базі теплової у описує вплив основних параметрів : потужності, квантової ефективності, теплового опору, температури зовнішнього середовища на термічний режим роботи світлодіода. Це дозволяє керувати температурою р-п-переходу.

4. Теплова труба є одним з найбільш ефективних пасивних методів охолодження світлодіода. Причому, ефективність охолодження збільшується із збільшенням її довжини, площі поперечного перерізу, коефіцієнта теплообміну і коефіцієнта теплопровідності. Застосування теплових труб дозволить значно скоротити розміри і масу пасивної системи охолодження.

5. Система охолодження світлодіода на базі теплової труби має вищу ефективність в порівнянні з системою охолодження на базі мідного радіатора який має ідентичний профіль і площу поверхні. Така перевага обумовлена рівномірним розподілом температури по поверхні теплової труби, і ефективнішим відведенням теплової енергії.

6. Використання схеми охолодження на базі теплової труби дозволить збільшити світловий потік світлодіода (збільшити потужність) без збільшення температури р-п-переходу. Це дозволить зменшити кількість світлодіодів в світильнику і його вартість без скорочення терміну експлуатації.

7. Теплові труби мають відносно вузький діапазон ефективного використання. При перевищенні розрахункової температури вся охолоджуюча рідина може перейти в пару, і навпаки, при недостатній температурі рідина погано випаровується. Це призведе до різкого зниження теплопровідності системи охолодження СД з усіма негативними наслідками.

8. Для збільшення світлового потоку світлодіоду необхідно збільшувати величину прямого струму при одночасному зменшенні температури р-п-переходу.

9. Температура р-п-переходу світлодіода буде зменшуватися при зменшенні загального теплового опору системи охолодження і температури зовнішнього середовища. Для подальшого зменшення теплового опору можна застосувати активний радіатор.

10. Для відведення теплової енергії за межі світлодіодної лампи з щільною упаковкою потужних елементів може бути застосована радіальна система теплових труб, з'єднаних з радіаторами. Використання запропонованої схеми охолодження дозволить збільшити прямий струм і світловіддачу лампи. Теплові труби мають відносно вузький діапазон ефективного використання. При перевищенні розрахункової температури вся охолоджуюча рідина може перейти в пару, і навпаки, при недостатній температурі рідина погано випаровується. Це призведе до різкого зниження теплопровідності системи охолодження СД з усіма негативними наслідками.

11. Для збільшення світлового потоку світлодіоду необхідно збільшувати величину прямого струму при одночасному зменшенні температури р-п-переходу.

12. Температура р-п-переходу світлодіода буде зменшуватися при зменшенні загального теплового опору системи охолодження і температури зовнішнього середовища. Для подальшого зменшення теплового опору можна застосувати активний радіатор.

13. Для відведення теплової енергії за межі світлодіодної лампи з щільною упаковкою потужних елементів може бути застосована радіальна система теплових труб, з'єднаних з радіаторами. Використання запропонованої схеми охолодження дозволить збільшити прямий струм і світловіддачу лампи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

2. Светодиоды / Авт.: Шуберт Ф.Е. Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2008. –496 с. ISBN: 978-5-9221-0851-5.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред.. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. Перераб. И доп. М.: Знак. – 972 с.
4. [Алферов Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур. /Ж.И Алферов // Физика и техника полупроводников. – 1998. – т. 32, – № 1. – С.3-18.](#)
5. [Полищук А.А. Обеспечение теплового режима светодиодных ламп при разработке светотехнических устройств. /А.А Полищук // Современная электроника. – 2006. – № 3. – С. 42-45.](#)
6. [Давыденко Ю. Высокоэффективные современные светодиоды. / Ю. Давыденко // Современная электроника. – 2004. – № 10. – С. 36-43.](#)
7. [Миранович В. Мощные светодиоды: особенности применения, проблемы и методы решения на примере светодиодов компании](#)
8. [Никифоров С. Температура в жизни и работе светодиодов. / С. Никифоров // Компоненты и технологии. – 2005. – № 9. – С. 140-146.](#)

9. [Скрипников Ю.Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов: Энергия, 1973. – 48 с.](#)
10. [http://ros.kpi.ua/wp-content/uploads/Download/Articles/490-834-1-SM.pdf.](http://ros.kpi.ua/wp-content/uploads/Download/Articles/490-834-1-SM.pdf)
11. https://led-displays.ru/synjet_thermal_management.html/
12. [Беляев Н.М. Методы теории теплопроводности. Ч.1. / Н.М. Беляев, А.А. Рядно. – М.: Высш. шк., 1982. –327 с.](#)
13. [Полищук А.А. Обеспечение теплового режима светодиодных ламп при разработке светотехнических устройств. /А.А Полищук // Современная электроника. – 2006. – № 3. – С. 42-45.](#)
14. <https://www.compel.ru/lib/56908>
15. [Лотар Ноэль. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов. / Лотар Ноэль // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 3. – С. 13-15.](#)
16. [PROLIGHT OPTO TECHNOLOGY. / В. Миранович, И. Филоненко // Электронные компоненты. – 2007. – № 6. – С. 45-49.](#)
17. [Староверов К. Системы охлаждения для светодиодов. / К. Староверов // Новости электроники. – 2008. – № 17. – С. 21-23.](#)
18. [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.](#)
19. [Тихонов А. Н. Уравнения математической физики. / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 735 с.](#)
20. [Schubert E. F. Light-emitting diodes. – Cambridge, 2006.](#)
21. [В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев Электроника. М: Высш. школа, 1991 г. - 622 с.](#)
22. [Вейнерт Дж. Справочник: светодиодное освещение. – М., 2010.](#)
23. [Ноэль Л. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010, № 3. С. 13–15.](#)
24. [Колпаков А. Охлаждение силовых модулей: проблемы и решения // Силовая электроника. 2012, № 3. С. 12–18.](#)

25. 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.
26. Поль А. Особенности расчета систем отвода тепла при использовании светодиодов в корпусах PLCC // Полупроводниковая светотехника. 2010, № 5. С. 54–57.
27. Колпаков А. Охлаждение в системах высокой мощности // Силовая электроника. 2010, № 3. С. 62–66.
28. Lee H. Thermal design: heat sinks, thermoelectrics, heat pipes, compact heat exchangers, and solar cells. – New Jersey: Wiley, 2010.
29. Reay D., Kew P., McGlen R. Heat pipes: theory, design and applications. – Oxford: Elsevier, 2014.
30. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика. – М., 1981.
31. Faghri A. Heat pipes: review, opportunities and challenges // Frontiers in Heat Pipes. 2014. Vol. 5, Is. 1. P. 1
32. Фера В.І., Закордонец В.С.. Розрахунок системи охолодження світлодіода на базі теплової труби. // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019., м.Тернопіль. – С. 34.
33. Арутюнян А. А. - Основы энергосбережения. Москва, Энергосервис. – 2007.-387с.
34. Рохлин Г.Н. Газоразрядные источники света . М.: Энергоатомиздат, 1991.-586с.
35. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00–1.21–98.
36. Гандзюк, М. П. Основы 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.