

УДК 62-716
Д 64**ВИКОРИСТАННЯ ДВОФАЗНИХ ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНИХ СИСТЕМ
ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ МОДУЛІВ**Ю. А. Долганов, асп.;
О. А. Єпіфанов, канд. техн. наук*Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв*

Анотація. Розглянуто перспективи використання двофазних теплопередавальних систем для охолодження світлодіодних модулів. Виконано аналіз сучасних конструкцій систем охолодження світлодіодних світильників та запропоновано конструкції на базі двофазних термосифонів. Наведено методику теплового розрахунку двофазних термосифонних систем охолодження для світлодіодних світильників.

Ключові слова: двофазний термосифон, світлодіод, методику теплового розрахунку.

Аннотация. Рассмотрены перспективы использования двухфазных теплопередающих систем для охлаждения светодиодных модулей. Выполнен анализ современных конструкций систем охлаждения светодиодных светильников и предложены конструкции на базе двухфазных термосифонов. Приведена методика теплового расчета двухфазных термосифонных систем охлаждения светодиодных светильников.

Ключевые слова: двухфазный термосифон, светодиод, методика теплового расчета.

Abstract. The prospects for the use of two-phase heat-transfer systems for the LED modules cooling have been analyzed. The analysis of contemporary constructions of cooling systems of LED illumination lamps was carried out, and the constructions on the basis of the two-phase thermosyphons are offered. The heating calculation methodology of two-phase thermosyphon cooling systems of the LED illumination lamps is given.

Keywords: two-phase thermosyphon, LED, heating calculation methodology.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Перехід на світлодіодне (LED) освітлення – один із перспективних напрямів упровадження енергозберігаючих технологій. Світильники на базі світлодіодів використовуються для освітлення автомагістралей, вулиць, будівель та прилеглих до них територій, офісних і виробничих приміщень тощо.

Основним привабливим фактором LED-технологій є принципово більш високий, порівняно з іншими доступними джерелами світла, рівень світловіддачі, що забезпечує значний економічний ефект (за даними [1] зменшення витрат електроенергії на освітлення та витрат на обслуговування складає до 50 %).

Порівняльні характеристики джерел світла станом на сьогодні наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Тип джерела світла	Світлова віддача джерела світла, лм/Вт	Ресурс роботи, тис. год
Лампи розжарювання	8...17	1
Люмінесцентні лампи	48...104	10...20
Компактні люмінесцентні лампи	65...87	5...15
Дугові ртутні лампи	19...63	12...24
Натрієві лампи високого тиску	66...150	10...28
Металогалогенні лампи	68...105	3,5...20
Світлодіоди Cree (XR-E)	80...120	25

Крім зазначених високої світлової віддачі та великого ресурсу роботи до переваг LED-світильників можна також віднести наступні:

- відсутність затримки при ввімкненні – вони відразу віддають указаний вище світловий потік (на розжарювання металогалогенних ламп потрібно декілька хвилин);
- відсутність пульсацій світлового потоку;
- можливість отримання світлового потоку різного спектрального складу;
- висока стійкість до зовнішнього впливу (вологість, пил, вібрації);
- електро- та вибухобезпечність;
- висока технологічність при масовому виробництві.

Однак слід взяти до уваги певні недоліки LED-систем, які створюють ряд проблем для їх повномасштабного впровадження.

Світловіддача світлодіодного джерела світла залежить від температури, при якій функціонують світлодіоди. При температурах понад 80 °C їх світловіддача значно знижується, а при температурах більше 150 °C наближується до нуля [8]. Тому виникає задача розробити і впровадити таку систему терморегулювання світлодіодних джерел світла, яка забезпечить необхідні значення світлового потоку, строку служби і надійність при відносно невисокій вартості всього виробу.

МЕТА РОБОТИ – розробити конструкцію та рекомендації для теплових розрахунків двофазних термосифонних систем охолодження світлодіодних

світильників; на основі отриманих результатів розрахунку за розробленою методикою навести рекомендації щодо вибору параметрів систем охолодження за різних умов експлуатації.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Охолодження світлодіодних систем освітлення забезпечують пасивним або активним методом.

Пасивними системами охолодження світлодіодних модулів прийнято називати такі, в яких відвід тепла забезпечується радіатором з теплопровідного матеріалу і природною конвекцією повітря. Важливими параметрами пасивного охолодження є форма радіатора і матеріал, з якого виготовлений охолоджувач. Найбільш поширеним матеріалом виготовлення пасивних охолоджувальних систем є алюміній. Радіатори з алюмінію мають певні переваги:

- більш низьку ціну в порівнянні з іншими теплопровідними матеріалами;
- відносно невелику питому густину (і, як наслідок, мала вага виробу);
- алюміній забезпечує необхідну міцність виробу;
- велику мережу виробництва і технологій виробів з алюмінію.

Виробники світлодіодних систем освітлення рекомендують використовувати алюмінієві радіатори для вуличного освітлення. У деяких випадках через технічні обмеження доцільно використовувати радіатори з теплоізоляційних пластмас. Основною перевагою теплоізоляційних пластмас є низька питома густина матеріалу, що дозволяє значно знизити вагу виробу. Деякі види пластмас є гарним діелектриком. Радіатор з такого матеріалу може успішно виконувати функцію корпусу, зменшуючи кількість компонентів світильника. До недоліків теплоізоляційних пластмас можна віднести їх крихкість і відносно більш високу вартість виробництва в порівнянні з алюмінієвими радіаторами. Радіатори з теплоізоляційних пластмас рекомендовано використовувати у світильниках, призначених для офісних і торгових приміщень.

Інноваційним варіантом пасивного методу охолодження є технологія виготовлення радіаторів зі спеціальних керамічних елементів охолодження. Охолоджувач, виготовлений за даною технологією, це відразу і радіатор, і корпус світильника, і LED-плата.

Активний метод охолодження світлодіодних модулів застосовують при неможливості забезпечити охолодження пасивними методами через їх недостатню ефективність або через обмеженість за розміром та масою радіатора.

Активними системами охолодження світлодіодних модулів прийнято називати такі, в яких тепло відводиться не тільки вільною конвекцією

з площі радіатора, а й за допомогою примусово створюваного руху повітряного чи рідинного середовища.

Активне охолодження за допомогою вентилятора дозволяє ефективно розсіювати гарячі повітряні потоки, що створюються роботою світлодіодного виробу в навколишнє середовище, додатково охолоджуючи радіатор. Цей метод охолодження застосовується в проектах світильників, де необхідно максимально знизити вагу, маючи невеликі габарити виробу. Недоліками даного методу є такі:

- рівень шуму та вібрації, що створює вентилятор;
- необхідність захисту підшипників від пилу;
- додаткові витрати електроенергії на власні потреби.

Окремим методом охолодження можна назвати охолодження за допомогою теплових труб (термосифонів). Системи охолодження на теплових трубах активно застосовуються для охолодження мікропроцесорної комп'ютерної техніки як теплопередавальні елементи теплообмінних апаратів енергетичних установок та в інших галузях теплотехніки. У літературі зустрічаються деякі конструкції систем охолодження світлодіодних світильників з використанням теплових труб, але для повномасштабного впровадження систем охолодження на термосифонах необхідно розробити не тільки конструкції, а й ряд рекомендацій та методику теплового розрахунку таких термосифонних систем охолодження.

Кафедрою технічної теплофізики та суднових паровиробних установок (ТТ і СПУ) Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова проведені роботи щодо розробки конструкції та методики теплового розрахунку термосифонних теплопередавальних систем для охолодження світлодіодних модулів.

На рис. 1 подана конструкція термосифонної системи охолодження світлодіодного світильника.

Особливістю даної конструкції є те, що світлодіодний модуль, який складається зі світлодіода 6, корпусу-рефлектора 5 і теплопровідної підкладки 7, кріпиться на пластину 4 з високим показником теплопровідності. До цієї пластини кріпиться термосифон 1, завдяки якому тепло рівномірно розподіляється по формі радіатора 2. Випарна частина термосифона всередині заповнена теплоносієм 3. Вибір теплоносія обумовлений як можливістю передачі тепла на необхідні відстані, так і кліматичними умовами, пов'язаними з роботою при мінусових температурах. Крім того, необхідно враховувати сумісність матеріалу термосифона і теплоносія. У табл. 2 наведені основні теплофізичні властивості найбільш

поширених теплоносіїв, які можуть бути рекомендовані для використання в системах охолодження світлодіодних світильників [5].

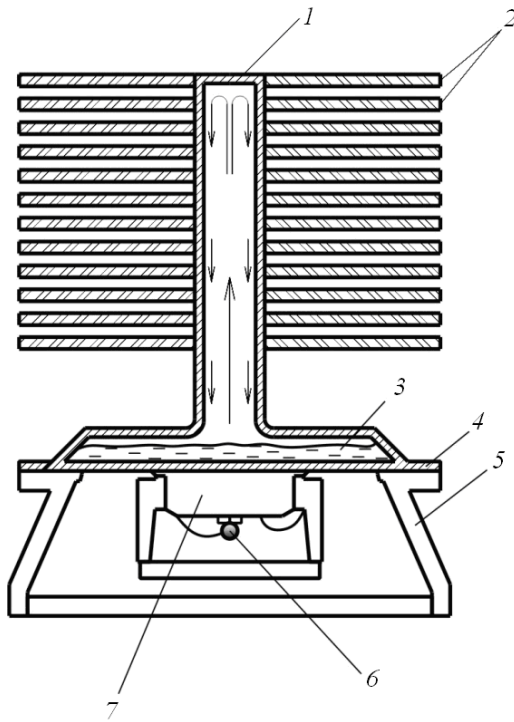


Рис. 1. Поперечний переріз світлодіодного світильника з термосифонною системою охолодження

З таблиці видно, що вода може бути рекомендована для кліматичних умов з температурою навко-

Таблиця 2

Теплоносій	$t_{\text{кип}}$	$t_{\text{пл}}$	$t_{\text{кр}}$	ρ , кг/м ³	r , кДж/кг	c_p , кДж/(кг·К)
	°С					
Фреон-113	47,68	-36,6	214,1	1510	146,1	0,996
Ацетон	56,1	-93,2	235	745,0	517	2,28
Метанол	64,71	-98,0	240,0	751,0	1120	2,56
Вода	100,0	0	374,12	958,4	2256,8	4,22

Тепловий потік до термосифона підводиться з торця, тому коефіцієнт тепловіддачі при кипінні в зоні нагріву термосифона рекомендується розраховувати за формулою [5]

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,62 t_s^{0,68} q_F^{0,41} \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)},$$

де t_s – температура насичення проміжного теплоносія в порожнині термосифона, °С; q_F – густина теплового потоку, віднесена до площі поверхні теплопідведення, Вт/м².

Коефіцієнт теплопередачі в зоні конденсації, Вт/(м²·К),

$$k_{\text{конд}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{конд}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2 k_{\text{оп}}}},$$

лишнього середовища не нижче 0 °С. За умови підтримання температури кристала світлодіода не вище 80...150 °С інші теплоносії мають майже рівні показники працездатності та теплової ефективності. Тому подальший вибір теплоносія – це питання техніко-економічної оптимізації, яка полягає у забезпеченні доступності та зменшенні вартості теплоносія на момент проектування і виготовлення виробу.

Метою теплового розрахунку термосифонної системи охолодження є визначення площі поверхні зони конденсації, що забезпечить необхідну температуру кристала світлодіода. В основі теплового розрахунку лежить методика [2, 4], розроблена кафедрою ТТ і СПУ НУК з урахуванням деяких особливостей.

Розрахунок починається з вибору матеріалу та геометричних розмірів термосифона: площі зони нагріву та довжини зони конденсації, діаметра і товщини стінки термосифона; типу проміжного теплоносія та параметрів навколишнього середовища. Потім здійснюється розрахунок температури проміжного теплоносія [7], температурних напорів та коефіцієнтів теплопередачі в зонах кипіння і конденсації термосифона [2, 4].

Коефіцієнт теплопередачі в зоні нагріву термосифона визначається за формулою

$$k_{\text{нагр}} = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{кип}}}},$$

де $\delta_{\text{ст}}$, $\lambda_{\text{ст}}$ – відповідно товщина, м, та коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), стінки термосифона з боку кристала світлодіода.

де $\alpha_{\text{конд}}$, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі відповідно при конденсації проміжного теплоносія та при охолодженні навколишнім повітрям, Вт/(м²·К); $k_{\text{оп}}$ – коефіцієнт оребрення зони конденсації.

Коефіцієнт тепловіддачі при конденсації проміжного теплоносія визначається за відомою формулою Нуссельта [3], за якою температура стінки береться рівною середньоарифметичному значенню температур проміжного теплоносія та навколишнього середовища. Оскільки положення світлодіодного світильника не завжди строго вертикальне, то для кутів нахилу $\varphi = 15...90^\circ$ коефіцієнт тепловіддачі при конденсації можна визначити за формулою [6]

$$\alpha_{\text{кондр}} = \alpha_{\text{конд}} \left(1 + 0,074 \left(\frac{l_{\text{конд}} \cos \varphi}{d_{\text{тс}}} \right)^{0,7} \right),$$

де $\alpha_{\text{конд}}$ – коефіцієнт тепловіддачі при конденсації для $\phi = 90^\circ$; $l_{\text{конд}}$ – довжина зони конденсації, м; $d_{\text{те}}$ – діаметр термосифона, м.

За визначеними коефіцієнтами теплопередачі та температурними напорами уточнюється температура проміжного теплоносія і визначається теплосприймання термосифона й необхідна площа конденсатора.

Результати розрахунку термосифонної системи охолодження світильника з потужним світлодіодом

CREE ML-B наведені на рис. 2 у вигляді графічних залежностей розрахункової площі конденсатора від температури кристала світлодіода (в діапазоні від номінальної робочої $t_{\text{мін}} = 100^\circ\text{C}$ до максимально допустимої за документацією $t_{\text{макс}} = 150^\circ\text{C}$) для трьох варіантів теплоносіїв: 1 – фреону-113; 2 – ацетону; 3 – метанолу. Технічні характеристики термосифонного охолоджувача наведено нижче:

Матеріал термосифона	мідь
Діаметр термосифона	0,01 м
Довжина термосифона	0,05 м
Довжина зони конденсації	0,04 м
Діаметр теплосприймального торця зони випаровування	0,05 м

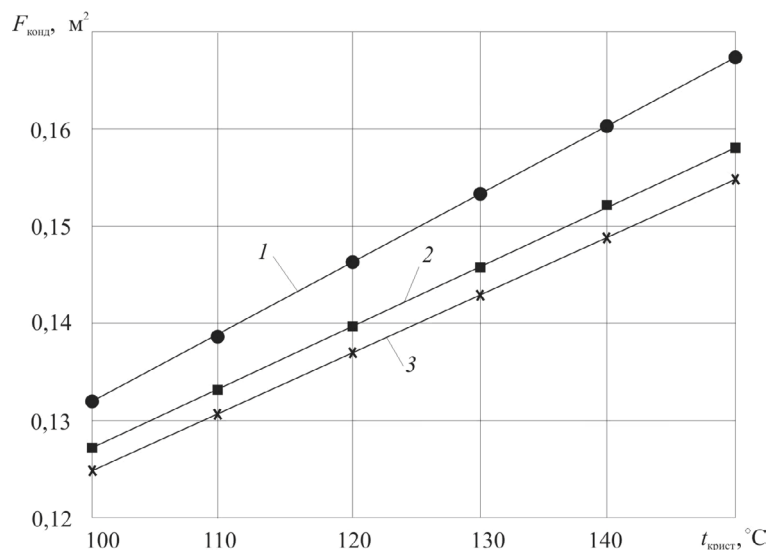


Рис. 2. Залежність розрахункової площі конденсатора від температури кристала світлодіода для різних теплоносіїв

ВИСНОВКИ

Запропоновано конструкцію і рекомендовано співвідношення для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні та конденсації в порожнині термосифона за різних умов використання си-

стеми охолодження світлодіодних світильників. Наведено результати розрахунку термосифонної системи охолодження світильника з потужним світлодіодом CREE ML-B для трьох варіантів теплоносіїв: ацетону, метанолу та фреону-113.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] **Айзенберг, Ю. Б.** Энергоэффективное освещение. Проблемы и решения [Текст] / Ю. Б. Айзенберг, О. В. Малахова. – Энергосвет. – 2010. – № 6 (11).

[2] **Долганов, Ю. А.** Термосифонный экономайзер-повітропідігрівник для котельних агрегатів малої потужності [Текст] / Ю. А. Долганов, О. А. Єпіфанов, Б. В. Димо // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2012. – № 1 (442). – С. 66–72.

[3] **Исаченко, В. П.** Теплопередача [Текст] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 4-е изд. – М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с.

[4] Особливості конструкції та методики теплового розрахунку термосифонного секційного котла утилізатора [Текст] / О. А. Єпіфанов, Б. В. Димо, Ю. А. Долганов, Н. О. Мельничук // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. – № 2 (437). – С. 97–105.

[5] **Пиоро, И. Л.** Эффективные теплообменники с двухфазными термосифонами [Текст] / И. Л. Пиоро. – К. : Наукова думка, 1991.

- [6] **Семена, М. Г.** Исследование теплообмена в конденсационной части двухфазных термосифонов [Текст] / М. Г. Семена, Ю. Ф. Киселев // Теплообмен в энергетических установках. – К. : Наукова думка, 1978. – С. 68–74.
- [7] **Семена, М. Г.** Некоторые рекомендации по расчету теплообменников, выполненных на базе двухфазных термосифонов и гравитационных тепловых труб [Текст] / М. Г. Семена, Ю. Ф. Киселев // Промышленная энергетика. – 1990. – № 3.
- [8] **Староверов, К. А.** Системы охлаждения для светодиодов [Текст] / К. А. Староверов // Новости электроники. – 2008. – № 17.

© Ю. А. Долганов, О. А. Єпіфанов

Надійшла до редколегії 14.01.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. Б. Г. Тимошевський