

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА АКУМУЛЯТОРАМИ ТЕПЛА

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи ЕТ.41

напряму підготовки (спеціальності)

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кулініч П. П.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Закордонець В. С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Коваль В. П.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Романюк Л. А.

(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«_____» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Кулініч Павло Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА
АКУМУЛЯТОРАМИ ТЕПЛА**

Керівник проекту (роботи)

Закордонець Володимир Савич

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

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

2. Термін подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

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

Зробити аналітичний огляд літературних джерел

Написати проектно-конструкторський розділ

Написати розрахунковий розділ

Написати висновки до роботи

Оформити список використаних літературних джерел

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

Мета роботи, об'єкт дослідження, наукова новизна

Висновки

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Павла Кулініча «Розробка системи термостабілізації напівпровідникових джерел світла акумуляторами тепла» містить: 60 сторінок, 23 рисунки, 9 таблиць, 23 посилання на першоджерела.

Предметом дослідження є напівпровідникові джерела світла.

Метою роботи є розробка та створення високоефективної системи стабілізації теплового режиму напівпровідникових джерел світла світла акумуляторами тепла на основі фазового переходу першого роду.

Об'єктом дослідження є система термостабілізації напівпровідникових джерел світла з тепловим акумулятором .

Основні результати: побудовано теплову математичну модель напівпровідникового джерела світла, яка описує вплив основних технічних параметрів: електричної потужності, теплового опору, температури довкілля на температурний режим; розраховано температурний режим напівпровідникового джерела світла з тепловим акумулятором; оптимізовано конструкцію пристрою.

Ключові слова: СВІТЛОДІОДНА МАТРИЦЯ, ПЛАВЛЕННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЯ, ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, СВІТЛОВІДДАЧА, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, ТЕРМІЧНИЙ ОПІР.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Світлодіодні джерела світла як джерела тепла	8
1.2 Вплив нагріву на параметри джерела світла	12
1.3 Практичні конструкції стабілізаторів температури СД	13
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Термодинаміка плавлення	21
2.2 Будова та принцип дії акумулятора тепла	25
2.3 Типи акумуляторів тепла	27
2.4 Особливості експлуатації напівпровідникових джерел світла	31
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	35
3.1 Розробка та конструювання акумулятора тепла	35
3.2 Способи акумуляування теплової енергії	36
3.3 Розрахунок системи термостабілізації світлодіодних матриць тепловим акумулятором	42
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	51
4.1 Аналіз шкідливих виробничих факторів, електробезпеки, пожежної небезпеки світлодіодних ламп	51
4.2 Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57

ВСТУП

В даний час, щорічне сукупне світове споживання енергетичних ресурсів еквівалентно 13 ТВт (TW). При цьому, до кінця поточного століття, прогнозована чисельність населення та економічне зростання підвищаться майже в три рази. Це неминуче спричинить значне збільшення світового споживання енергії. Тому, ощадне використання електричної енергії має першочергове значення.

В зв'язку із сказаним, напівпровідникові освітлювальні технології досить швидко завойовують світовий світлотехнічний ринок продукції [1]. Сучасні потужні напівпровідникові джерела світла містять велику кількість світлодіодів і світлодіодних матриць. В плані енергоощадності, вони дуже перспективні для використання як в побуті так і в промисловості. Це можна пояснити цілим рядом властивостей, які не притаманні традиційним джерелам світла: лампам розжарювання, галогенним лампам, люмінесцентним лампам та ін.. Світлодіодні лампи і освітлювачі створюють великий потік світла при малій потужності споживання електроенергії. При цьому, вони випромінюють світлові промені довільного забарвлення і мають великий термін експлуатації [1, 4]. Крім того, їх термін експлуатації складає понад 100000 годин безвідмовної роботи. Завдяки відсутності механічно вразливих елементів напівпровідникові джерела світла надзвичайно надійні й міцні. Є й інші чудові якості: екологічна чистота; безпека експлуатації; мініатюрність; технологічність; широкий спектр напруг живлення та струмів.

Найважливішою перевагою світлодіодних джерел світла є їх енергоефективність та ощадність. Енергоефективністю (світловіддачею) називають відношення виробленого світлового потоку (в люменах) до спожитої (у ватах) електричної потужності. В системі одиниць SI світловіддача вимірюється в люменах на ват (лм/вт) і є одним з основних критеріїв оцінки ефективності джерел світла. Чим це відношення більше, тим джерело

енергоефективніше. Для порівняння, світловіддача ламп розжарювання складає всього 10-15 лм/вт, галогенних – 15-20 лм/вт, ламп – 40-70 лм/вт, а сучасних LED - приладів – 80-120 лм/вт. При цьому світловіддача напівпровідникових джерел світла невинно зростає. Сучасні світлодіоди здатні випромінювати 130-135 лм/вт, а надсучасні вже перетнули межу 200 лм/вт і це на межа.

Світлодіодні лампи споживають від 3% до 60% потужності традиційних ламп з аналогічним світловим потоком (ламп розжарювання, галогенних, люмінесцентних), забезпечуючи високу якість світла. Зокрема, використання напівпровідникових джерел світла заощаджує споживання електричної енергії майже на 93% в порівнянні з лампами розжарювання, 90% – в порівнянні з галогенними, більш ніж 70% – з металогалогенними та близько 66% порівняно з люмінесцентними. Очевидно, що LED-лампи споживають суттєво меншу потужність і при цьому випромінюють більший світловий потік. Це дозволяє зменшити витрати на освітлення та заощадити на комунальних послугах. За енергоефективністю саме світлодіодні лампи вважаються найбільш ефективними.

Незважаючи на те, що світлодіоди називають холодними джерелами світла, до 70% спожитої від мережі енергії перетворюється в тепло [4]. Порушення теплового режиму СД приводить до: зменшення світлового потоку, зменшення яскравості свічення, деградації світлових характеристик, зниження світлової проникності оптичної системи. В зв'язку із цим особливо важливим стає забезпечення адекватного теплового режиму світлодіоду. Для кардинального розв'язку цієї проблеми треба удосконалювати якість напівпровідникових матеріалів. В той же час вдало і грамотно сконструйований тепловідвід вже сьогодні дасть можливість суттєво поліпшити експлуатаційні характеристики вже існуючих світлодіодних джерел світла.

В роботі, для стабілізації теплового режиму світлодіодних джерел світла були застосовані теплові акумулятори в парі з пасивними радіаторами [5-9]. Застосування теплових акумуляторів дозволяє каналізувати потік тепла за межі освітлювального приладу, знижуючи тим самим температуру активної зони

приладу. Термостабілізація дає можливість значно збільшити світловіддачу, покращити якість світла і продовжити термін експлуатації освітлювального приладу.

Метою роботи є розробка і створення нової системи стабілізації теплового режиму світлодіодів та світлодіодних матриць, які працюють у режимі повторно-короткочасних тепловиділень, яка базується на спільному використанні робочих речовин, що плавляться.

Постановка завдання. На основі математичної моделі світлодіодного модуля встановити аналітичні співвідношення між його потужністю, параметрами теплового акумулятора та температурою середовища.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Світлодіодні джерела світла як джерела тепла

До світлодіодних джерел світла відносяться світлодіоди (СД), світлодіодні матриці (СДМ) а також світлодіодні лампи. Хоч характер світла в усіх випадках однаковий, проте між ними існує велика різниця. Світлодіодні джерела світла є твердотільними випромінювачами, які мають протиударну вібростійку конструкцію. Вони стійкі до механічних пошкоджень, вандалостійкі, не містять скляних колб, спіралей та інших крихких елементів [1].

Світлодіод – це самостійне, незалежне джерело світла, яке може використовуватися і в якості індикатора для підсвітки органів управління механізмами і приладами.



Рис. 1.1. Світлодіодні індикаторні лампи (ІЛ).

В світлодіодному модулі об'єднані декілька окремих світлодіодів, які напаюються на друковану плату. Світлодіодний модуль представлений на рисунку 1.2. До модулів відносяться також світлодіодні стрічки.



Рис. 1.2 Світлодіодні модулі

Світлодіодні лампи (СЛ) містять групу світлодіодів або світлодіодних матриць які знаходяться на друкованій платі, об'єднані в одному корпусі, і мають цоколь для установки в світильниках. Такі лампи виглядають як звичайні лампи розжарювання і мають аналогічний цоколь кріплення. СЛ лампи можуть застосовуються в побутових люстрах і дають можливість швидко замінити лампи, які вийшли з ладу [4, 5].



Рис. 1.3 Зовнішній вигляд сучасних світлодіодних ламп

Світлодіодний освітлювач – це освітлювальний прилад, який містить вбудовані незнімні світлодіодні модулі або світлодіодні ламп.



Рис. 1.4 Світлодіодні освітлювачі

Конструкція світлодіодних освітлювачів досить складна. Оскільки напруга живлення світлодіодів постійна і складає 12-24 В, то в корпусі світлодіодних освітлювачів треба розмістити спеціальний блок живлення – драйвер. Він випрямляє, стабілізує та обмежує величину струму до необхідної величини. Як правило, драйвер є електронною монтажною платою, на якій встановлені електронні мікросхеми, номенклатура яких визначає потужність і тип драйвера.

Характерною визначальною рисою світлодіодів є залежність параметрів світлодіодів від температури. За захист світлодіодів від перегріву і за каналізацію надлишкового тепла і відповідає система термостабілізації. Хоча корпус світильника виготовляється з анодованого алюмінію, який має велику теплопровідність, більшість конструкцій має додатковий охолоджувальний радіатор [7, 8].

Радіатор, це теплопровідна ,оребрена пластина яка органічно інтегрована в корпус світильника. Така конструкція забезпечує відведення максимальної кількості теплової енергії від активної зони, чим запобігає перегріву світлодіодних ламп. Крім зазначеного, СД-прилади включають вбудований диммер. Він регулює керує освітленням за допомогою сенсорного пульта. На сьогодні, дякуючи цілому ряду беззаперечних переваг, світлодіодні лампи є найбільш популярними в усьому світі і поступово замінюють традиційні типи освітлювачів.

Звичайно, що найголовнішою перевагою світлодіодних джерел світла є їх високий ККД, економність та енергоефективність. Енергоефективністю називається відношення випроміненого світлового потоку (лм.) до затраченої електричної потужності (ват). В міжнародній системі одиниць SI енергоефективність вимірюється у лм/вт і є найголовнішим критерієм оцінки якості джерел світла. Часто також застосовують термін світловіддача. Чим відношення світлового потоку до потужності більше, тим джерело світла енергоефективніше. Наприклад, енергоефективність лампи розжарювання

складає порядка 10-15 лм/вт, галогенної лампи – 20-25 лм/вт, люмінесцентних ламп – 40-70 лм/вт, а сучасних світлодіодних ламп – 80-120 лм/вт. Слід зазначити, що енергоефективність світлодіодних ламп весь час збільшується. Так, сучасні світлодіодні лампи мають світловіддачу 130-135 лм/вт, а надсучасні – перевершили величину 200 лм/вт, і це ще не межа.

В сукупності, сучасні світлодіодні лампи споживають від 3% до 60% потужності традиційних ламп, які мають рівний з ними світловий потік, забезпечуючи при цьому високу якість освітлення. Зокрема, використання світлодіодних джерел ламп заощаджує споживання більш ніж 93% електроенергії порівняно з лампами розжарювання, майже 90% – порівняно з галогенними лампами, майже 70% – з металогалогенними та більш ніж 66% в порівнянні з люмінесцентними лампами. Це дає можливість зменшити сукупні витрати на освітлення та зекономити на комунальних послугах. За світловіддачею якраз світлодіодні лампи вважаються найефективнішими.

Крім енергоефективності, світлодіодні лампи порівняно з іншими світловими приладами мають досить довгий термін служби. Так наприклад, термін служби СД-лампи складає понад 50000 годин, що відповідає 12 повним рокам служби при дванадцятигодинній щоденній роботі. Світлодіодні світильники служать навіть більше, від 80 до 100 тисяч годин, що складає понад 20 років безвідмовної роботи. Це набагато перевищує терміни служби інших ламп.

Так, наприклад, термін служби лампи розжарювання складає не більше 1000-2000 годин, галогенних ламп – до 2000-4000 годин, люмінесцентних ламп 2000 - 10 000 годин. Очевидно, що напівпровідникові світлодіодні лампи поза конкуренцією [9-11].

Частково, такий тривалий термін експлуатації світлодіодних ламп пояснюється тим, що вони живляться драйвером, який захищає їх від стрибків і провалів електроенергії, вищих гармонік, тощо. Крім зазначеного, СД - лампи не мають елементів, які передчасно виходять з ладу і вимагають регулярного

обслуговування та догляду протягом терміну експлуатації. Ця обставина забезпечує і високу рентабельність СД- ламп [12].

Крім зазначеного, СД - прилади мають і інші чудові якості. Так, вони загораються за мікросекунди, і практично миттєво створюють максимальний світловий потік. Світлодіодні освітлювачі не критичні до частих комутацій в порівнянні з лампами розжарювання (люмінесцентними лампами), яким необхідний деякий час на розігрів. СД-лампи сразу випромінюють світло необхідного кольору (без використання кольорових фільтрів). Адже світло світлодіодів генерується забарвленим і використовувати світлофільтри нема необхідності.

1.2 Вплив нагріву на параметри джерела світла

При протіканні струму через світлодіод, виділяється тепло Джоуля. В результаті чого він нагрівається, а його температура зростає. Вплив температурної залежності на технічні параметри напівпровідникових джерел світла неодноразово досліджувався ряді наукових робіт. Наприклад, в роботі [1] експериментально досліджувався вплив сили струму на температуру поверхні світлодіода. Була виміряна експериментально та порахована теоретично розрахована температура його поверхні в залежності від струму та температури довкілля. При цьому використовувалися методи електро-теплової аналогії [5].

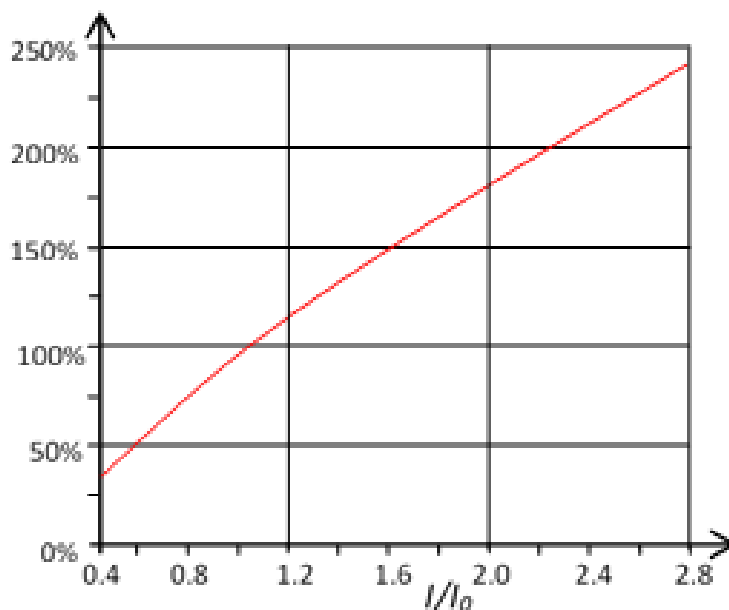


Рис. 1.5. Залежність відносного світлового потоку світлодіода від струму живлення для приладів серії *GREE Xlamp*.

Дослідження впливу розігріву елементів конструкції СД струмом живлення на світловий потік проводився і в роботах [4-7]. При цьому, був здійснений порівняльний аналіз ефективності якості термостабілізації різними типами радіаторів. Зроблені важливі висновки щодо ефективності термостабілізації режиму роботи СД.

Із приведеної графічної залежності видно, що для збільшення потоку світла СД треба збільшувати струм живлення. Однак, збільшення сили струму, сприяє збільшенню виділення в активних елементах теплоти Джоуля. Кількість тепла буде тим більшою, чим буде більшою потужність світлодіода.

Як вже відомо, ККД сучасних світлодіодів досягає 35%. Отже, майже 65% електричної потужності перетворюється в тепло. Якщо виділену теплову енергію не забирати, то це гарантовано призведе до перегріву світлодіода. Зрозуміло, що некероване збільшення його температури в призведе до зменшення світлового потоку і яскравості свічення. Вважають, що після того як світловий потік досягне 50-60% від початкового, заявлений час служби СД закінчується. Таким чином, першорядного значення набуває проблема стабілізації робочої температури активної зони світлодіода чи світлодіодної матриці. Для розв'язання цієї задачі важливо забезпечити якісний тепловий контакт всіх складових теплового кола СД.

1.3 Практичні конструкції стабілізаторів температури СД.

Конструкції стабілізаторів температури СД умовно можна поділити на два типи: пасивні і активні.



Рис. 1.6. Пасивна термостабілізація СД

До пасивних відносяться стабілізатори, в яких тепло, яке генерується при роботі світлода кондуктивно передається корпусу освітлювача, а потім конвективним шляхом до навколишнього середовища [8].

Пасивна термостабілізація світлодіодів є дешевим проте не найефективнішим способом утримання температури активної зони в заданих межах. До того ж, такий спосіб термостабілізації має вкрай низьку функціональну гнучкість, оскільки не передбачає регулювання температури активної зони. Поліпшити якість пасивного охолодження СД можна при допомозі локального радіатора. Для цього світлодіод або світлодіодну матрицю кріплять на індивідуальний радіатор. Оскільки матеріал радіатора має велику теплопровідність, то багаторазово збільшується площа розсіювання. На наступному етапі вмикається механізми конвекції та випромінювання, завдяки яким радіатор охолоджується.

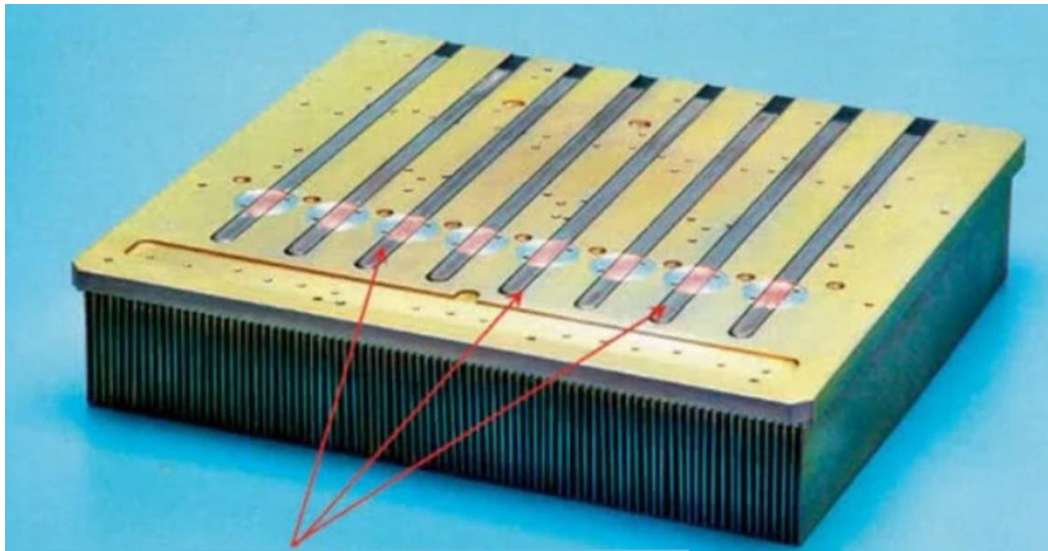


Рис 1.7. Активний радіатор із вмонтованими тепловими трубками

Спроможність радіатора розсіювати тепло вибирають керуючись потужністю СД і їх кількістю в СД - лампі. Як правило, до LED-ламп пред'являються досить високі вимоги по габаритних параметрах, внаслідок чого часто виникає потреба у виготовленні радіатора під конкретний прилад [9]. В розглянутих працях розглядалося розміщення СД безпосередньо на металевих радіаторах. Однак, у випадку термостабілізації потужних світлодіодних матриць із щільною упаковкою СД-елементів часто буває необхідним просторовий поділ джерела тепла і місця його скидання.

Просторовий поділ потрібний і тоді, коли розміри пасивного радіатора, надто великі. Наприклад, його контактна поверхня суттєво перевищує лінійний розмір джерела світла або коли його висота виступає за наперед визначені габаритні розміри. Очевидно, що в цьому випадку стає зовсім неможливо встановити радіатор не порушуючи правила конструювання приладом. Проблема досить легко розв'язується при застосуванні теплових трубок. Теплові трубки доцільно використовувати тоді, коли треба є потреба відібрати тепло від джерела тепла до місця охолодження на деяку відстань (більшу п'яти сантиметрів). Для коротших відстаней цілком вистачає суцільних металевих стержнів (мідних чи алюмінієвих).

Способи активного охолодження та термостабілізації СД.

Таблиця 1.1

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.

Тобто, теплові трубки можуть кардинально вирішити проблему термостабілізації в тому випадку, коли потрібно забезпечити термостабілізацію СД - елементів з великою питомою потужністю виділення тепла, а також коли необхідно передати значну кількість тепла на велику відстань. Слід зазначити, що теплові трубки є пасивними засобами охолодження. Вони не потребують живлення, не створюють додаткового побічного шуму, мають високу надійність та малу масу.

Якщо для теплової стабілізації СД - ламп пасивних засобів замало, прийдеться застосовувати активні засоби. Таких засобів є дуже багато - від різноманітних вентиляційних пристроїв типу SynJet до термоелектричних холодильних модулів [10]. Найбільш поширені засоби та способи активного охолодження та термостабілізації СД приведені в таблиці 1.2.

Аналіз показує, що для термостабілізації світлодіодних джерел світла потужністю понад 15 Вт, є необхідність застосовувати примусове повітряне обдування електричними вентиляторами [11]. Практична схема вентиляторного охолодження і термостабілізації СД приведена на рисунку 1.4.

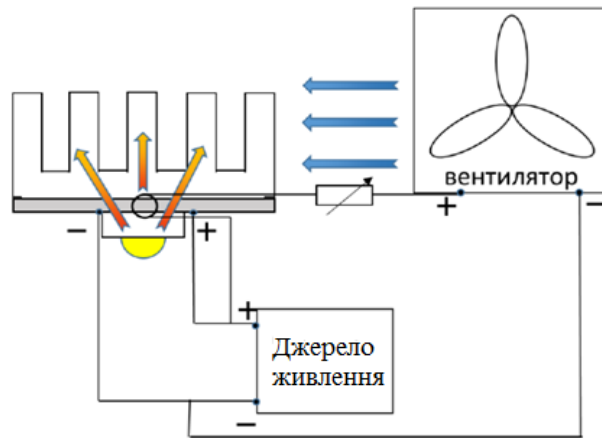


Рис.1.8 Схема термостабілізації і охолодження СД електричним вентилятором.

В комплекті з електричним вентилятором часто ставлять голчасті радіатори. Це пов'язано з тим, що шипи-голки найкраще обдуваються повітряним потоком. Крім того їх ефективність не залежить від просторової орієнтації. Для прикладу, типова залежність теплового опору голчастого радіатора від швидкості повітряного потоку зображена на рисунку. Добре відомо, що обдування радіаторів потоками холодного повітря є створює небажаний шум [12, 13]. Лопаті вентилятора генерують коливання, які погано впливають на нервову систему людини.

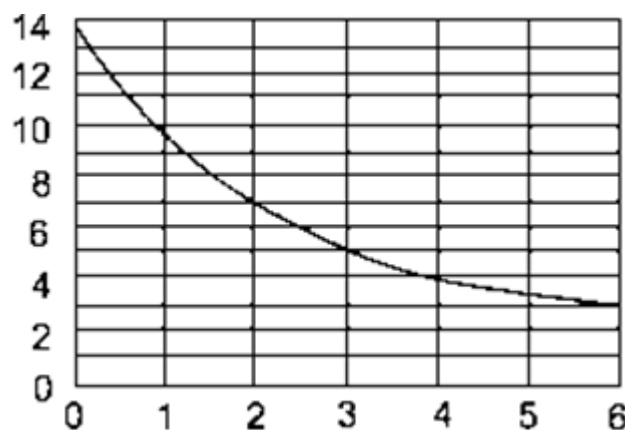


Рис. 1.9 Графічна залежність термічного опору металевого голчастого радіатора (Вт/К) від швидкості потоку повітря (м/с).

Щоб цей чинник звести до мінімуму, або навіть його зовсім нівелювати його вплив використовують низькооборотні, малошумні електродвигуни. Якщо

врахувати термін служби таких двигунів перевищує 200 тисяч годин, то їх застосування є революційним проривом в індустрії термоохолодження СД.

В теперішніх напівпровідникових джерелах світла, для мінімізації рівня акустичного шуму використовують струменеву технологію обдуву. Це, пристрій струменевого обдуву холодними потоками повітря SynJet, зображений на рисунку.



Рис. 1.10 Пристрій обдуву потоками холодного повітря SynJet.

Аналіз можливих способів термостабілізації джерел світла показав, що використання традиційних систем, які працюють на основі повітряного, водяного, і кондуктивного охолодження часто є неможливим через експлуатаційні та масогабаритні обмеження. На сьогоднішній день досить перспективним способом відводу тепла від світлодіодних світла може стати застосування плавких робочих речовин, які мають порівняно велику теплоту фазових перетворень і надійну багаторазову оборотність фазових перетворень. До найпоширенішого типу таких конструкцій належать конструкції, в яких охолоджувані джерела світла розміщуються в тепловому контакті з контейнером із робочою речовиною яка плавиться. При цьому, частина теплової енергії, яка виділяється при роботі СД розсіюється радіаторами, а частина поглинається робочою речовиною за рахунок прихованої теплоти плавлення. [21]. По закінченні роботи СД відбувається охолодження робочої

речовини, і внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем її кристалізація і тверднення. Безсумнівно, що для інтенсифікації теплообміну контейнера з довкіллям необхідно застосовувати активне повітряне охолодження. Місце його локалізації вибирають індивідуально. Як правило, вентилятори розміщують під контейнером із робочою речовиною, яка плавиться. В цьому випадку конвекційні потоки теплого повітря і співпадають з потоком вентилятора. Для зменшення теплового опору наповнювача передбачено розділення робочого контейнера на кілька відсіків, заповнених робочими речовинами з різними температурами плавлення. Причому температура плавлення робочих речовин зростає в напрямку до джерела тепла. Це пов'язано з тим, що в процесі плавлення утворюється тверда фаза, яка має значний тепловий опір. Причому температура твердої фази буде зменшуватися в напрямку від джерела тепла до джерела холоду (радіатора). Таким чином фронт розплаву буде поширюватися зверху вниз.

На рисунках нижче представлені теплові різні конструкції теплових акумуляторів.

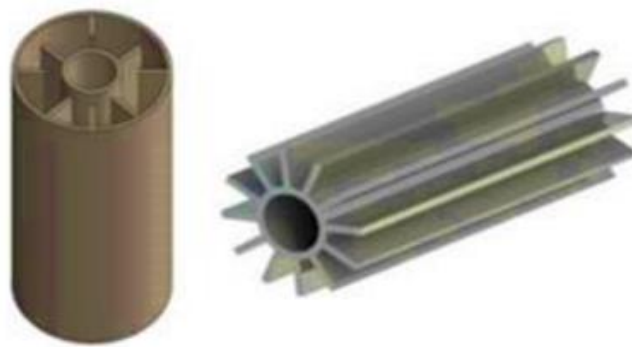


Рис. 1.11. Тепловий акумулятор з радіальними теплообмінними ребрами.

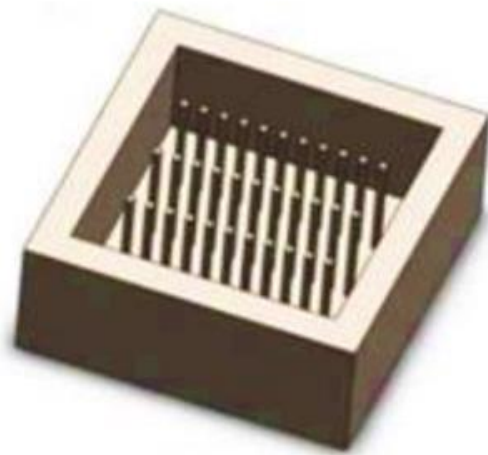


Рис. 1.12. Тепловий акумулятор з штирьовими теплообмінними ребрами.

Характеристики теплообмінних ребер, зокрема їх розмір, тип, відстань між ними і їх кількість впливають на характеристики теплового контейнера. Форма та конструкція ребер може бути різною. Зокрема, на рисунках 1.7. та 1.8. приведені конструкції теплових акумуляторів з радіальними та штирьовими ребрами.

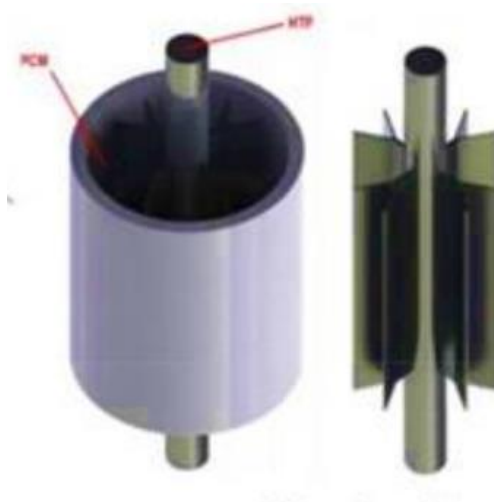


Рис. 1.13. Тепловий акумулятор з деревовидними теплообмінними ребрами.



Рис. 1.14. Тепловий акумулятор з пластинчастими теплообмінними ребрами.

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Термодинаміка плавлення

Фізичні тіла за певних умов перебувають в деякому цілком визначеному агрегатному стані - твердому, рідкому або газоподібному. Проте, зміна температури, може спричинити якісні перетворення їхніх властивостей: тверді тіла можуть стати рідинами, рідини випаруватися і перейти в газоподібний стан. Навпаки, гази можна скраплити, а рідини - кристалізувати. Ці взаємні трансформації відбуваються внаслідок теплопередачі, яка приводить до зміни внутрішньої енергії тіл. Якщо, наприклад, до твердого кристалічного тіла підвести теплоту, то його температура поступово буде підвищуватися. При досягненні певної критичної температури, тіло почне плавитися. Тепловий

процес, при якому тверде тіло переходить у рідкий стан, називається плавленням. Процес плавлення у кристалічних і аморфних тіл протікає по-різному. В кристалічних тілах, структура яких має періодичний порядок розміщення молекул і атомів, плавлення починається при досягненні певної фіксованої температури, яка називається температурою плавлення. В аморфних тілах фіксованої температури плавлення немає. Процес плавлення відбувається при поглинанні теплоти. Якщо підведення теплоти припиниться, то припиниться і процес плавлення. Це зумовлено тим, що для послаблення міжатомної і міжмолекулярної взаємодії, яка утримує їх в зв'язаному стані, потрібна деяка додаткова енергія, яка здатна зруйнувати їх впорядковане розміщення. Завдяки процесу теплопередачі зовнішня енергія надходить до тіла і воно плавиться. Під час плавлення температура тіла не змінюється, так як вся підведена енергія йде на руйнування міжатомних і міжмолекулярних зв'язків. Оскільки атоми і молекули в різних речовинах взаємодіють з різною силою, то для їх плавлення потрібна різна кількість теплоти. Для характеристики процесу плавлення вводять фізичну величину, яка називається питомою теплотою плавлення.

Як показує досвід, під час нагрівання твердого тіла його температура зростає, і досягає температури плавлення. Подальше нагрівання речовини не призводить до підвищення її температури, поки вона вся не розплавиться. Все тепло, яке підводиться до речовини, йде тільки на роботу з руйнування кристалічної ґратки. Воно називається теплотою плавлення. Зясуємо, чому при температурі плавлення тіло розриває певну частину міжатомних зв'язків, і з кристалічного стану переходить в рідкий. Відомо, що при фіксованій температурі речовина яка плавиться прагне мінімізувати свою вільну енергію

$$F = E - TS, \quad (2.1)$$

де F – вільна енергія, E – енергія кристалу, S – ентропія, T – абсолютна температура.

Вільна енергія, як і ентропія є термодинамічним параметром і визначається співвідношенням

$$F = U - TS, \quad (2.2)$$

де U внутрішня енергія.

Вільна енергія є адитивною величиною, і залежить від кількості частинок термодинамічної системи, її об'єму і температури.

Диференціал вільної енергії F визначається співвідношенням

$$dF = -SdT - pdV + \mu dN \quad (2.3)$$

де N – кількість частинок речовини що плавиться, V - її об'єм, μ - хімпотенціал, p - тиск.

Приріст вільної енергії між кінцевим та початковим станом термодинамічної системи визначає максимальну роботу, яку можна виконати при плавленні в даному термодинамічному процесі. При оборотному процесі максимальна корисна робота в процесі плавлення, яку можна отримати при постійній температурі та незмінному об'ємі описується співвідношенням

$$-\Delta F = -\Delta U + T\Delta S, \quad (2.4)$$

В стані термодинамічної рівноваги вільна енергія досягає мінімуму

$$\Delta F < 0, \quad (2.5)$$

а умовою перебігу термодинамічних процесів у напрямку рівноваги в процесі плавлення є умова (2.4).

При невисоких температурах другою складовою формули (2.2)(добуток температури на ентропію) можна знехтувати, в результаті чого розрахунок зведеться до мінімізації енергії кристалу. Агрегатний стан речовини з мінімальною енергією - це і є його тверда фаза - кристалічне тіло. При збільшенні температури, другий доданок збільшується, і при певній температурі, для мінімізації внутрішньої енергії стає вигіднішим розірвати міжатомні (міжмолекулярні) зв'язки. Хоча при цьому внутрішня енергія кристалу збільшиться, але значно збільшиться і ентропія. В результаті чого це призведе до зменшення вільної енергії.

Внутрішня енергія системи містить у собі: кінетичну енергію поступального, обертального і коливного руху молекул; потенціальну енергію їх взаємодії; внутрішньоядерну енергію; енергію електронних оболонок атомів.

У більшості теплоенергетичних процесів дві останні складові залишаються незмінними. Тому, під внутрішньою енергією розуміють енергію хаотичного руху молекул і атомів, яка включає енергію поступального, обертального і коливального руху, як молекулярного, так і внутрішньо – молекулярного, а також потенціальну енергію сил взаємодії між молекулами.

Кінетична енергія молекул, обумовлена швидкістю руху і є однозначною функцією температури. Значення потенціальної енергії обумовлено силами взаємодії між молекулами і, отже, залежить від середньої відстані між ними і від займаного газом об'єму V , тобто є функцією об'єму. Тому, внутрішня енергія є однозначною функцією стану тіла, тобто будь-яких двох незалежних параметрів, які визначають цей стан:

$$U = f_1(p, T); \quad U = f_2(V, T); \quad U = f_3(p, V), \quad (2.6)$$

Оскільки, внутрішня енергія є функцією стану тіла, то її зміна ΔU в термодинамічному процесі не залежить від характеру процесу, а визначається тільки початковим і кінцевим станом тіла:

$$\Delta U = U_1 - U_2, \quad (2.7)$$

Таким чином, нескінченно мале збільшення внутрішньої енергії є повним диференціалом, а її зміна в будь-якому процесі

$$\Delta U_{12} = \int_1^2 dU = U_2 - U_1, \quad (2.8)$$

Приріст внутрішньої енергії можна виразити через приріст функцій V , T і p :

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV, \quad (2.9)$$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_p dT + \left(\frac{\partial U}{\partial p} \right)_T dp, \quad (2.10)$$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial p} \right)_V dp + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_p dV. \quad (2.11)$$

В ідеальному газі сили взаємодії між молекулами відсутні, тому потенціальна енергія молекул рівна нулю. Таким чином, під внутрішньою енергією ідеального газу розуміють тільки кінетичну енергію теплового руху

молекул. Отже, внутрішня енергія ідеального газу залежить тільки від температури газу, тобто: $U = U(T)$. Отже,

$$U = \sum_{k=1}^N \overline{E_k} = N \cdot \overline{E_k} + const, \quad (2.12)$$

де $\overline{E_k} = \frac{m\overline{v}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$ середня кінетична енергія молекул речовини.

В динаміці процес плавлення відбувається слідуочим чином. При збільшенні температури тіла збільшується амплітуда теплових коливань молекул і атомів. При цьому, спонтанно виникають дефекти кристалічної ґратки. Кожний наступний дефект потребує додаткової кількості енергії, оскільки він супроводжується руйнуванням міжатомних зв'язків. Стадія виникнення і нагромадження дефектів називається стадією передплавлення. Крім того, на стадії передплавлення на поверхні тіла, як правило, виникає квазірідкий шар. При деякій температурі концентрація дефектів стає настільки великою, що це призводить до втрати орієнтаційного порядку в зразку. Тверда фаза переходить в рідку.

Виходячи з припущення, що плавлення відбувається тоді, коли амплітуда коливань атомів стає рівною десятій долі періоду кристалічної ґратки можна оцінити температуру плавлення твердих тіл. Так, згідно з критерієм Ліндемманна

$$T_{пл} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot m_0 \cdot c_L \cdot a^2}{k_b} \quad (2.13)$$

маса атомів кристалу, a - період кристалічної ґратки, k_b - стала Больцмана, c_L - стала Ліндемманна, яка приблизно однакова для всіх кристалічних ґраток одного типу.

Критерій Ліндемманна наближено прогнозує температуру плавлення простих кристалічних матеріалів. Незважаючи на невисоку точність, критерій широко використовується для оцінки температури плавлення і величини амплітуди атомних коливань, при якій починають руйнуватися хімічні зв'язки.

Перехід речовини з кристалічного стану в рідкий відбувається за певних умов, які характеризуються рівноважними значеннями температури і тиску.

Рівновазі цих фаз на pT - діаграмі відповідає крива, яка називається кривою плавлення. Її рівняння описується рівнянням Клапейрона - Клаузіуса. Перепишемо його у вигляді

$$\frac{dT}{dp} = T \frac{(v_1 - v_2)}{q_{12}}, \quad (2.14)$$

де v_1 і v_2 - питомий об'єм (в розрахунку на одну частку) відповідно в твердому і рідкому станах.

У більшості випадків плавлення супроводжується збільшенням об'єму, тобто $v_2 - v_1 > 0$, і відповідно $dT/dp > 0$. Звідси випливає, що і $q_{12} > 0$. Тому, із збільшенням тиску, температура плавлення речовин підвищується.

2.2 Будова та принцип дії акумулятора тепла

Відомо, що при нагріванні до певної температури будь-яке кристалічне тверде тіло починає плавитися, тобто перетворюватися в рідину. Зі зростанням температури твердих тіл зростає кінетична енергія їхніх частинок: вони починають коливатися з більшою амплітудою і швидкістю.

При визначальній для даної кристалічної речовини температурі сили притягання між молекулами вже не можуть втримувати їх у вузлах кристалічної ґратки. Починається процес руйнування, і подальший розпад кристалічної ґратки. Тверде тіло починає плавитися, і переходить в рідкий стан. Під час плавлення температура тіла не змінюється, оскільки вся підведена енергія йде на руйнування кристалічної ґратки. Температура плавлення визначається тим, наскільки сильно зв'язані між собою молекули (атоми) даної речовини: що сильніше вони зв'язані, то тим більшою повинна бути їх кінетична енергія, щоб зруйнувалися міжмолекулярні зв'язки. Отже, і вищою має бути температура плавлення.

Тепловий рух характеризується середньою кінетичною енергією молекул, а взаємодія молекул визначається потенціальною енергією. Потенціальна енергія залежить від відстані між молекулами. Оскільки молекули взаємодіють

між собою то і рухаються вони одночасно. Тому, бути тілу твердим чи рідким залежить від співвідношення цих видів енергії.

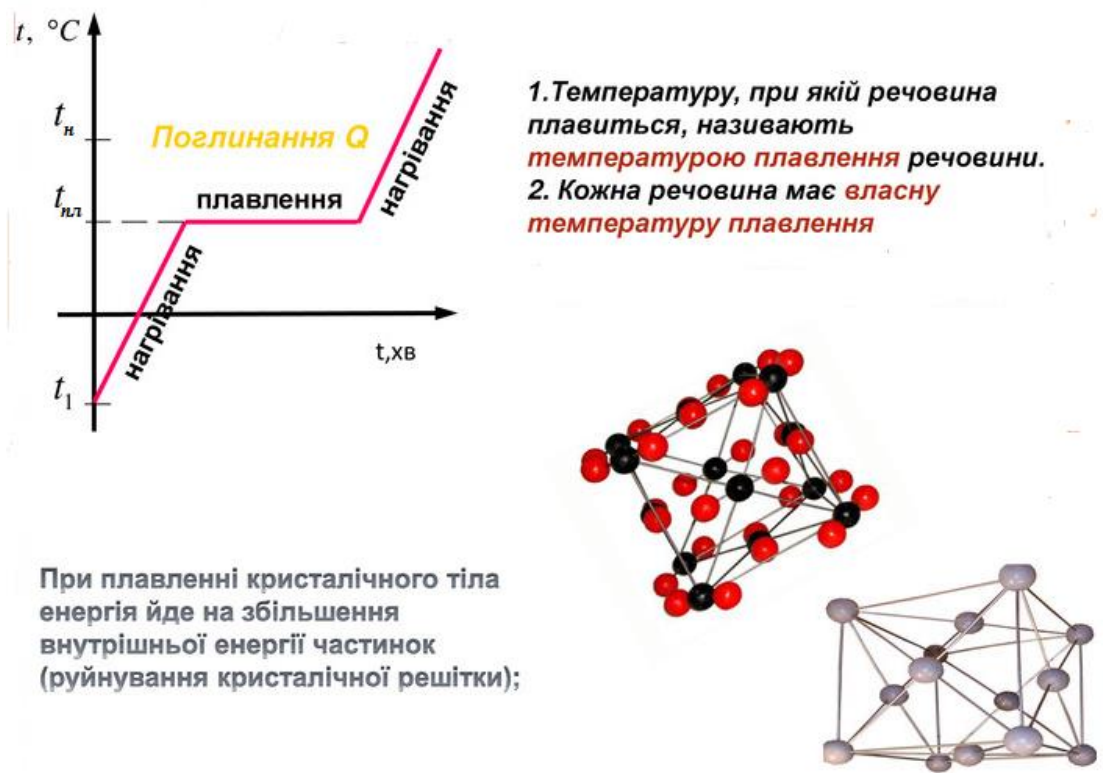


Рис 2.1. Діаграма плавлення кристалічної речовини.

Зміна цього співвідношення між величинами енергій приводить до переходу речовини з одного стану в інший. Температуру, при якій кристалічна речовина плавиться, називається температурою плавлення. Речовини кристалізуються при тій же температурі, що і плавляться. Кристалізація речовини супроводжується виділенням такої самої кількості теплоти, яка поглинається при плавленні. Кількість теплоти, необхідної для плавлення даної маси кристалічної речовини визначається співвідношенням

$$Q = \lambda m, \quad (2.15)$$

Акумулятор теплової енергії (АТЕ) - це пристрій, який призначений для тимчасового зберігання теплової енергії з метою її подальшого використання. Кількість збереженої корисної теплоти залежить від середнього значення питомої теплоємності середовища, кількості робочої речовини, та приросту

температури. Накопичене тепло для різних матеріалів внаслідок теплоємності визначається співвідношенням

$$Q = c \cdot m \int_{T_1}^{T_2} dT = c \cdot m \cdot (T_2 - T_1), \quad (2.16)$$

де Q - кількість акумульованої корисної теплоти; c - питома теплоємність матеріалу (Дж/кг.°C); T_2 і T_1 - кінцева та початкова температури (°C).

2.3 Типи акумуляторів тепла

При проектуванні освітлювальної апаратури, призначеної для роботи в широкому діапазоні температур, часто доводиться враховувати вплив температури на її параметри та характеристики. Якщо останні виходять за допустимі для її нормального функціонування межі, вдаються до тих чи інших методів охолодження і температурної стабілізації.

В даний час, при проектуванні і виготовленні світлотехнічної апаратури використовують різні методи забезпечення адекватних теплових режимів, серед яких можна виділити повітряні, рідинні, кондуктивні, випарні, термоелектричні та деякі спеціальні.

Перспективним для охолодження освітлювальної апаратури, яка працює в режимі повторно-періодичних тепловиділень, є спосіб, який ґрунтується на використанні робочих речовин, які плавляться при постійній температурі. Конструктивно пристрої, які реалізують цей метод, виконуються у вигляді контейнерів, заповненого робочою речовиною. Під час роботи основна частина тепла, яке розсіюється елементом або блоком апаратури, поглинається за рахунок прихованої теплоти плавлення робочої речовини. Після вимкнення апаратури відбувається охолодження речовини і її кристалізація і тверднення внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем.

Головним недоліком таких систем, який обмежує застосування акумуляторів для охолодження елементів світлотехнічної апаратури з великими щільностями теплового потоку, є необхідність підтримки робочої речовини в стані фазового переходу протягом усього циклу роботи світлового приладу.

Оскільки елемент протягом всього часу свого функціонування виділяє значні теплові потужності, то в багатьох випадках теплоакumuлюючої здатності робочої речовини виявляється недостатньо для забезпечення необхідного температурного режиму протягом усього циклу роботи (робоча речовина повністю розплавиться до кінця циклу роботи елемента). У зв'язку з цим під час охолодження потужних джерел світла із застосуванням робочих речовин, які плавляться, доцільно використовувати деякі додаткові охолоджувальні системи для відведення надлишку тепла від робочої речовини. Відносно енергетичних і масогабаритних показників ефективним є використання в якості такої додаткової системи охолодження теплових трубок, радіаторів, термоелектричних батарей та ін.

Одним із недоліків теплоакumuлюючої системи охолодження, є необхідність забезпечення руху межі розділу фаз у заданому інтервалі значень необхідне постійне збільшення температури оболонки пристрою відносно температури плавлення до температури, зумовленої термічним опором товщини робочої речовини. Ця обставина знижує ефективність відведення тепла системи охолодження від елементів освітлювальної апаратури. Тому, є доцільним застосування необхідних конструктивних заходів для зменшення термічного опору шару робочої речовини в рідкому стані.

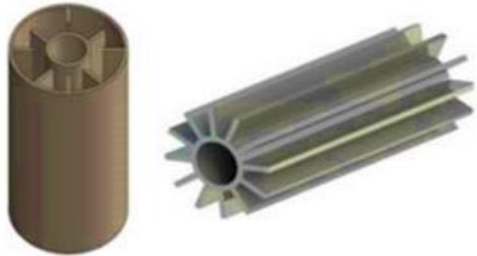
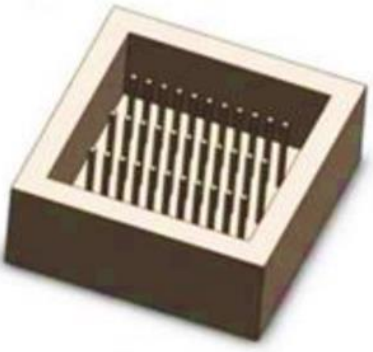
У зв'язку з цим, робота присвячена розробці системи відведення теплоти від елементів освітлювальної апаратури, яка працює в режимі повторно-періодичних тепловиділень. Система ґрунтується на сумісному застосуванні робочих речовин, що плавляться в заданому температурному діапазоні, та термоелектричного методу охолодження, дослідженню процесів, які протікають у них.

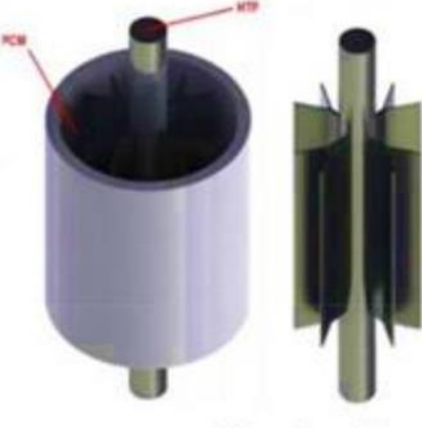
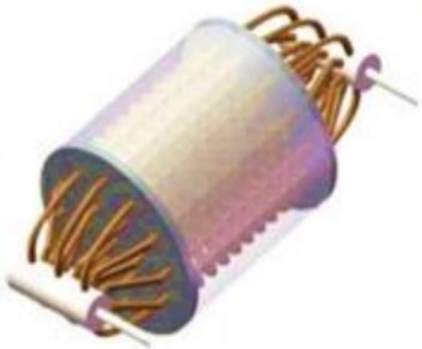
Для зменшення теплового опору робочої речовини передбачена конструкція, при якій робочий контейнер розбивається на кілька відсіків, заповнених різними робочими речовинами. Причому температура плавлення робочих речовин зростає в напрямку градієнта температури перпендикулярно площині поділу фаз.

Різні характеристики ребер, зокрема розмір, тип, відстань і кількість ребер, впливають на теплові характеристики теплового контейнера. Форма та конструкція ребер, що використовуються для покращення теплових характеристик теплових акумуляторів наведені в таблиці.

Типи контейнерів теплових акумуляторів оснащених зовнішніми та внутрішніми теплообмінними ребрами

Таблиця 2.1

№ п/п	Тип контейнера	Тип ребра
1.		Радіальні ребра
2.		Пластинчаті ребра
3.		Штирьові ребра

4.		Дискові ребра
5.		Деревовидні ребра
6.		Циркулярні ребра

2.4 Особливості експлуатації напівпровідникових джерел світла

Ефективність світлодіодів і світлодіодних матриць, сильно залежить від температури експлуатації та температури навколишнього середовища. Умови експлуатації приладів вважаються нормальними, якщо температура активної зони приладу не більша ніж 120°C. Очевидно, що на відміну від ламп «денного світла», для яких нормальною є температура 20-35°C, для напівпровідникових джерел світла (НПДС) поняття оптимальної робочої температури не коректне.

Ідеальним умовам роботи НПДС сприяють невисокі температури, бажано навіть мінусові. В цьому можна переконатися експериментальним шляхом. Зокрема, при сильному охолодженні НПДС його ККД і світловіддача набагато перевищують заявлені паспортні дані. Відомо, що сучасний світлодіодний освітлювач розрахований на високоефективну роботу протягом більш ніж 50000 годин. Однак, для цього потрібно чітко дотримуватися деяких найбільш важливих умов експлуатації.

По-перше, заявлений час експлуатації справедливий в інтервалі температур 75-85°C. Причому, чим температури вищі, тим нижчий термін служби. І навпаки, низькі і мінусові температури дають можливість його продовжити.

По-друге, треба пам'ятати, що з часом НПДС поступово втрачають яскравість і світловіддачу. Адже відомо, що через кожні 50000 годин експлуатації, світловий потік НПДС у порівнянні із початковим рівнем падає в середньому на 75%. Тому, солідні фірми - виробники приділяють велику увагу проблемі термостабілізації світлодіодних освітлювачів. Зокрема, для отримання бажаного результату, в світильниках малої потужності, використовують різної форми металеві пластинки та спеціальну теплопровідну металеву фольгу. Завдяки таким елементарним, але досить дієвим заходам температура активної зони НПДС рідко виходить за межі 60°C. При цьому, відповідно збільшується і термін служби напівпровідникових джерел світла. Особливо це стосується світлодіодних матриць середньої і великої потужності. Їх перевагами є: висока яскравість, велика енергоефективність, значний світловий потік і великий ККД в цілому. До сказаного треба додати і те, що термін служби сягає 50 - 100 тисяч годин. Однак, по закінченні терміну експлуатації прилад фізично з ладу не виходить. Це означає, що через 50 - 100 тисяч спостерігається деяке зниження світлового потоку. Так, наприклад, світлодіодна матриця ще вважається придатною до експлуатації, якщо її світловий потік зменшився не більше ніж на половину. Проте, для того щоб світлодіодна матриця відпрацювала заявлений час, треба створити відповідні теплові умови.

Відомо, що світлодіодні матриці розраховані на роботу при певній силі струму. Збільшення величини струму живлення веде до описаних вище руйнівних наслідків. Тому, для забезпечення номінального теплового (температурного) режиму особливо важливо підтримувати величину струму живлення на розрахунковому рівні. Для цього використовують спеціальні блоки живлення - драйвери. Сучасними драйверами можна керувати великою кількістю світлодіодними матрицями. Наприклад, драйвером PC-SD11-6B можна одночасно заживити 78 одноватних білих світлодіоди або 4 двадцятиватних світлодіодних матриць. Звичайно, що є й багато інших моделей драйверів для керування роботою ще потужніших освітлювальних приладів.

Крім розігріву активної зони світлодіодних приладів теплом Джоуля, причиною додаткового нагріву можуть бути ряд зовнішніх факторів: температура зовнішнього середовища, безпосередня близькість до джерел тепла, зовнішній потік інфрачервоного випромінювання та ін..

Отже, при розробці, конструюванні та створенні освітлювальних приладів на базі напівпровідників, будь то окремий світлодіод, чи світлодіодна матриця слід враховувати вплив багатьох чинників на деградацію світловипромінюючих кристалів. Тому, в першу чергу треба грамотно підбирати потужність драйверів живлення. Крім того, серед великої кількості існуючих систем термостабілізації і охолодження, потрібно вибрати систему охолодження та стабілізації теплового режиму приладу таким чином, щоб забезпечити температурний режим активної зони кристалів не вище 100 - 120°C.

Характеристики теплопровідних міжконтактних матеріалів.

Таблиця 2.2

Теплопровідний матеріал	Переваги	Недоліки
Термопаста	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, немає 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

Для створення високоякісних теплових контактів між елементами теплового кола, елементи їх треба з'єднувати за допомогою особливих теплопровідних прокладок. Роль таких прокладок можуть відігравати теплопровідні пасти, теплопровідні гелі, теплопровідні клеї та ін.. Сумарну величину теплового опору всіх теплових контактів можна обчислити із співвідношення

$$\theta = \sum_i \Theta_i = \sum_i \frac{1}{\kappa_i} \cdot \frac{l_i}{S_i}, \quad (2.17)$$

де l_i – товщина i – того міжконтактного шару,

S_i – його площа,

κ_i – питомий коефіцієнт теплопровідності матеріалу i – того шару.

Таким чином, тепловий контактний (термічний) опір шару пропорційний товщині контакту і обернено пропорційний площі. Отже, максимально зменшити опір конкретного контакту зокрема, і теплового кола в цілому можна зменшити збільшуючи площі контактів і при одночасному сумарному зменшенні їх товщини.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1. Розробка та конструювання акумулятора тепла

Аналіз способів охолодження показав, що застосування систем забезпечення теплового режиму напівпровідникових джерел світла, які працюють на основі повітряного, водяного, і кондуктивного охолодження часто є неможливим через експлуатаційні та масогабаритні обмеження. На сьогоднішній день одним з ефективних засобів відводу тепла від елементів напівпровідникових джерел світла може стати застосування плавких робочих речовин, які мають відносно велику теплоту фазових перетворень і надійну багаторазову оборотність фазових перетворень. До найпоширенішого типу таких конструкцій належать

конструкції, в яких охолоджувані джерела світла розміщуються поза об'ємом із робочою плавильною речовиною на плоскій поверхні, яка поділяється герметичною оболонкою із забезпеченням мінімального теплового опору. Під час експлуатації освітлювальних приладів основна частина тепла, яке розсіюється, поглинається за рахунок прихованої теплоти плавлення робочої речовини. Після закінчення роботи джерела світла відбувається охолодження робочої речовини, і внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем її кристалізація і затвердіння.

Важливою особливістю системи охолодження такого типу є певне перевищення інтервалу роботи джерела світла в режимі над часом його роботи в "піковому" режимі, що є суттєвим недоліком за необхідності відведення теплоти від джерела світла з невеликою перервою в роботі. Усунути вказані недоліки системи охолодження з робочими речовинами, які плавляться, можна за умови інтенсифікації процесу теплообміну контейнера з речовиною, що плавиться, з навколишнім середовищем.

Очевидно, що для інтенсифікації доцільно використовувати активне повітряне охолодження, яке локалізоване під контейнером із робочою речовиною, яка плавиться, і працює в режимі відведення теплоти за час паузи в роботі. Для зменшення теплового опору наповнювача передбачено розділення робочого контейнера на кілька відсіків, заповнених робочими речовинами з різними температурами плавлення. Причому температура плавлення робочих речовин зростає в напрямку до джерела тепла. Це пов'язано з тим, що в процесі плавлення утворюється тверда фаза, яка має значний тепловий опір. Причому температура твердої фази буде зменшуватися в напрямку від джерела тепла до джерела холоду (радіатора). Таким чином фронт розплаву буде поширюватися зверху вниз.

3.2. Способи акумулювання теплової енергії

При проектуванні напівпровідникових джерел світла, які призначені для роботи в широкому діапазоні температур, доводиться враховувати вплив температури

на їх параметри та характеристики. Якщо останні виходять за допустимі для їх нормального функціонування межі, вдаються до тих чи інших методів охолодження і температурної стабілізації.

Стабільність, надійність і функціональна автономність таких систем може бути досягнута при допомозі теплових акумуляторів (ТА), які поглинають тепло в період перевищення надходження теплової енергії над споживанням і віддають в разі перевищення споживання. Визначальною особливістю систем стабілізації температури на базі ТА є незмінність температури робочої речовини в процесі плавлення, що призводить до незмінності температури активної зони світловипромінюючих кристалів. Системи термостабілізації напівпровідникових джерел світла на базі акумуляторів тепла мають низку переваг, зокрема, вони є автономними та незалежними від мінливих зовнішніх умов.

Акумулятори теплової енергії поділяються на 3 види:

- теплоємнісні теплові акумулятори;
- акумулятори, які використовують приховану теплоту фазових переходів;
- акумулятори, які базуються на поглинанні теплоти в процесі оборотних хімічних реакцій.

Теплові акумулятори на основі речовин з високою теплоємністю поширені найбільш широко. При застосуванні теплоємнісних акумуляторів використовують тепло, яке виділяється або поглинається фізичним тілом в процесі зміни його температури. Процес теплоємнісного поглинання тепла описується співвідношенням

$$Q = cm \int_{T_1}^{T_2} dT = c_p m (T_2 - T_1) \quad (3.1)$$

де c - питома теплоємність речовини, m - її маса, T_1 і T_2 початкова і кінцева температура.

Питомі теплоємності деяких речовин.

Таблиця 3.1

Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Золото	130	Лабораторне скло	840
Свинець	140	Цегла	880
Олово	230	Алюміній	920
Срібло	250	Соняшникова олія	1700
Латунь	380	Гас	2100
Мідь	380	Лід	2100
Цинк	380	Ефір	2350
Залізо	460	Дерево (дуб)	2400
Сталь	500	Спирт	2500
Чавун	540	Вода	4200
Графіт	750		

Як видно з (3.1), теплоємнісний акумулятор поглинає тим більше теплової енергії, чим більша маса робочої речовини, її питома теплоємність та різниця кінцевої і початкової температур.

Як видно з наведеної таблиці, на сьогодні найбільш поширеною теплоакумуючою речовиною є вода. Вона застосовується в більшості теплоакумуючих систем. Неефективність такого акумулятора очевидна у зв'язку із збільшенням втрат теплоти при підвищенні температури води, а також через їх великі розміри. Крім того акумулятор не ефективний при низьких температурах через можливе замерзання води.

Акумулятори, засновані на поглинанні теплоти в процесі оборотних хімічних реакцій, застосовувати поки недоцільно, в зв'язку з цілою низкою невирішених проблем. Зокрема, із зміною властивостей теплоакумуючих матеріалів внаслідок проходження циклів і неповнотою проходження хімічних реакцій, дорожнечі наповнювача та ін.. Найчастіше наповнювач надмірно активний під час контакту з водою або повітрям, а це є неприпустимим.

Таким чином, найперспективнішими в даний час є акумулятори, які використовують приховану теплоту фазових переходів. Як видно з таблиці, ефективність способу обумовлена тим, що для багатьох речовин значення ентальпії фазового переходу значно більше ніж величина теплоємності за рахунок зміни температури.

Порівняння деяких теплоакумуючих матеріалів для акумулювання 1ГДж тепла.

Таблиця 3.2

№ п/п	Теплоакумуючий матеріал	Маса, кг	Об'єм, м ³
1	Вода	23866	23,9
2	Парафін	4794	5,27
3	Глауберова сіль	3723	2,55

Кількість теплоти, необхідної для плавлення даної маси кристалічної речовини визначається співвідношенням

$$Q_{\lambda} = \lambda m, \quad (3.2)$$

де λ - питома теплота плавлення речовини, m - її маса.

Що стосується вибору теплоакумуючого матеріалу, він має відповідати наступним вимогам:

- бути доступним і порівняно недорогим;
- фазовий перехід повинен мати ефект виділення - поглинання прихованої теплоти;
- відтворюваністю властивостей протягом великої кількості фазоперехідних циклів без серйозного погіршення ефекту виділення - поглинання прихованої теплоти;
- речовина має бути нешкідливою (нетоксичною, незаймистою, негорючою, такою, що не кородує).

Аналіз даних показує, що в якості теплоакумуючих матеріалів фазового переходу перспективно використовувати чотири групи речовин: жирні кислоти, парафіни, гідрати солей і ряд сполук металів. Основним недоліком гідратів солей є їхнє неконгруентне плавлення. Зазвичай під час плавлення утворюються рідка насичена фаза і тверда фаза у вигляді нижчого гідрату тієї ж солі, яка при цьому випадає в осад. Крім того, розплавам гідратів солей властиве переохолодження, з подальшою вибуховою кристалізацією.



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд парафіну ($C_{25}H_{52}$).

З метою забезпечення кристалізації з малим переохолодженням рідини необхідне застосування речовин, що є первинними центрами кристалізації. Для блокування поділу фаз або застосовуються загусники, або інтенсивне перемішування в процесі теплообміну, що не завжди зручно в процесі експлуатації. До числа недоліків кристалогідратів слід віднести також їх підвищену корозійну активність.

Загальні властивості парафіну

Таблиця 3.3

Властивості	Рідка фаза	Тверда фаза
Температура кипіння	$> 370\text{ }^{\circ}\text{C}$	-
Температура плавлення	$57\text{ }^{\circ}\text{C}$	$57\text{ }^{\circ}\text{C}$
Коефіцієнт теплопровідності	0.25 Вт/м К	0.23 Вт/м К
Питома теплота плавлення	200 кДж/кг	220 кДж/кг

Ціна технічних парафінів невисока і становить нині 2-5 грн./кг, проте у них є істотний недолік у вигляді низької теплоємності (близько $2\text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$) і теплопровідності у твердому стані. Ці недоліки роблять неекономічним використання парафінів при значних розмірах акумулятора. Існують розробки [3] щодо введення в парафіни алюмінієвого порошку з метою підвищення теплопровідності, однак суміш при цьому отримує термітні властивості в

процесі горіння. При більш високих робочих температурах застосовуються, як правило, сполуки і сплави легких металів, а також їхні сполуки (гідриди, фториди, силікати). Вони мають значення теплоти фазового переходу 4-17 разів більші. фазових переходів парафінів, гідратів солей та ін. Однак і температури фазових переходів у цих сполук металів досить високі. Зокрема, температура фазового переходу складає 300 - 3000 °С, що робить можливості їх практичного застосування в системах стабілізації температури напівпровідникових джерел світла досить проблематичними. Їх застосування буде можливе лише у високотемпературних теплогенерувальних установках (космічних енергетичних установках, що концентрують сонячне випромінювання, в установках термоядерного синтезу та ін.). Так само до недоліків можна віднести значну зміну об'єму під час плавлення, і виділення гідридами водню, який вкрай вибухонебезпечний і горючий.

В даний час, при проєктуванні світлодіодних джерел світла використовують різні методи забезпечення адекватних теплових режимів, серед яких можна виділити повітряні, рідинні, кондуктивні, випарні, термоелектричні та деякі спеціальні.

Перспективним для охолодження світлодіодних джерел світла, які працюють в режимі повторно-періодичних тепловиділень, є спосіб, який ґрунтується на використанні робочих речовин, які плавляться при невисокій температурі. При цьому, в процесі плавлення її температура залишається постійною. Конструктивно пристрої, які реалізують цей метод, виконуються у вигляді контейнера, заповненого робочою речовиною. Під час роботи основна частина тепла, яке розсіюється елементом або блоком апаратури, поглинається за рахунок прихованої теплоти плавлення робочої речовини. Після вимкнення апаратури відбувається охолодження речовини і її затвердіння внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем.

Головним недоліком таких систем, який обмежує застосування акумуляторів для охолодження напівпровідникових джерел світла з великими щільностями теплового потоку, є необхідність підтримання робочої речовини в

стані фазового переходу протягом усього циклу роботи напівпровідникового приладу. Оскільки елемент протягом часу свого функціонування виділяє значні потужності, то в багатьох випадках теплоакumuлюючої здатності робочої речовини виявляється недостатньо для забезпечення необхідного температурного режиму протягом усього циклу його роботи (робоча речовина повністю розплавиться до кінця циклу роботи елемента). У зв'язку з цим під час охолодження потужних джерел світла паралельно із застосуванням робочих речовин, які плавляться при температурі близькій до критичної, для відведення надлишку тепла від робочої речовини доцільно використовувати деякі додаткові охолоджувальні системи. Відносно енергетичних і масогабаритних показників ефективним є використання в якості такої додаткової системи охолодження термоелектричних батарей.

Іншим недоліком систем охолодження на основі теплових акумуляторів, є необхідність забезпечення руху межі розділу фаз у заданому інтервалі значень. Зокрема, необхідно постійно збільшувати температуру оболонки пристрою відносно температури плавлення робочої речовини до температури, зумовленої термічним опором товщини робочої речовини. Ця обставина знижує ефективність відведення тепла системи охолодження від освітлювального приладу. Тому, видається доцільним застосування необхідних конструктивних заходів для зменшення термічного опору шару робочої речовини в рідкому стані. Для зменшення теплового опору робочої речовини передбачена конструкція, при якій робочий контейнер розбивається на кілька відсіків, заповнених різними робочими речовинами. Причому, температура плавлення робочих речовин зростає в напрямку градієнта температури та перпендикулярно до площини поділу фаз.

3.3. Розрахунок системи термостабілізації світлодіодних матриць тепловим акумулятором

Для розрахунку системи термостабілізації напівпровідникових джерел світла (світлодіодних матриць і світлодіодів) акумуляторами тепла розглянемо

конструкцію акумулятора тепла, схема конструкції якого зображена на рисунку.

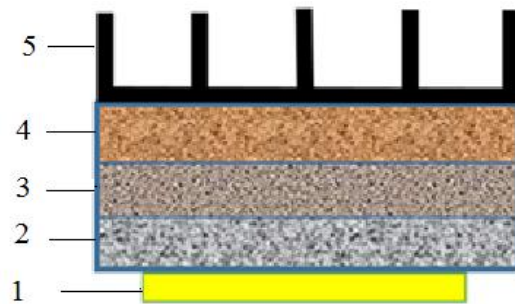


Рис. 3.2. Схема акумулятора тепла для стабілізації температурного режиму світлодіодних матриць. 1- світлодіодна матриця, 2, 3, 4 – розділені перегородками робочі речовини, 5 – радіатор.

Для побудови математичної моделі досліджуваної системи охолодження необхідно розглянути процес плавлення (затвердіння) наповнювачів, а також рівняння теплового балансу, які описують теплообмін у системі: світлодіодна матриця, контейнери з наповнювачами, і радіатор охолодження.



Рис.3.3. Зовнішній вигляд акумулятора тепла для стабілізації температурного режиму світлодіодних матриць.

Для зменшення теплового опору робочої речовини передбачена конструкція, при якій робочий контейнер розбивається на кілька відсіків, заповнених різними робочими речовинами. Причому температури плавлення робочих речовин зменшуються в напрямку протилежному до градієнта температури і перпендикулярно до площини поділу фаз.

Зважаючи на складність опису процесів плавлення - затвердіння в багатошаровій системі, кожен із шарів якої перебуває у стані фазового переходу, введемо спрощення:

1. Вважаємо, що в системі одночасно здійснюється плавлення тільки однієї речовини.
2. Першою починає плавитися речовина, яка знаходиться в найближчому до джерела тепла відсіку.
3. Після її повного розплавлення плавиться речовина, яка знаходиться в наступному відсіку.
4. Потім речовина, яка перебуває в третьому відсіку і т.д. аж до повного розплаву у всіх відсіках.
5. Загальна тривалість стабільної роботи елементів акумулятора тепла складається з часу, необхідного для прогрівання контейнера з наповнювачами до температури плавлення крайньої робочої речовини і тривалості повного плавлення всіх наповнювачів.
6. Вважаємо, що наступний наповнювач починає плавитися відразу ж після розплавлення попереднього. При цьому беремо до уваги, що тривалість плавлення попереднього наповнювача завжди більша за час, необхідний для прогрівання наступного наповнювача до його температури плавлення.
7. Аналіз буде проводитися в припущенні, що на плавлення кожного наповнювача витрачається вся теплота, що надходить від джерела світла. Це припущення занижує величину тривалості стабільної роботи акумулятора тепла, і отримані згодом результати будуть оцінкою зверху.

Акумулятор тепла (АТ) - це пристрій, який призначений для тимчасового збереження теплової енергії з метою її подальшого використання. Кількість збереженої корисного тепла залежить від середнього значення питомої теплоємності робочої речовини, її кількості, та приросту температури.

Тепло, накопичене за рахунок теплоємності i – тим відсіком контейнера описується рівнянням

$$Q_{ci} = \rho_i V_i \cdot \int_{T_0}^{T_{nli}} c_i \cdot (T) \cdot dT = \sum_{i=1}^3 \rho_i V_i c_i (T_{nli} - T_0), \quad (3.4)$$

де Q_{ci} - кількість акумульованого тепла,

V_i - об'єм, маса речовини,

c_i - питома теплоємність,

ρ_i - густина,

T_{nli} - температура плавлення речовини в i – тому відсіку,

T_0 і T_1 – температури навколишнього середовища.

Тепло, накопичене i – тим відсіком контейнера за рахунок прихованої теплоти плавлення знайдемо із рівняння

$$Q_{\lambda i} = \sum_{i=1}^3 \rho_i V_i \lambda_i \quad (3.5)$$

Теплова енергія, яка поглинається робочою речовиною від початку нагрівання до моменту повного розплаву у всіх відсіках визначимо як суму енергій нагрівання і плавлення

$$Q = Q_c + Q_\lambda, \quad (3.6)$$

де

$$Q_c = \sum_{i=1}^n Q_{ci} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot c_i \cdot (T_{nli} - T_0) \quad (3.7)$$

$$Q_\lambda = \sum_{i=1}^n Q_{\lambda i} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \lambda_i \quad (3.8)$$

m_i - маса речовини, c_i - питома теплоємність, λ_i - питома теплота плавлення, T_{nli} - температура плавлення речовини в i – тому відсіку, T_0 - температура середовища, i - кількість відсіків.

Час дії системи термостабілізації визначається часом повного розплавлення робочої речовини і може бути знайдений наступним чином.

$$Q = P_t \cdot (\tau_n + \tau_{nl}) = P_t \cdot \Delta \tau, \quad (3.7)$$

де P_t - теплова потужність світлодіодної матриці,

t_n - час нагріву від температури середовища t_0 до температури плавлення робочої речовини - t_{nl} ,

τ_{nl} - час плавлення робочої речовини,

$\Delta\tau$ - загальний час нагріву і плавлення робочої речовини.

Таким чином отримаємо,

$$\Delta\tau = \frac{1}{P} \left(\sum_{i=1}^3 \rho_i V_i c_i (T_{nli} - T_0) + \sum_{i=1}^3 \rho_i V_i \lambda_i \right), \quad (3.8)$$

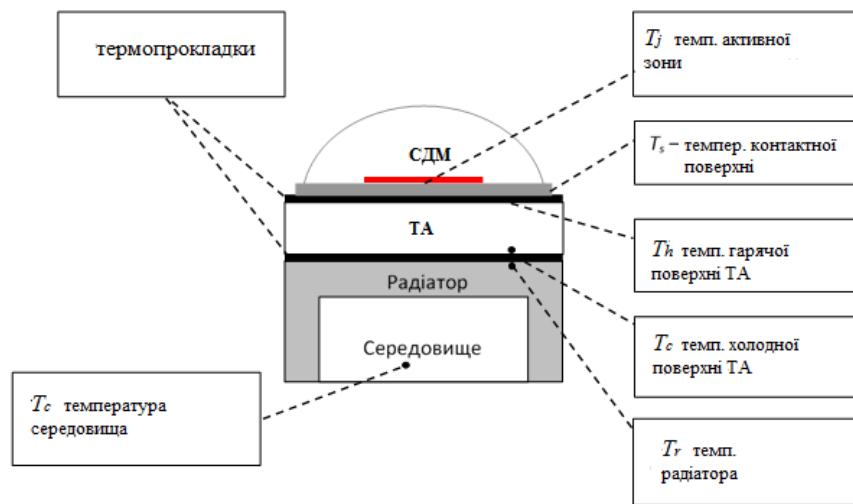


Рис. 3.4. Схема стабілізації температури СДМ тепловим акумулятором і радіатором. T_j - температура активної зони, T_s - температура контактної поверхні, T_h і T_c - температури гарячої і холодної поверхонь теплового акумулятора, T_r - температура радіатора, T_a - температура середовища.

Розрахуємо тепловий режим системи термостабілізації на тепловому акумуляторі. Розрахунок проведемо методом електростатичної аналогії (ЕСА). Метод ЕСА дозволяє оперувати тепловими опорами та джерелами тепла по аналогії з електричними опорами та джерелами тепла. Зокрема, можна скласти теплову схему, яка дозволить користуватися формулами і готовими результатами теорії електричних кіл. Така процедура значно спростить розрахунок теплових кіл.

Розглядатимемо джерело світла, як джерело теплорушійної сили ТРС (термін введений по аналогії з електрорушійною силою ЕРС) тепловою потужністю P_t , яка локалізована на верхньому кінці теплового акумулятора. Крім того, тепловий акумулятор вважаємо стоком теплової потужності P_c . Для інтенсифікації теплообміну теплового акумулятора з оточуючим середовищем поверхня теплового акумулятора оснащена радіаторним профілем.

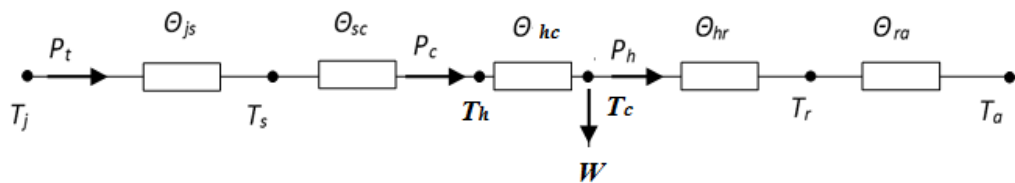


Рис. 3.5. Еквівалентна теплова схема системи стабілізації температури СДМ тепловим акумулятором.

$W = Q/\Delta\tau$ - потужність, яка поглинається акумулятором тепла,

Θ_{js} - тепловий опір активна зона - контактна площадка,

Θ_{sh} - тепловий опір контактна площадка – гаряча поверхня акумулятора,

Θ_{hc} - внутрішній тепловий опір акумулятора,

Θ_{cr} - тепловий опір холодна поверхня акумулятора – радіатор,

Θ_{ra} - тепловий опір радіатор – навколишнє середовище.

Порівняльна таблиця теплових і електричних параметрів

Таблиця 3.4

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

Коефієнти теплопровідності матеріалів корпусу теплового акумулятора, перегородок і радіатора.

Таблиця 3.5

№ п/п	Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності (Вт/мК)
1.	Нержавіюча сталь	10-80
2.	Анодований алюміній	200-235
3.	Електротехнічна мідь	390-400

Визначимо температуру активної зони даної СД- матриці. Для визначеності візьмемо потужну білу СД-матрицю СХА-1850. Вона здатна віддати через контактну площадку до 78 ват тепла при температурі активної зони не більше $85^\circ C$. Але для цього контактну площадку матриці необхідно закріпити на масивному тепловідводі.

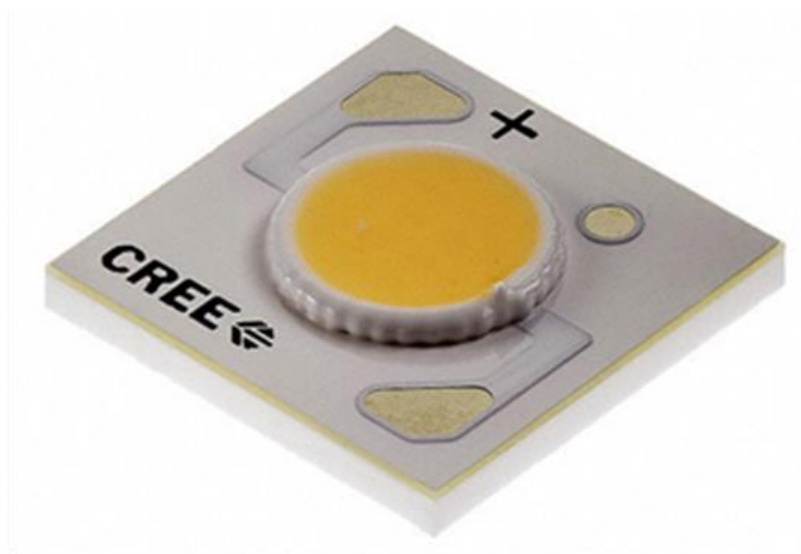


Рис.3.6. Світлодіодна матриця СХА-1850.

Всі потужні світлодіодні матриці монтуються на контактних площадках, які мають достатню товщину, високу теплопровідність і легко встановлюються на радіатор. Основне завдання контактної площадки полягає в тому, щоб відвести надлишкове тепло від корпусу теплового акумулятора на якому встановлена СД-матриця СХА-1850. Її параметри приведені в таблиці 3.3.

Параметри деяких потужних білих світлодіодних матриць

Таблиця 3.6

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

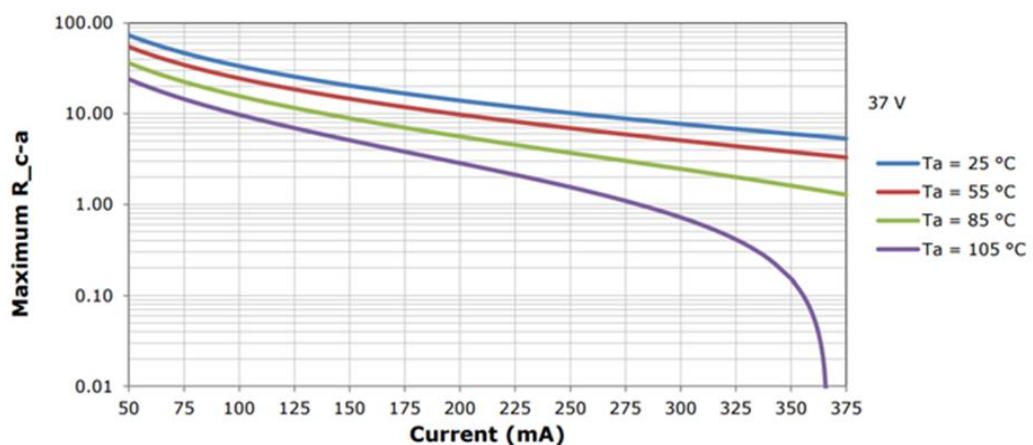


Рис. 3.7 Залежність внутрішнього теплового опору СД-матриці СХА-1850 від струму живлення.

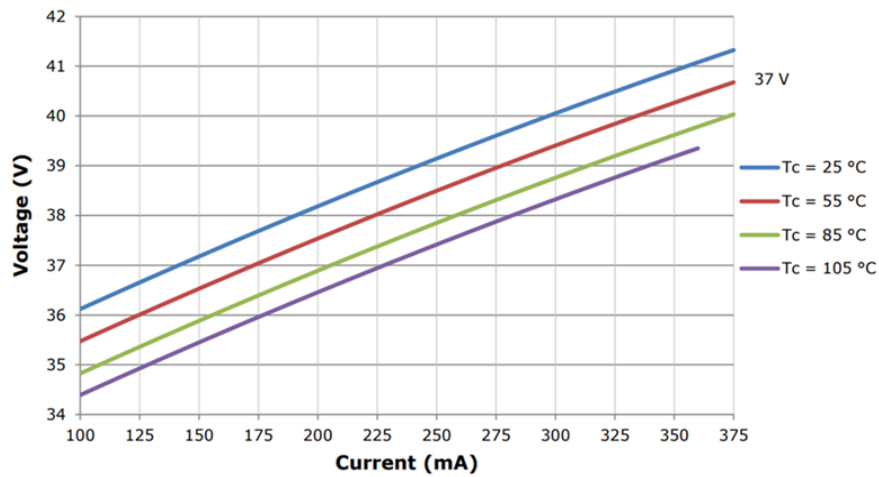


Рис. 3.8. Вольт-амперна характеристика СД- матриці СХА-1850.

Якщо відомі технічні параметри матриці, то можна аналітичним шляхом розрахувати необхідну потужність, і розмір теплового акумулятора. При цьому необхідно знати максимальну температуру навколишнього середовища, в якому працюватиме світлодіодна матриця та максимальну потужність, яку йому треба розсіяти. Потім, з використанням методу ЕТА розрахувати температуру активної зони. Для цього спочатку потрібно визначити величини всіх теплових опорів на шляху тепла від джерела ТРС до навколишнього середовища. На кінцевому етапі треба вибрати тепловий об'єм акумулятора тепла, при якому температура активної зони буде меншою від критично високої, при якій настає деградація напівпровідникової структури світлодіодної матриці.

Одним з найголовніших параметрів при розрахунку теплоємності теплового акумулятора є тепловий опір системи термостабілізації теплового акумулятора. Згідно із законом Ома для вітки, яка містить тепловий сток знайдемо повний тепловий опір

$$\Theta = \frac{(T_j - T_a) + W}{P_t} \quad (3.9)$$

де P_t – потік теплової енергії,

W - потужність, яка поглинається акумулятором тепла,

T_j - температура активної зони,

T_a - температура навколишнього середовища.

Слід зазначити, що тепловий опір жодним чином не залежить від температури робочої зони СД, а визначається виключно якістю теплових контактів системи термостабілізації.

Проведемо розрахунок теплового режиму освітлювача на базі СД матриці СХА-1850. СД-матриця СХА-1850 є досить компактною і перспективною для застосувань в сучасній освітлювальній галузі. Ці СД-матриці випромінюють потік світла величиною 6000 – 9400 люмен. Це дозволяє виготовляти світлодіодні лампи технологічно простої конструкції при відносно низькій вартості виробництва. При цьому, лампи будуть мати велику яскравість та широкий діапазон потоку світла.

Із (3.9), для перепаду температур між активною зоною і температурою навколишнього середовища для СХА-1850 маємо,

$$T_j - T_a = (P_t - W)(\Theta_{js} + \Theta_{sc} + \Theta_{hc}) + P_h(\Theta_{hr} + \Theta_{ra}), \quad (3.10)$$

Звідки, для температури активної зони світлодіодної матриці отримаємо

$$T_j = T_a + (P_t - W)(\Theta_{js} + \Theta_{sc} + \Theta_{hc}) + P_h(\Theta_{hr} + \Theta_{ra}). \quad (3.11)$$

Як видно з (3.11), зниженню температури активної зони будуть сприяти малі теплові опори між елементами теплового кола і невеликі тепловиділення світлодіодних матриць. У випадку, коли потужність, яка поглинається акумулятором тепла, стає рівною тепловій потужності джерела світла

$$P_t - W = 0, \quad (3.12)$$

температура активної зони стає близькою до температури плавлення робочої речовини.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

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

Підстерігати небезпека у вигляді різних негативних факторів нас може практично скрізь [22, 23]. Навіть на самих нешкідливих робочих місцях можна говорити про шкідливий вплив комп'ютерів, тривалої сидячої роботи і про багато іншого. На багатьох виробництвах робота пов'язана з постійним впливом на працівників несприятливих умов. Шкідливі та небезпечні виробничі фактори (ВФ) нерозривно пов'язані між собою. ВФ - це фактори, які в результаті свого тривалого або короткочасного впливу на людину призводять до погіршення стану здоров'я або до травми. На виробництвах з такими умовами праці різні нещасні випадки відбуваються досить часто.

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

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

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

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

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

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

До психофізіологічних факторів можна віднести тягар умов праці і його напруженість. Під напруженістю роботи мається на увазі навантаження на нервову систему та органи відчуття. Сюди можна віднести тривалу розумову роботу, монотонність виконуваних процесів, емоційні перевантаження. Все це шкідливі виробничі фактори, які, якщо розібратися, практично кожен з нас на своєму робочому місці відчуває в тій чи іншій мірі.

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

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

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

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

4.2 Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів

Дія електромагнітного імпульсу блискавки на металеві елементи будівельних конструкцій, електричні й електронні системи є вторинною дією блискавки. Вторинні дії блискавки пов'язані з дією на об'єкт електромагнітного поля близьких розрядів. Це поле має дві складових: електростатичну та електромагнітну індукції [23].

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 [23].

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

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. При проходженні електричного струму через світлодіоди та світлодіодні матриці в їх активній зоні, згідно із законом Джоуля, виділяється теплова потужність, яка нагріває прилади.

2. Для тривалого, та ефективного використання напівпровідникових джерел світла (НПДС) не можна допускати перегріву приладу. Ефективним способом термостабілізації є застосування теплових акумуляторів.

3. Тепловий акумулятор дозволяє жорстко прив'язати температуру активної зони НПДС до температури плавлення робочої речовини.

4. Для підвищення ефективності системи термостабілізації теплові акумулятори доцільно застосовувати в парі з пасивним локальним радіатором.

5. Побудована теплова математична модель системи термостабілізації на теплових акумуляторах показала, що для збільшення ефективності термостабілізації потрібно: збільшувати теплоємність акумулятора і зменшувати тепловий опір між активною зоною та навколишнім середовищем.

6. Зменшення теплового опору можливе при застосуванні теплового акумулятора разом з активним радіатором та вентилятором.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вайсфельд Н. Д. Рівняння математичної фізики : навч.-метод. посібн. для студ. спец. «Прикладна математика» / Н. Д. Вайсфельд, В. В. Реут. – Одеса : Одеськ. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2018. – 194 с
2. Карась В. І. Світлодіоди: фізика, технологія, застосування: навч. посібник/ В. І. Карась, Л. А. Назаренко, І. В. Карась; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва – Х.: ХНАМГ, 2012, - 323 с.
3. Zakordonets V. Theoretical analysis of thermal conditions and ways of led temperature stabilization / Volodymyr Zakordonets, Natalija Kutuzova // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2016. — № 4 (84). — С. 105–112.
4. Закордонець В. Стабілізація теплового режиму світлодіодних систем термоелектричними модулями охолодження / В. С. Закордонець, Т. М. Рекуник // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних

- технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : Том 3. — С. 139. — (Електротехніка та енергозбереження).
5. Закордонець В. Стабілізація теплового режиму світлодіодів термоелектричними модулями охолодження / В. С. Закордонець, Н. В. Кутузова, О. Б. Підфігурний // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 28-29 листопада 2018 року. — Т. : Том 3. — С. 27. — (Електротехніка та енергозбереження).
 6. Zakordonets V. Stabilization of LEDs thermal conditions by thermoelectric modules of cooling / Volodymyr Zakordonets, Natalija Kutuzova // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2018. — Vol 90. — No 2. — P. 133–140.
 7. Закордонець В.С. Розрахунок системи охолодження світлодіода на базі теплової труби / В. С. Закордонець, Н. В. Кутузова // Термоелектрика. №4, 2018. — С. 60–67.
 8. Закордонець В.С. Розрахунок термоелектричної системи охолодження світлодіодів / В. С. Закордонець, Н. В. Кутузова // Термоелектрика. №5, 2018. — С. 45–54.
 9. Закордонець В.С. Стабілізація теплового режиму світлодіодів термоелектричними модулями охолодження / В. С. Закордонець, Н. В. Кутузова // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій“, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 1 : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 287-289. — (Секція: Світлотехніка і електроенергетика).
 10. Закордонець В.С., Фера В.І. Розрахунок системи охолодження світлодіода на базі теплової труби. // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019., м.Тернопіль. — С.34.
 11. Закордонець В. С., Кутузова Н. В., Гридовий В. М.. «Вплив термоелектричного охолодження на ефективність світлодіодних

- матриць»// Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019., м.Тернопіль. – С.35.
- 12.Закордонець В.С. Термоерс в напівпровідникових надгратках при розсіюванні носіїв струму на фононах і точкових дефектах / В. С. Закордонець // Термоелектрика. №1, 2021. — С. 23–31.
- 13.Закордонець В.С., Сисак І.М. Термоелектрична добротність напівпровідникових надграток / В. С. Закордонець, І.М. Сисак // Термоелектрика. №2, 2022. — С. 23–31.
- 14.Schubert E. F. Light-emitting diodes. – Cambridge, 2006.
- 15.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.
- 16.Lee H. Thermal design: heat sinks, thermoelectrics, heat pipes, compact heat exchangers, and solar cells. – New Jersey: Wiley, 2010.
17. Reay D., Kew P., McGlen R. Heat pipes: theory, design and applications. – Oxford: Elsevier, 2014.
- 18.Faghri A. Heat pipes: review, opportunities and challenges // Frontiers in Heat Pipes. 2014. Vol. 5, Is. 1. P. 1
- 19.Закордонець В.С., Фера В.І. Розрахунок системи охолодження світлодіода на базі теплової труби. // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 16-17 листопада 2017., м.Тернопіль. – С.138.
- 20.Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00–1.21–98.
21. 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.