

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

# РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи фахівця освітнього ступеня

**бакалавр**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Стабілізація температурного режиму світлодіодних освітлювачів  
модулями Пельтьє**

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи ЕТ<sub>зс</sub>-42

напряму підготовки (спеціальності)  
141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

**Бойко А.П.**

(прізвище та ініціали)

Керівник Закордонець В.С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Габрусев Г.В.

(прізвище та ініціали)

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

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бойко Антон Петрович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СВІТЛОДІОДНИХ  
ОСВІТЛЮВАЧІВ МОДУЛЯМИ ПЕЛЬТЬЄ

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 «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ року №\_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

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

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



## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Бойка Антона Петровича містить: 59 сторінок, 30 рисунків, 7 таблиць, 29 посилань на першоджерела.

**Предметом дослідження** є світлодіоди та світлодіодні лампи на їх основі.

**Мета роботи** полягає у пошуку параметрів, які найбільше впливають на тепловий режим світлодних ламп та підбір способів та засобів для їх охолодження.

**Об'єктом дослідження** є охолоджувальні системи світлодіодних ламп на базі термоелектричних модулів Пельтьє.

**Основні результати:** побудовано теплову математичну модель світлодіодної лампи, яка описує вплив ключових параметрів: теплової потужності, теплового опору та температури середовища на тепловий режим; проведено розрахунок теплового режиму світлодіодної матриці з термоелектричним модулем Пельтьє та локальним радіатором; дано чіткі рекомендації для збільшення світловідачі світлодіодних ламп в умовах стабілізації їх теплового режиму.

**Ключові слова:** СВІТЛОДІОДНІ ЛАМПИ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, СВІТЛОВА ВІДДАЧА, ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ, ТЕПЛОВИЙ ОПІР.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат.</i>	<i>РЕФЕРАТ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш.</i>	<i>Аркушів.</i>
<i>Розроб.</i>	Бойко А.П.					у		
<i>Перевір.</i>	Закордонєць В.С.							
<i>Консул.</i>	Закордонєць В.С.							
<i>Н.контр.</i>	Вакуленко О.О.							
<i>Зав. каф.</i>	Тарасенко М.Г.					ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТзс - 42		

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Напівпровідникові джерела світла	8
1.2 Типи напівпровідникових джерел світла	11
1.3 Існуючі способи регулювання теплових режимів	15
Висновки до першого розділу	17
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Способи термостабілізації напівпровідникових джерел світла	19
2.2 Термоелектричне охолодження	26
2.3 Конструювання системи охолодження СД з модулем Пельтьє	27
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	33
3.1 Вибір методики розрахунку	33
3.2 Вибір сучасних СД матриць та модулів Пельтьє для проектування освітлювальних систем	36
3.3 Розрахунок теплового режиму СД матриці з модулем Пельтьє	39
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	48
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, електробезпеки, пожежної безпеки світлодіодних ламп	48
4.2 Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57

						КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ				
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	<i>ЗМІСТ</i>			<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Бойко А. П.								
<i>Перевір.</i>		Закордонєць В.С								
<i>Консул.</i>		Закордонєць В.С.								
<i>Н.контр.</i>		Вакуленко О.О.								
<i>Зав. каф.</i>		Тарасенко М.Г.								
								<i>ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТзс - 42</i>		

## ВСТУП

Напівпровідникові джерела світла (НПДС) все впевненіше завойовують сучасний ринок світлотехнічної продукції [1-3]. Світлодіодні освітлювачі і лампи, які містять світлодіоди і світлодіодні матриці надзвичайно перспективні для використання в побуті та промисловості. Це зв'язано з їх перевагами перед традиційними джерелами світла - лампами розжарювання і газорозрядними лампами. Світлодіодні освітлювачі забезпечують високу освітленість об'єктів, споживають мало енергії, дозволяють отримати будь-який колір випромінювання, мають великий термін експлуатації [4]. Виробники НПДС стверджують, що їх термін експлуатації досягає понад 100000 годин безперервної роботи. Завдяки відсутності скляних механічно вразливих елементів світлодіоди дуже надійні і міцні. До інших чудових якостей світлодіодів належать їх екологічна чистота і безпека експлуатації, мініатюрність і технологічність, широкий спектр напруг живлення та ін..

Сучасні світлодіодні лампи є енергозберігаючими джерелами світла. Зокрема, їх ККД перетворення електричної енергії в світлову близький до 30%. При цьому СД лампа потужністю 100 Вт за величиною світлового потоку може замінити десять ламп розжарювання потужністю по 100 Вт кожна. Якщо світлодіодна лампа в середньому буде світити хоча б шість годин щодоби, то за рік вона принесе економії майже 1000 кВт год.

В даний час провідні країни світу здійснюють переоснащення сфери освітлення. Створюються і впроваджуються в практику спеціальні програми по розробці енергозберігаючих джерел світла. Процес масового впровадження енергоощадної світлотехнічної продукції отримала додатковий імпульс в зв'язку з наростаючою в світовою енергетичною кризою. Адже запаси викопного вуглеводневого палива обмежені.

					КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ		
<i>Зм. Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розроб.</i>	Бойко А.П.			<b>ВСТУП</b>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Закордонцев В.С.				у		
<i>Консул.</i>	Закордонцев В.С.						
<i>Н.контр.</i>	Вакуленко О.О.						
<i>Зав. каф.</i>	Тарасенко М.Г.						
					ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТзс - 42		

Великою поробою стала і екологічна криза. Викиди продуктів згорання вуглеводнів в атмосферу досягли загрозливих масштабів.

На сьогодні в Україні більш ніж 25% валових енергетичних затрат припадає на різноманітні види освітлення. Багатократно зменшити ці витрати може тотальне впровадження напівпровідникових технологій освітлення. Це, разом з іншими ефектами може посприяти збільшенню внутрішнього валового продукту держави на кілька відсотків. В зв'язку із цим, проблема впровадження ефективних енергозберігаючих технологій в сучасній світлотехніці постає особливо гостро.

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

Активні системи охолодження: вентилятори, теплові труби термоелектричні модулі Пельтьє, водяне охолодження, та ін.. [5-8, 10-15]. Кожна із них має свої переваги і недоліки. Повітряні системи охолодження базуються на примусовому русі повітря і можуть забезпечити необхідний тепловий режим. Однак вони створюють додатковий шум, мають нижчу надійність, складніші у виготовленні. Експлуатація активних охолоджувальних

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

систем потребує постійної профілактики технічного обслуговування. У зв'язку з цим, тривають постійні пошуки нових альтернативних систем терморегуляції і охолодження.

В роботі, для інтенсифікації охолодження потужних світлодіодних освітлювачів використані термоелектричні модулі Пельтьє (МП) [16-20]. Застосування модулів Пельтьє наділяє систему тепловідводу функцією охолодження. Це дає можливість знижувати температуру кристалів світлодіодів до нижчої температури ніж температура середовища. Це дозволить експлуатувати освітлювачі при температурі середовища близькій до критично високої. Крім того, охолодження світлодіода дозволить суттєво збільшити його світловіддачу та продовжити термін експлуатації.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		



# 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Напівпровідникові джерела світла

Напівпровідникові джерела світла є енерго економними та споживають від 35% до 65% від потужності яку споживають лампи розжарювання. В теперішній час в Україні до 25-35% енерговитрат припадає на різнотипні види освітлення. Але тотальне впровадження напівпровідникових джерел світла може скоротити витрати в 5÷7 разів. Ця обставина може стимулювати збільшення внутрішнього валового продукту держави на 1.0÷1.5%. В зв'язку із цим, проблема впровадження ефективних енергозберігаючих освітлювальних систем в сучасній світлотехніці є ключовою.

Ефективність напівпровідникових джерел світла найбільше проявляється в місцях, де необхідно виробляти кольорові світлові потоки великої потужності, наприклад при подачі світлових сигналів. Світло від лампи розжарювання потрібно фільтрувати пропускаючи через оптичні фільтри. Вони виокремлюють деяку частину спектру, або червону, або синю, або зелену поглинаючи всі інші. В результаті фільтрації лєвова частка світлового потоку лампи (біля 90%) втрачається марно. Крім того, майже 95% потужності лампи розжарення йде на її нагрів. Таким чином на забарвлене світло йде біля 1% енергії. В напівпровідниковому джерелі світла всі 100% світлового випромінювання є забарвленим світлом.

Якщо напівпровідникові джерела світла порівняти з традиційними то знайдемо наступні переваги:

- Велика світловіддача. За величиною світловіддачі напівпровідникові лампи перевершили металогалогенні і газорозрядні натрієві лампами. Їх світловіддача перевищує 146 лм/Ват.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ		
<i>Зм.рк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розроб.</i>	Бойко А.П.			<b>АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Закордонєць В.С.				у		
<i>Консул.</i>	Закордонєць В.С.						
<i>Н.контр.</i>	Вакулєнко О.О.						
<i>Зав. каф.</i>	Тарасєнко М.Г.						
					ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТЗс-42		

- Висока механічна міцність, вібростійкість і можливість мінітюаризації.
- Значний термін експлуатації - до 10 тис. годин.
- Велика кількість циклів виключення-включення практично не впливають на термін роботи.
- Спектральна характеристика білих світлодіодів максимально наближена до спектра сонячного світла. Зокрема, їх колірна температура лежить в інтервалі 2700К - 6500К.
- Відсутність інерційності включення.
- Кут випромінювання світлодіодів лежить в діапазоні від 15 - 180°С.
- Низька вартість, яка постійно зменшується.
- Низька напруга живлення і внаслідок цього високий рівень безпеки експлуатації.
- Мала температура корпусу, не більше 60° - 80°С.
- Незнчна чутливість до низьких і наднизьких температур.
- Висока екологічність експлуатації.

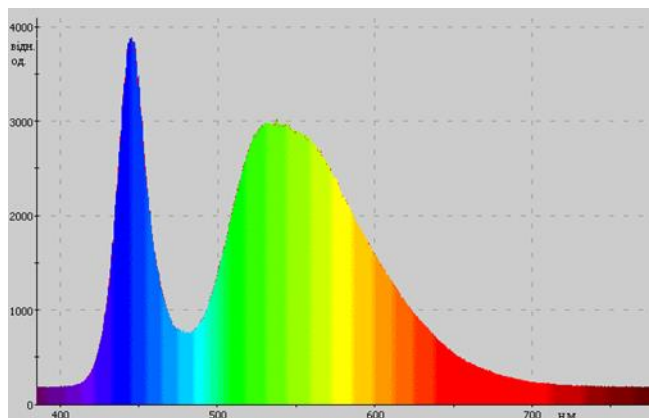


Рис. 1.1 Спектр випромінювання світлодіодної матриці білого свічення

Загальновідомо, що термін служби напівпровідникових джерел світла залежить від використаних напівпровідникових матеріалів, а також від величини струму світловода і кількості виділеного тепла. В процесі експлуатації світлова віддача поступово зменшується. В результаті цього зменшується довговічність світлодіодної лампи - один з основних показників,

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ

Арк

що кардинально відрізняє її від традиційних ламп. Принято вважати, що термін експлуатації СД закінчився, коли його світловіддача зменшиться в два рази порівняно з початковою величиною. Граничний строк служби світлодіодів досягає 100000 годин, але це тільки при додержанні правильного температурного режиму. Суттєво зменшує термін експлуатації СД його робота в умовах підвищених температур. Зокрема сильно залежить від температури його р-п -переходу потужність випромінювання світлодіода. Це означає, що ККД СД різко зменшується із збільшенням температури. В деяких світлотехнічних освітлювальних приладах також зменшується прозорість оптичної системи.

Хоч світлодіод і називають холодним джерелом світла, в світло перетворюється не вся підведена до нього електроенергія. Як і у всіх інших напівпровідникових приладах в тепло перетворюється 70-80% підведеної потужності. Якраз, по цій причині, світлодіоди в обов'язковому порядку потребують регулювання теплових режимів. Іншими словами, світлодіоди потрібно охолоджувати. Причому, тим інтенсивніше, чим більша їх електрична потужність. Наприклад, для світлодіода потужністю  $P=10 \text{ Вт}$  в тепло перетворюється 7-8 Вт, а в світлодіоді потужністю  $P=100 \text{ Вт}$  вже 70-80 Вт. Ефективність світлодіодів визначають як відношення світлового потоку до загальної кількості підведеної до СД потужності і виражають в  $\text{лм/Вт}$ .

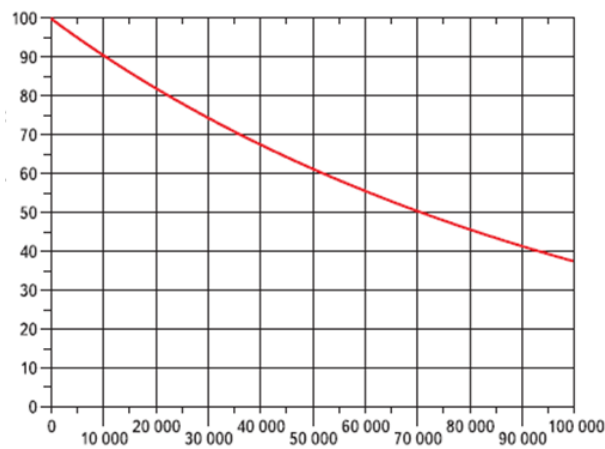


Рис. 1.2 Залежність відносного світлового потоку від терміну експлуатації світлодіода.

При всіх безсумнівних перевагах високоефективних білих світлодіодів їх тривала і надійна робота, а значить і втілення в життя нових сучасних освітлювальних технологій можлива тільки при дотриманні граничних температурних умов.

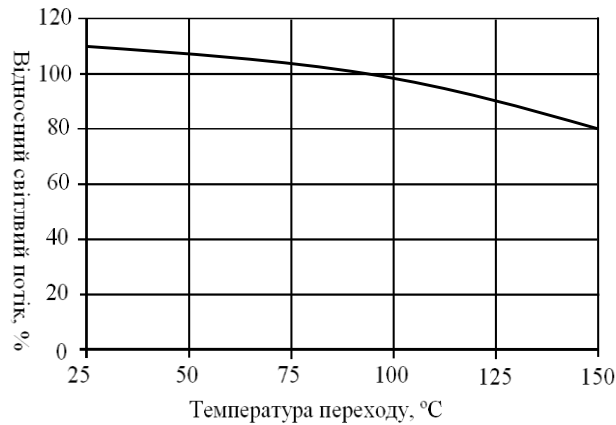


Рис. 1.3 – Температурна залежність світлового для освітлювального СД серії МКР

Як видно із графіка, величина потоку світла СД із збільшенням температури р-п-переходу зменшується.

## 1.2 Типи напівпровідникових джерел світла

На ринку є велика кількість різноманітних конструкцій світлодіодів, які використовуються в різноманітних галузях народного господарства. Від індикаторних до освітлювальних.



Рис. 1.4 Індикаторний СД червоного кольору АЛ307БМ

Високоєфективні освітлювальні світлодіоди повинні забезпечити максимально можливий світловий потік при мінімально можливій споживаній потужності.



Рис. 1.5 Зовнішній вигляд білого освітлювального світлодіода потужністю  $1W$  із світловим потоком  $100\text{ лм}$ .

Filament світлодіоди широко застосовують в рекламних цілях і для декоративних підсвіток. [6].



Рис. 1.6 Світлодіодні лампи Filament

Нещодавно на світлотехнічному ринку з'явилися сучасні джерела світла високої ефективності – світлодіодні матриці. Дуже популярними стали світлодіодні матриці типу СМА. Матриці є сукупністю кількох десятків, або сотень кристалів, які об'єднані в одному корпусі. Таких кристалів може бути

кілька сотень. Матриці зверху покриті люмінофором, і для оптимізації споживаних струмів з'єднані послідовно-паралельно.

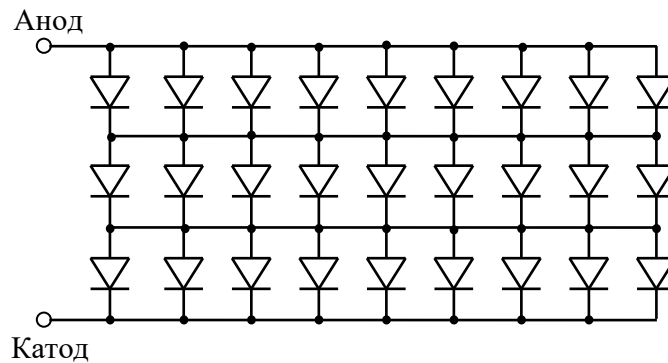


Рис. 1.7 З'єднання світлодіодів в СД матриці

Плоска поверхня блоку, являє собою прозоре пластикове покриття, яке дозволяє встановити додаткову оптику для створення необхідної діаграми розсіювання світла.



Рис. 1.8 СД матриця CDM 5050 (зліва), і СД матриця COB (справа).

Деякі матриці забезпечуються товстою мідною або алюмінієвою підкладкою з кріпильними отворами для монтажу блоку на тепловідвід. Відмінний тепловий контакт матриці з тепловідводом забезпечується ідеально рівною поверхнею підкладки. Завдяки цьому можна кріпити матриці зразу на радіатор, фіксуючи їх гвинтами або притискними механізмами. Ця обставина









## Висновки до першого розділу

1. В напівпровідникових джерелах світла в тепло перетворюється 70-80% підведеної потужності. По цій причині вони, в обов'язковому порядку, потребують регулювання теплових режимів.
2. До основних сучасних способів термостабілізації належать: радіаторний, вентиляторний обдув, системи струйного охолодження SynJet, теплові трубки, термоелектричні модулі Пельтьє, системи гідроохолодження.
3. При розробці напівпровідникових джерел світла однією з найважливіших вимог є адекватний вибір способу термостабілізації.
4. Збільшення рівня інтеграції напівпровідникових джерел світла приводить до різкого збільшення теплових потоків, з якими традиційні системи охолодження не завжди справляються.
5. Для інтенсифікації охолодження потужних світлодіодних ламп можна застосовувати термоелектричні модулі Пельтьє.
6. Застосування модулів Пельтьє наділяє систему тепловідводу функцією охолодження. Це дає можливість знижувати температуру кристалів світлодіодів до нижчої температури ніж температура середовища. Ї дозволяє експлуатувати світлодіоди при температурі середовища близькі до критично високої.
7. Охолодження температури світлодіода дозволить суттєво збільшити його світловіддачу, та продовжити термін експлуатації.

В світлі сказаного, в процесі проектування напівпровідникових освітлювальних систем найбільш перспективним є застосування термоелектричних модулів Пельтьє, оскільки вони: компактні, мають високу надійність та відсутність рухомих частин, великий термін експлуатації, малу вагу, безшумність роботи та малу інерційність. До недоліків термоелектричної системи термостабілізації та охолодження слід віднести дещо високу вартість. Однак, такий недолік дещо знівелюється в процесі серійного виробництва освітлювальних приладів такої конструкції. Крім того, збільшення

					КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

світловіддачі світлодіодів, при зниженні їх температури, приведе до суттєвого зменшення необхідних освітлювальних приладів і зменшення вартості освітлювальної системи в цілому.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

## 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Способи термостабілізації напівпровідникових джерел світла.

При розробці напівпровідникових джерел світла однією з найважливіших вимог є вибір способу термостабілізації кристала світлодіода. Системи термостабілізації (охолодження) поділяються на пасивні і активні. Пасивні способи є найпростішим і поширеним способом термостабілізації компонентів освітлювальної системи. При пасивному повітряному охолодженні тепло, яке виділяється при роботі світлодіода, кондуктивним шляхом передається корпусу світильника, а далі конвективним шляхом і шляхом випромінювання передається навколишньому середовищу. Цей спосіб термостабілізації характеризується досить низькою ефективністю.

Розміри кристала СД дуже малі, щоб природна конвекція була достатньою для його охолодження. Конвекцію можна посилити, якщо світлодіод прикріпити до радіатора. Це різко збільшить площу поверхні світлодіода. Завдяки кондукції тепло від корпусу СД передається до радіатора. Радіатори відрізняються конструкцією, матеріалом та способом виготовлення. За конструкцією радіатори бувають голчасті, пластинчаті або ребристо-пластинчаті. Голчасті краще праують в умовах природної конвенції. Інші конструкції застосовують при примусовому обдуві повітрям. За матеріалом кращі радіатори зроблені з кольорових металів: мідь та її сплави, алюміній та його сплави. За способом виготовлення розрізняють радіатори виготовлені: шляхом гарячого порошкового пресування; шляхом фрезерування із шматка металу; отримані методом холодної ковки та ін.. Часто до світлодіодних ламп пред'являються жорсткі вимоги по габаритах. Внаслідок цього може виникнути потреба в конструюванні радіатора під конкретні вимоги. При конструюванні радіатора треба враховувати кінцеву вагу виробу, його вартість та можливість подальшого серійного виробництва.

					КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ					
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	<b>ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b>					
<i>Розроб.</i>	Бойко А.П.							<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Закордонєць В.С							у		
<i>Консул.</i>	Закордонєць В. С.									
<i>Н.контр.</i>	Закуленко О.О.									
<i>Зав. каф.</i>	Тарасенко М.Г.				ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТЗс - 42					

Як правило, використовуються радіатори з анодованого алюмінію.

Теплопровідність деяких матеріалів. Таблиця 2.1

Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності, $Вт/(м \cdot К)$
Повітря	0.024
Вода дистильована	0.6
Термічна паста/епоксидий клей смоли	0.1-10
Полімерні теплопровідні сполуки	3-20
Нержавіюча сталь	16.1
Кераміка	100-250
Алюміній та його сплави	120-240
Мідь та її сплави	380-400

Площа розсіюючої поверхні радіатора повинна бути досить великою. Для грубої оцінки вважають, що на кожен ват розсіяного тепла треба взяти радіатор площею  $60 \text{ см}^2$ .

монтажної плати визначає тепловий опір системи охолодження. Наприклад, для плат FR4 тепловий опір складає величину 30-70 К/Вт. А для монтажних плат на металевій підкладці 1-5 К/Вт.

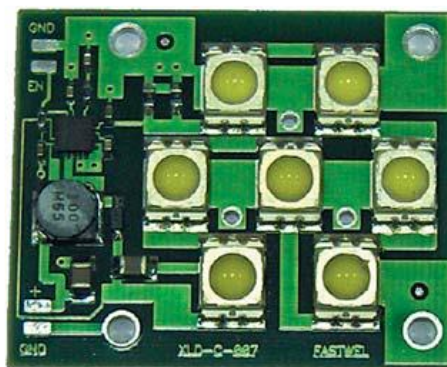


Рис. 2.1 Монтажна плата із світлодіодами.

Найчастіше для охолодження потужних світлодіодів використовують друковану плату з наскрізними металізованими отворами (див. рис. 2.2а).

Двостороння монтажна плата з текстоліту має мідну площадку для пайки елементів і металізовані отвори. Вони передають теплову енергію від верхньої сторони (де встановлені СД) до нижньої сторони, яка з'єднується з масивним радіатором. Плата з наскрізними отворами потребує товстого шару металізації (70 мкм) замість традиційних 35 мкм. Кріплення радіатора виконується теплопровідним клеєм з додатковою фіксацією гвинтами.

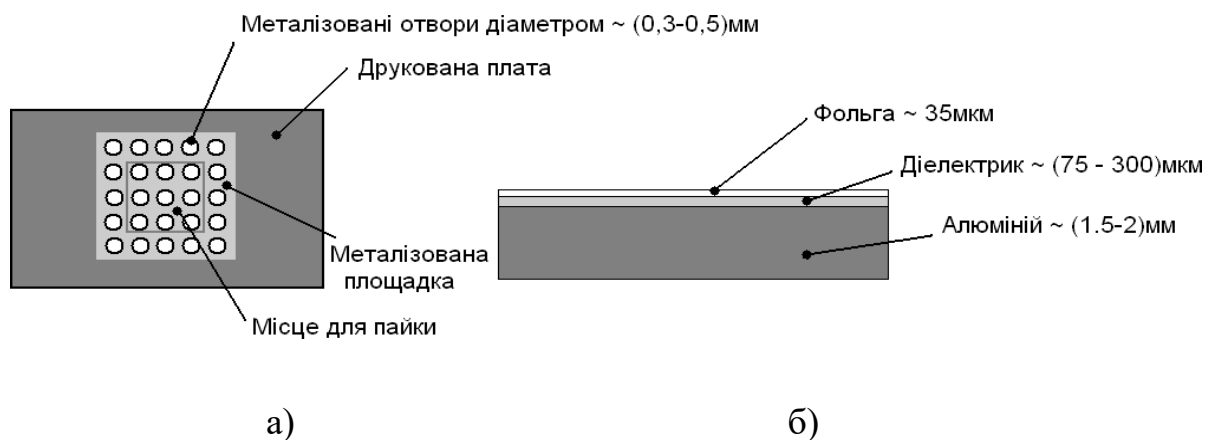


Рис. 2.2 Схематичне зображення монтажної плати. а) з наскрізними отворами, б) плати, покритої алюмінієвою фольгою.

Експериментальні дослідження показали, що найефективнішим розв'язанням проблеми тепловідведення, є використання рішення зображеного на рис. 2б. Монтажна плата є алюмінієвою пластинною товщиною від 1,5- 2мм з шаром діелектрика 75-300 мкм. Від плати тепло передається через шар теплопровідного матеріалу до радіатора. Були отримані наступні температури елементів;

- металізована монтажна плата - 76,6°C;
- плата монтажна з отворами - 75,5°C;
- плата з тонкого алюмінію - 84,8°C.











Рис. 2.5 Зовнішній вигляд охолоджувальної системи SynJet.

Для розсіювання потужностей в десятки і сотні ват можна використовувати рідинне охолодження. Такі великі теплові потоки можуть виникати в прожекторах, світлосигнальній апаратурі, відеопроєкторах та ін.. В цих пристроях для ефективного відводу тепла треба використовувати радіатори з опором до 0.1 К/Вт. Досягти такого малого теплового опору допоможуть рідинні охолоджувачі. Суть рідинного охолодження полягає у відводі надлишкового тепла від робочого тіла за допомогою контакту з теплоносієм. Рідина-теплоносій циркулює в герметичному контурі, поглинаючи тепло від СД і віддаючи його в контурі охолодження.



Зм	Арк	№ докум	Підпис	Лат

КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ

Арк

Рис. 2.6 Рідинний охолоджувач СД матриці.

В ролі теплоносія, в основному, використовують дистильовану воду, іноді тосол, масло, рідкі метали та ін.. Слабкою стороною рідинної системи охолодження є її великі розміри і труднощі інсталяції в освітлювальну систему.

## 2.2 Термоелектричне охолодження

Збільшення рівня інтеграції світлодіодних джерел світла приводить до збільшення теплового потоку, з якими традиційні системи охолодження не завжди справляються. Тому, в системах відводу тепла для інтенсифікації процесу охолодження потужних СД активно застосовуються термоелектричні модулі Пельтьє (МП) [1, 2]. МП складається з багатьох послідовно сполучених напівпровідників, які утворюють  $p$ - $n$ - і  $n$ - $p$ -переходи. Кожен з переходів контактує з одним із металевих колекторів тепла. В результаті проходження струму певної полярності створюється перепад температури між колекторами модуля. При цьому один колектор охолоджується, а інший нагрівається. Холодний використовується для поглинання тепла, яке виділяє світлодіод.

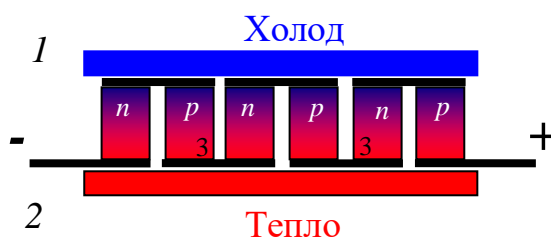


Рис. 2.7 - Схема модуля Пельтьє: 1 – гаряча комутаційна пластина; 2 – холодна комутаційна пластина, 3 – напівпровідникові вітки.

По суті, модуль Пельтьє виступає в ролі насоса тепла. Він перекачує тепло від холодної комутаційної пластини до гарячої. Гарячу комутаційну пластину модуля Пельтьє охолоджують водяним або повітряним потоком. Його роботу описують формулами термодинаміки. На рис. 2.7 зображений типовий термоелектричний напівпровідниковий модуль - модуль Пельтьє.

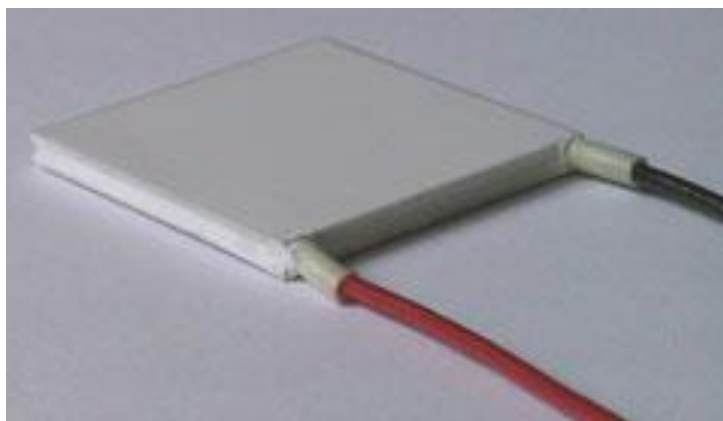


Рис. 2.8 Зовнішній вигляд модуля Пельтьє.

Це дає можливість досягти температури світлодіода нижчої ніж температура оточуючого середовища. Термоелектрична система охолодження, в порівнянні з іншими системами, має безсумнівні переваги, а саме: компактність, високу надійність та відсутність рухомих частин, малу вагу, безшумність роботи та малу інерційність.

Використання МП для охолодження напівпровідникових джерел світла робить їх доволі ефективними в порівнянні із традиційними системами темостабілізації. Однак, у процесі використання охолоджувачів з модулями Пельтьє треба враховувати специфічні особливості, які впливають із їх конструкції та особливостей роботи. Дуже велике значення має потужність модуля Пельтьє. Вона визначається розмірами, і кількістю термопар в ньому.

### **2.3 Конструювання системи охолодження СД з модулем Пельтьє**

Модуль Пельтьє - конструктивно завершений термоелектричний пристрій в якому складовим елементом є термоелектрична пара. Термопари укладені між керамічними пластинами, які мають велику теплопровідність, але малу електропровідність (рис. 3.9). Термоелементи, по струму, з'єднані послідовно комутаційними пластинами, а по тепловому потоку - паралельно. Кількість термопар в модулях змінюється від кількох штук до кількох сотень. Це дає можливість створювати МП з будь якою холодопродуктивністю, від десятих долей вата до сотень ват. Хоча модуль і автономний охолоджуючий елемент, він

не може працювати самостійно. Потрібно відводити тепло від гарячої пластини. Отже, найпростіший термоелектричний охолоджувач завжди складається з трьох основних частин: об'єкта охолодження, термоелектричного модуля Пельтьє і радіатора на гарячій стороні. Об'єкт охолодження знаходиться в тепловому контакті з холодною поверхнею модуля.

Для проектування термоелектричної системи охолодження спочатку доцільно розглянути роботу термопари. Термопара складається з двох віток напівпровідника n- і p –типу (рис.2.9). Вітки сполучені послідовно мідною комутаційною пластиною, яка одночасно є колектором тепла. При протіканні електричного струму в напрямку від напівпровідника p –типу до напівпровідника n- типу дві нижні пластини нагріваються, а верхня - охолоджується.

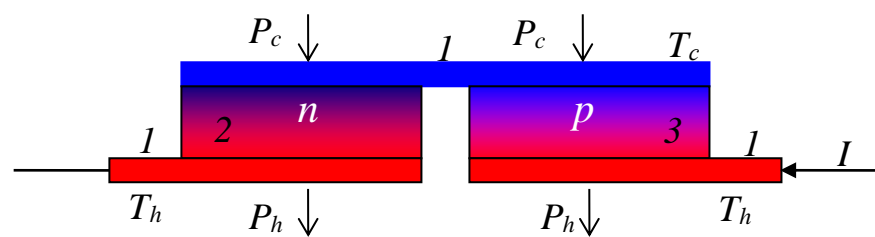


Рис. 2.9 Зовнішній вигляд термопари.

Це є наслідком дії термоелектричних ефектів Пельтьє і Зеебека, які пов'язані з перетворенням електроенергії в холод або тепло так і із зворотним перетворенням теплової енергії в електричну [21]. Вони пов'язані, як з перетворенням теплової енергії в електричну, так і з зворотним процесом - перетворенням електроенергії в холод або тепло. Ефект Зеебека полягає у виникненні в розімкненому електричному колі, яке складається з двох різнотипних віток термоерс. При цьому, один з контактів підтримують при температурі  $T_h$ , а інший при температурі  $T_c$  ( $T_h \neq T_c$ ).

$$E = \alpha(T_h - T_c),$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт диференціальної термоерс віток термоелектричного кола. Якщо контакти замкнуті, то в колі буде проходити струм.

Ефект Пельтьє полягає у виділенні або поглинанні в місці контакту певної теплової потужності (в залежності від напрямку струму).

$$P_{II} = III,$$

тут  $II = \alpha T$  – коефіцієнт Пельтьє,  $T$  – температура контакту,  $I$  – сила струму.

Причиною тепла Пельтьє є перехід електронів через контакт в напрямку з матеріалу  $p$ -типу в  $n$ -тип. При цьому вони долають потенціальний бар'єр і забирають енергію в місці контакту, при цьому контакт охолоджується. Ефект Пельтьє поверхневий.

Потужність тепла, яка поглинається холодним спаєм термопари є її холодопродуктивністю [8,9]:

$$P_c = \alpha T_c I - 0.5 I^2 R - \kappa (T_h - T_c). \quad (2.1)$$

Потужність тепла, яка виділяється на гарячому спаї  $P_h$  визначається формулою

$$P_h = \alpha T_h I + \frac{1}{2} I^2 R - \kappa (T_h - T_c), \quad (2.2)$$

тут  $\alpha$  – коефіцієнт термоерс,  $\kappa$  – теплопровідність,  $R$  – сумарний опір віток,  $T_c$  – температура холодної пластини,  $T_h$  – температура гарячих пластин,  $I$  – величина споживаного струму. Теплова потужність  $P_h$  при допомозі радіатора відводиться в навколишнє середовище.

Теплова потужність, яка прямує від гарячих пластин до холодних шляхом кондукції

$$P_\kappa = \kappa (T_h - T_c), \quad (2.3)$$

Очевидно, що потужність тепла, яке виділяється на гарячій пластині термопари буде більшою від потужності тепла яка поглинається холодною пластиною на величину затрат електричної потужності джерела енергії  $W$

$$P_h = P_c + W. \quad (2.4)$$

Споживана електрична потужність має дві складових. Перша складова описує роботу по транспортуванню носіїв струму проти напрямку термоелектричного поля і є наслідком дії закону Зеебека

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Лат		

$$P_z = \alpha I(T_h - T_c), \quad (2.5)$$

а друга – закону Джоуля

$$P_d = I^2 R. \quad (2.6)$$

Враховуючи сказане отримаємо:

$$W = P_h - P_c = \alpha I(T_h - T_c) + I^2 R. \quad (2.7)$$

Холодильний коефіцієнт запишемо у вигляді [10]:

$$\varepsilon = \frac{P_c}{W} = \frac{\alpha T_c I - 0.5 I^2 R - \kappa \Delta T}{\alpha I \Delta T + I^2 R}. \quad (2.8)$$

тут  $\Delta T = T_h - T_c$  різниця температур між пластинами.

Як видно із формули (2.8), холодильний коефіцієнт визначається величиною струму і різницею температур  $\Delta T$ , яка створюється термопарою. При даному струмі  $\varepsilon$  практично лінійно залежить від  $\Delta T$ . Для модулів Пельтьє холодильний коефіцієнт знаходиться в межах  $\varepsilon = 0.35 \div 0.75$ . Однак, при  $\Delta T = 0$  і малих струмах

$$\varepsilon = \lim_{I \rightarrow 0} \frac{\alpha T_c I - 0.5 I^2 R - \kappa \Delta T}{\alpha I \Delta T + I^2 R} = \infty.$$

Це практично означає, що при бажанні мати підвищену економічність пристрою, треба використовувати модуль Пельтьє з великою кількістю термопар. Крім того, через модулі треба пропускати мінімально можливий струм. Нижня границя струму знаходиться експериментальним, або теоретичним шляхом. Струм зменшують до тих пір, поки його вистачає для компенсації зворотного кондуктивного потоку тепла. В залежності від режиму роботи, для конкретного модуля Пельтьє можна отримати різні величини холодильного коефіцієнту. Важливо, що при цьому, при малій різниці температур між гарячою і холодною стороною модуля холодильний коефіцієнт може перевищувати величину  $\varepsilon = 1$ .

Малопотужний модуль не може забезпечити необхідну інтенсивність охолодження. Це приводить до порушення теплового режиму світлодіодного елемента і виходу із ладу із-за перегріву. Проте використання модулів надмірної

потужності спричинить надмірне зниження температури холодної пластини до температури точки роси. Це гарантовано приведе до короткого замикання в колі світлодіода.

Модуль Пельтьє може працювати в різних режимах. Найбільш важливими є: режим максимального холодильного коефіцієнта і режим максимальної холодильної продуктивності. В першому випадку МП буде ефективно перетворювати електроенергію в „холод”, в другому – за рахунок зменшення економічності досягається максимальне зниження температури. По іншому, режим  $\varepsilon_{max}$  характеризує найбільш економну роботу МП, а режим  $P_{c\ max}$  сприяє максимальну відведенню теплової потужності.

Холодильний коефіцієнт досягне максимуму

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \frac{\sqrt{1 + 0.5Z(T_h - T_c)} - T_h/T_c}{\sqrt{1 + 0.5Z(T_h - T_c)} + 1} \quad (2.9)$$

при величині струму

$$I = \frac{\alpha(T_h - T_c)}{R[\sqrt{1 + 0.5Z(T_h - T_c)} - 1]} \quad (2.10)$$

У випадку максимальної холодопродуктивності холодильний коефіцієнт буде рівний

$$\varepsilon_d = \frac{1}{2T_h} \left( T_c - \frac{2(T_h - T_c)}{ZT_c} \right) \quad (2.11)$$

Очевидно, що холодильний коефіцієнт залежить від перепаду температур  $\Delta T$ , який утворюється МП, і величини термоелектричної добротності напівпровідникових матеріалів  $Z$ . Термоелектрична добротність описується формулою

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\kappa}, \quad (2.12)$$

тут  $\alpha$ ,  $\sigma$  і  $\kappa$  відповідно коефіцієнт термоерс, коефіцієнт електропровідності, і коефіцієнт теплопровідності віток.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Лат		



Холодильний коефіцієнт збільшується при рості  $Z$ . При  $Z \rightarrow \infty$  досягає максимального значення коефіцієнта машини Карно

$$\varepsilon_k = \frac{P_c}{P_h - P_c} = \frac{\alpha T_c I}{\alpha I (T_h - T_c)} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \quad (2.13)$$

Тому при для виготовлення МП беруть напівпровідники з найбільшою величиною термоелектричної добротності [37].

Режими, близькі до максимальної холодопродуктивності характерні для малопотужних систем охолодження. В них економія електроенергії не є критичною умовою. Проте в потужних пристроях є зміст використовувати режим максимального холодильного коефіцієнта [38].

Режим максимальної холодопродуктивності реалізується при максимальному робочому струмі в МП  $I_{max}$ . Для режиму максимального холодильного коефіцієнта, що робочий струм змінюється відповідно до змін перепаду температур на спаях.

Практично МП працюють при струмах  $I = 0.25 - 0.8 I_{max}$ . Для МП змінювати режим роботи від  $\varepsilon_{max}$  до  $P_{c\ max}$ , і навпаки дуже просто. Звичайно, що можна працювати і в деякому проміжному режимі. Для цього треба просто змінити величину струму. Таким чином, МП мають високу функціональну гнучкість.

Слід зазначити, що досягти максимальної різниці температур можна при нульовій холодопродуктивності  $P_c = 0$ . І навпаки, при нульовому перепаді температур  $\Delta T$  досягається максимальна холодопродуктивність.

					КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Лат		

### 3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Вибір методики розрахунку

Розрахунок теплового режиму світлодіодної матриці будемо виконувати з використанням принципу електротеплової аналогії (ЕТА). Принцип ЕТА базується на подібності рівнянь поширення тепла і струму. На підставі принципу ЕТА процес поширення тепла можна представити у вигляді теплової схеми. Її елементами є джерела тепла, приймачі тепла та теплові опори. Кожному вузлу електротеплової схеми відповідає певна температура теплового кола  $T$ . Теплові потоки і перепади температур описуються законами Кірхгофа і Ома для теплових схем. Вони подібні до законів Ома і законів Кірхгофа електричних кіл. На основі цих законів можна перетворювати і розраховувати теплові схеми так само як електричні. Зокрема, для теплової потужності, яка поширюється від вузла теплового кола з температурою  $T_1$  до вузла з температурою  $T_2$  виконується закон Ома для вітки

$$P_i = \frac{\Delta T}{\Theta} \quad (3.1)$$

тут  $\Delta T = T_1 - T_2$  – перепад температур між вузлами вітки,  $\Theta$  – тепловий опір вітки.

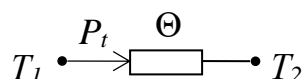


Рис. 3.1. Теплова схема вітки

Величина теплового опору однорідного елемента кола, через який кондуктивним шляхом проходить потік тепла, описується формулою:

$$\Theta = \frac{1}{k} \frac{\Delta l}{\Delta S}, \quad (3.2)$$

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ		
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ		
<i>Розроб.</i>	Бойко А.П.						
<i>Перевір.</i>	Закордонєць В.С.						
<i>Консул.</i>	Закордонєць В.С.						
<i>Н.контр.</i>	Вакуленко О.О.						
<i>Зав. каф.</i>	Тарасенко М.Г.				Піт	Аркуш	Аркушів
					у		
						ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТЗс - 42	

тут  $\kappa$  - коефіцієнт теплопровідності теплового елемента;  $\Delta l$  і  $\Delta S$  - відповідно товщина елемента і площа поперечного перерізу.

Різницю температур між вузлами декількох послідовно сполучених віток можна знайти із другого закону Кірхгофа

$$T_1 - T_2 = \Delta T = \sum_{i=1}^n \Delta T_i, \quad (3.3)$$

де

$$\Delta T_i = \Theta_i P_t,$$

- різниця температур між вузлами  $i$  – тої вітки.

Зрозуміло, що результуючий тепловий опір віток сполучених послідовно

$$\Theta = \sum_{i=1}^n \Theta_i \quad (3.4)$$

тут

$$\Theta_i = \frac{1}{\kappa} \frac{\Delta l_i}{\Delta S_i},$$

- тепловий опір для вітки з  $i$  – тим елементом.

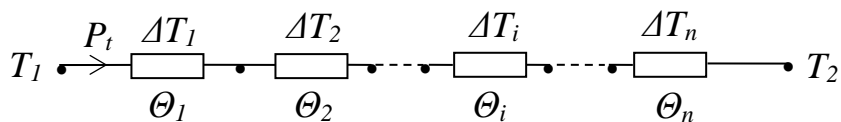


Рис. 3.2 Теплова схема послідовного сполучення

Тепловий потік, що йде від вузла теплового кола який має температуру  $T_1$  до вузла, який має температуру  $T_2$  по декількох вітках описується першим тепловим законом Кірхгофа для потоків тепла:

$$P_t = \sum_{i=1}^n P_{ti}, \quad (3.5)$$

тут, тепловий потік  $i$ -тої вітки

$$P_{ti} = \frac{\Delta T}{\Theta_i}. \quad (3.6)$$

Зрозуміло, що тепловий опір віток сполучених паралельно

$$\Theta = \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\Theta_i} \right)^{-1} \quad (3.7)$$

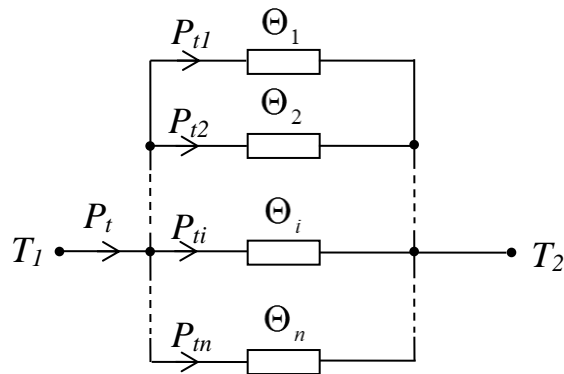


Рис. 3.3. Теплова схема віток сполучених паралельно

Конвективний потік тепла, знаходять із співвідношення:

$$P_c = \alpha S \Delta T, \quad (3.8)$$

тут:  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну конвекції з оточуючим середовищем,  $\Delta T$  - різниця температур радіатора середовища,  $S$  - площа поверхні радіатора.

Величина конвективного теплового опору теплообміну з середовищем описується формулою:

$$\Theta_c = \frac{1}{\alpha \Delta S}, \quad (3.9)$$

Сумарний тепловий опір радіатора визначається сумою кондукційної і конвекційної складових. Кондукційна визначається теплопровідністю радіатора, а конвекційна - теплорозсіюючою здатністю радіатора.

Основна проблема при обчисленні конвективного потоку тепла - визначення коефіцієнта конвекційного теплообміну  $\alpha$ . Він залежить від багатьох факторів, зокрема і від орієнтації поверхні радіатора. Наприклад, для плоского, горизонтально

$$\alpha = 1.3A \frac{\sqrt[4]{T_r - T_a}}{h} \quad (3.10)$$

Для плоского вертикально орієнтованого радіатора







Рис. 3.5 Рефлектори для СД матриць серії СХА і СХА2

В тандемі з СД матрицями можна застосовувати різноманітні термоелектричні модулі охолодження Пельтьє. Стандартні МП мають більш ніж 250 типів і мають такі розміри 15x15мм, 30x30мм, 40x40мм, 50x50 мм та ін. Типовий вигляд термоелектричного модуля приведений на рисунку.

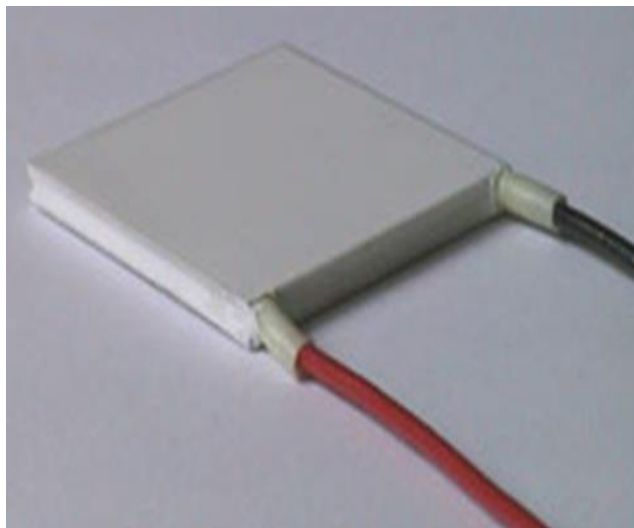


Рис. 3.6 Вигляд модуля Пельтьє

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат





світлодіодів та світлодіодних матриць можна використати модулі Пельтьє (МП).

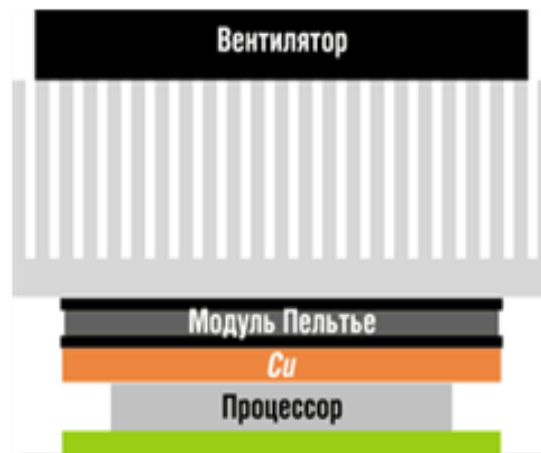


Рис. 3.7 Конструкція охолодження світлодіодної матриці з модулем Пельтьє.

Проведемо розрахунок системи охолодження СД матриці з модулем Пельтьє. Її схема охолодження зображена на рисунку. Для проведення розрахунку побудуємо теплову математичну модель.

Як відомо, СД матриця генерує теплову потужність

$$P_t = (1 - \eta_e) U_f I_f, \quad (3.12)$$

де  $I_f$ ,  $U_f$ ,  $\eta_e$  прямий струм, пряма напруга, та квантова ефективність СД матриці.

Зрозуміло, що модуль Пельтьє має поглинати потужність тепла не меншу ніж потужність тепла, яку виділяє СД матриця, інакше її охолодження буде неможливе. Навпаки, якщо МП буде поглинати надлишкову потужність, то на його холодній стороні буде конденсуватися пара. Це неминуче приведе до короткого замикання і до передчасного виходу з ладу і модуля і СД матриці. Єдино можливим шляхом зробити використання МП ефективним є використання інтерфейсного блоку, який буде регулювати потужність МП в залежності від температури світлодіодної матриці і температури середовища.

Будемо вважати, що теплова потужність, яка генерується СД матрицею повністю поглинається модулем Пельтьє

$$P_t = P_c, \quad (3.13)$$

а від гарячої сторони модуля, з допомогою радіатора відводиться надлишкова теплова потужність  $P_h$ . Щоб розрахувати тепловий режим матриці використаємо метод електротеплової аналогії. Електротеплова схема системи охолодження СД матриці з модулем Пельтьє наведена на рисунку. Використовуючи метод електротеплової аналогії та другий тепловий закон Кірхгофа знайдемо усереднену температуру р-п-переходів МП:

$$T_j = T_a + P_c \cdot (\Theta_{js} + \Theta_{sc}) + P_h \cdot (\Theta_{hr} + \Theta_{ra}) - \Delta T, \quad (3.14)$$

де  $\Theta_{js}$ ,  $\Theta_{sc}$ ,  $\Theta_{hr}$ ,  $\Theta_{ra}$  - теплові опори між р-п-переходом та контактною площадкою, між контактною площадкою і холодною поверхнею МП відповідно, між гарячою поверхнею МП і радіатором, між радіатором і середовищем,  $\Delta T$  – різниця температур між гарячою поверхнею МП і холодною поверхнею МП, яка спричинена дією ефекта Пельтьє.

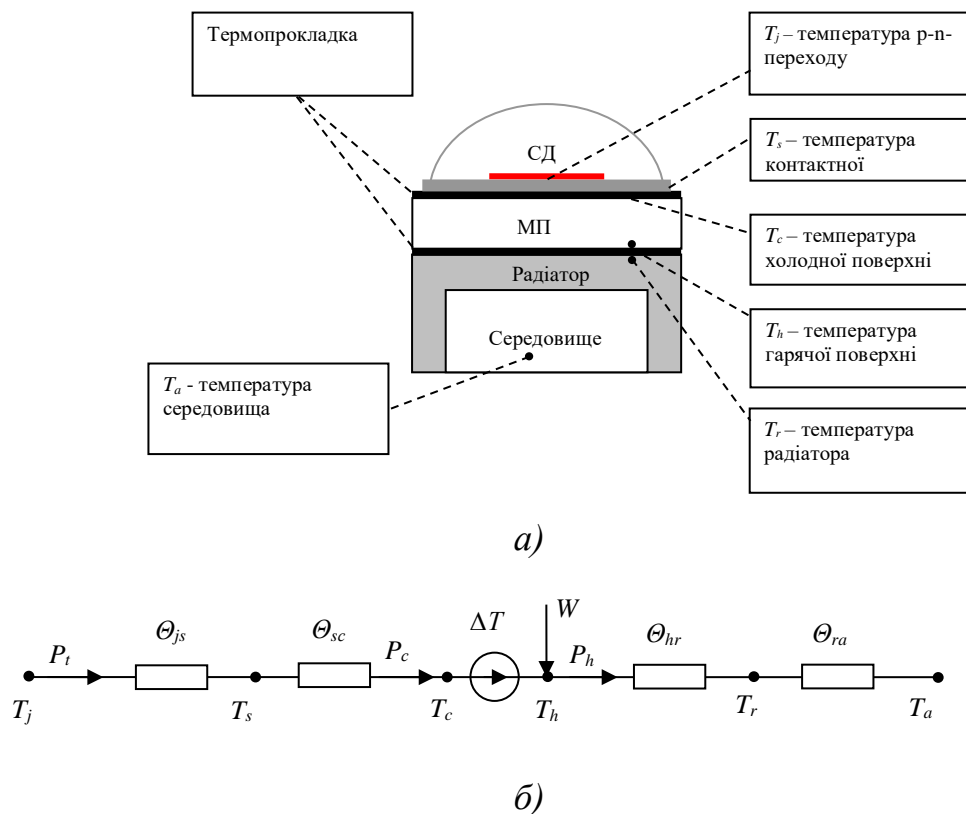


Рис. 3.8 Схема системи охолодження СД матриці з МП та радіатором (а) та його теплова схема (б), де  $T_j$  – усереднена температура р-п-переходу,  $T_s$





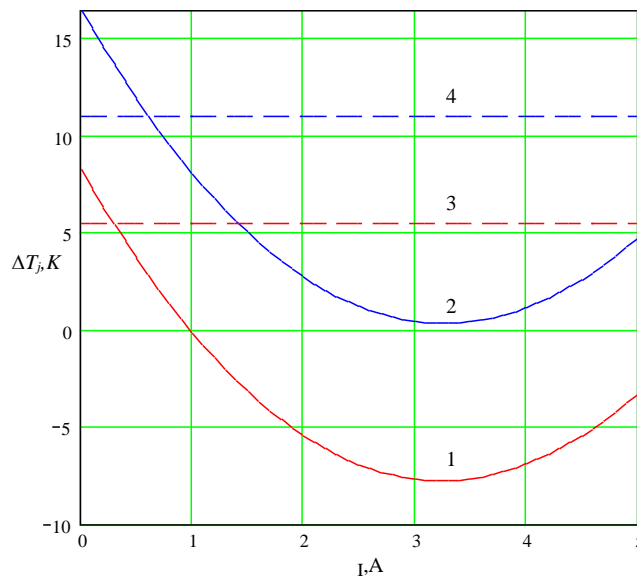


Рис.3.9 Залежність температури перегріву р-п-переходу СД матриці від струму МП при різній потужності СД матриці і при різних теплових опорах:  $\Theta_c=0.6$  K/W; і  $\Theta_h=0.2$  K/W. Неперервні лінії 1 і 2 відповідно при  $P_c=10$  W, і  $P_c=20$  W. Штрихові лінії 3 і 4 при таких же умовах, але при відсутності МП.

Мінімальні значення залежностей  $\Delta T_j(I)$  відповідають режимам роботи з максимумом ефективності системи охолодження, при яких досягається мінімальна температура р-п-переходу. Очевидно, що при близьких до ефективного струмах, МП дає нижчі значення температури в порівнянні з традиційною системою охолодження. Штриховими лініями позначені температурні залежності для системи охолодження без МП, розраховані із формули (3.20) для таких же умов.

Залежність температури перегріву р-п-переходу від струму МП при різних значеннях теплового опору з гарячого боку МП представлена на рисунку 3.10.

Залежність різниці температур від робочого струму МП при різних потужностях СД матриці представлена на рисунку 3.11. З графічних залежностей видно, що із збільшенням струму різниця температури МП між гарячою і холодною поверхнями збільшується. До того ж, він є залежним від теплового навантаження. Зокрема, при збільшенні теплової потужності СД

матриці перепад температури зменшується. Навпаки, при зменшенні потужності - збільшується.

Величина теплового опору системи охолодження суттєво залежить від режиму роботи МП та величини теплового навантаження. Якщо температура р-п-переходу СД матриці буде рівним температурі середовища або стане нижчою, то тепловий опір системи може стати нульовим.

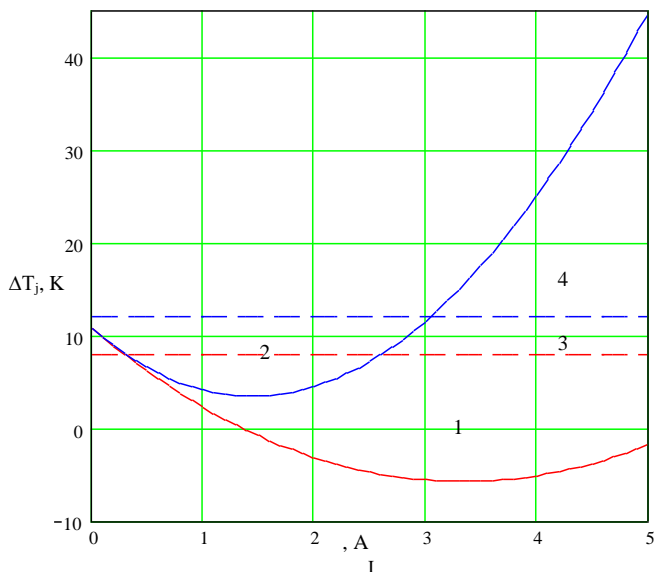


Рис.3.10 Температурна залежність перегріву р-п-переходу від струму МП при потужності СД  $P_c=10 \text{ Вт}$  і при різних теплових опорах МП. Суцільні лінії 1 і 2 при  $\Theta_h=0.2 \text{ К/Вт}$  і  $\Theta_h=0.6 \text{ К/Вт}$ . Штрихові 3 і 4 при тій же потужності і теплових опорах, але при відсутності МП.

Термоелектрична система охолодження має багато переваг в порівнянні з іншими: безшумність роботи, малу інерційність, компактність, надійність, малу вагу.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат
----	-----	---------	--------	-----

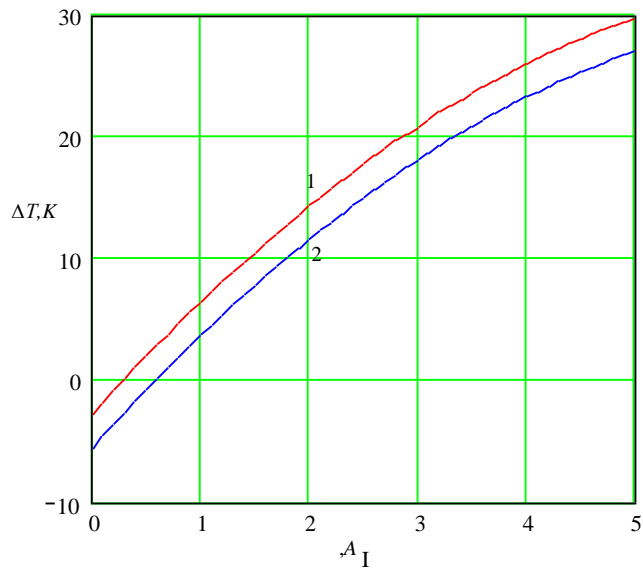


Рис. 3.11 Залежність перепаду температур МП від струму живлення при різних потужностях СД матриці. Крива 1 при  $P_c=10$  Вт, 2 - при  $P_c=20$  Вт.

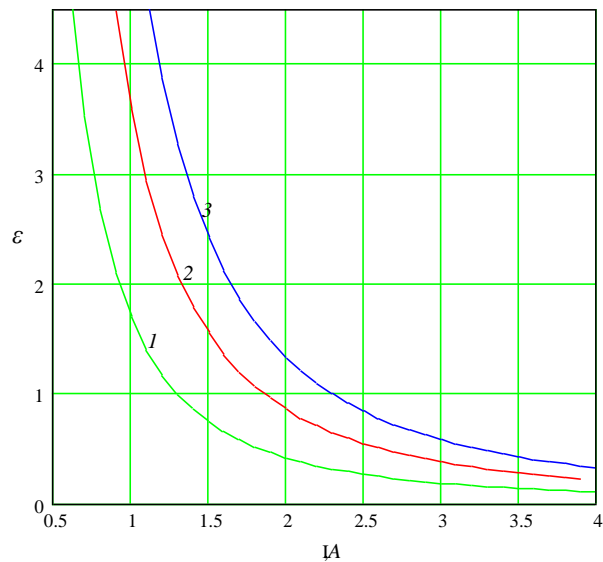


Рис.3.12 Залежність холодильного коефіцієнта від величини струму МП при різних потужностях СД матриці. Крива 1 при  $P_c=10$  Вт, 2 - при  $P_c=20$  Вт, 3 - при  $P_c=30$  Вт.

Із проведеного аналізу видно, що застосування термоелектричного охолодження взагалі і модулів Пельтьє зокрема наділяє систему терморегулювання функцією охолодження, тобто дає можливість змінити температуру р-п-переходу нижчої ніж температура середовища. Звичайно, що

повітряні системи охолодження не можуть справитися з таким завданням, а рідинні дороги, громіздкі і погано вписуються в освітлювальну систему.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		



## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, електробезпеки, пожежної безпеки світлодіодних ламп

До інфрачервоного випромінювання 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 ( $-273^{\circ}\text{C}$ ). Спектральний склад випромінювання 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

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ					
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	<b>БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>					
<i>Розроб.</i>	Бойко А.П.							<i>Піт</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Закордонць В.С							у		
<i>Консул.</i>	Гурик О.Я.									
<i>Н.контр.</i>	Вакулєнко О.О.									
<i>Зав. каф.</i>	Тарасенко М.Г.									
					ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТзс - 42					

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  $100 \text{ Вт/м}^2$  при опроміненні 50% тіла і більше.

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

Для ділянки С -  $150 \text{ Вт/м}^2$ , 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

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

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 (брезент, сукно). Для захисту очей використовують спеціальні окуляри зі скельцями жовто-зеленого або синього кольору.

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.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

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 щебет, 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 випромінювання 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 випромінювання 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

					КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

статеві рефлекси, 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  $6 \text{ мВт/см}^2$  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  $100 \text{ мВт/см}^2$  викликають стійку гіпотонію, стійкі зміни серцево-судинної системи, двосторонню катаракту. Подальше опромінення помітно впливає на тканини, викликає больові почуття. Якщо інтенсивність перевищує  $1 \text{ Вт/см}^2$ , 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

					КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

діапазоні 1...10 ГГц має кришталік. Сильні пошкодження кришталіка зумовлені тепловим впливом НВЧ (при щільності потоку енергії понад 100 мВт/см<sup>2</sup>). 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.

#### **4.2 Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів**

Дія електромагнітного імпульсу блискавки на металеві елементи будівельних конструкцій, електричні й електронні системи є вторинною дією блискавки.

Вторинні дії блискавки пов'язані з дією на об'єкт електромагнітного поля близьких розрядів. Це поле має дві складових: електростатичну та електромагнітну індукції.

Електростатична індукція зумовлена переміщенням зарядів у каналі блискавки. Електростатичний індукційний вплив проявляється у виді імпульсних перенапруг, що виникають на металевих конструкціях об'єкта. Величина імпульсної перенапруги залежить від величини сили струму блискавки, відстані до місця удару, опору заземлення. За відсутності належного

					КРБ 19-048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

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

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

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 неізольовані 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.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В напівпровідникових джерелах світла в тепло перетворюється 70-80% підведеної потужності. По цій причині вони, в обов'язковому порядку, потребують регулювання теплового режиму.
2. До основних сучасних способів термостабілізації належать: радіаторний, вентиляторний обдув, системи струйного охолодження SynJet, теплові трубки, термоелектричні модулі Пельтьє, системи гідроохолодження.
3. При розробці напівпровідникових джерел світла однією з найважливіших вимог є адекватний вибір способу термостабілізації.
4. Збільшення рівня інтеграції світлодіодних джерел світла приводить до різкого збільшення теплових потоків, з якими сучасні системи охолодження можуть не справитися.
5. Для інтенсифікації охолодження потужних світлодіодів і світлодіодних матриць можна застосовувати термоелектричні модулі Пельтьє.
6. Застосування модулів Пельтьє наділяє систему тепловідводу функцією охолодження. Це дає можливість знижувати температуру кристалів світлодіодів до нижчої температури ніж температура середовища. Ї дозволяє експлуатувати світлодіоди при температурі середовища близькі до критично високої.
7. Охолодження температури світлодіода дозволить суттєво збільшити його світловіддачу, та продовжити термін експлуатації.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ				
<i>Зм. Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>			<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Бойко А.П.						у		
<i>Перевір.</i>	Закордонєць В.С.								
<i>Консул.</i>	Закордонєць В.С.								
<i>Н.контр.</i>	Вакулєнко О.О.								
<i>Зав. каф.</i>	Тарасєнко М.Г.			ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТЗс - 42					

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ				
<i>Зм. Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>			<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Бойко А.П.						у		
<i>Перевір.</i>	Закордонцев В.С								
<i>Консул.</i>	Закордонцев В.С.								
<i>Н.контр.</i>	Вакуленко О.О.								
<i>Зав. каф.</i>	Тарасенко М.Г.			ТНТУ, каф. ЕІ, гр. ЕТзс - 42					

11. 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.
12. Schubert E. F. Light-emitting diodes. – Cambridge, 2006.
13. Вейнерт Дж. Справочник: светодиодное освещение. – М., 2010.
14. Ноэль Л. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010, № 3. С. 13–15.
15. Колпаков А. Охлаждение силовых модулей: проблемы и решения // Силовая электроника. 2012, № 3. С. 12–18.
16. Колпаков А. Охлаждение в системах высокой мощности // Силовая электроника. 2010, № 3. С. 62–66.
17. Шостаковский П. Современные решения термоэлектрического охлаждения. / П. Шостаковский // [Компоненты и технологии](#). – 2009. – № 12. – С. 40-46.
18. Закордонь В.С., Рекуник Т.М. Стабілізація температурного режиму світлодіодних систем термоелектричними модулями охолодження// Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 16-17 листопада 2017., м.Тернопіль. – С.138.
19. Староверов К. Системы охлаждения для светодиодов. / К. Староверов // [Новости электроники](#). – 2008. – № 17. – С. 21-23.
20. Гонин М. Спасительная прохлада, или теплоотвод для мощных светодиодных матриц. / М. Гонин // [Новости электроники](#). – 2013. № 2.
21. Поль А. Особенности расчета систем отвода тепла при использовании светодиодов в корпусах PLCC // Полупроводниковая светотехника. 2010, № 5. С. 54–57.
22. Арутюнян А. А. - Основы энергосбережения. Москва, Энергосервис. – 2007.-387с.

23. Рохлин Г.Н. Газоразрядные источники света . М.: Энергоатомиздат, 1991.-586с.
24. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00–1.21–98.
25. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці : підручник / М. П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський; за ред.. М.П. Гандзюка; МОН України. – 4-е вид. – К. : Каравела, 2008. - 384 с.
26. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики. / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 735 с.
27. Беляев Н.М. Методы теории теплопроводности. Ч.1. / Н.М. Беляев, А.А. Рядно. – М.: Высш. шк., 1982. –327 с.
28. В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев Электроника. М: Высш. школа, 1991 г. - 622 с.
29. 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.

					КРБ 19–048.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		