

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ВЕРИФІКАЦІЯ ЧИСЕЛЬНОЇ МОДЕЛІ РАДІАТОРА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОТУЖНОГО СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

К. т. н. Д. В. Козак, д. т. н. С. М. Хайрмасов, д. т. н. Ю. Є. Ніколаєнко

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Україна, м. Київ

dk.kpi.hp@gmail.com; sergey.khairnasov@gmail.com

Проведено чисельне моделювання та експериментальне дослідження температурних режимів алюмінієвого профільного радіатора в умовах природної конвекції повітря у діапазоні теплової потужності від 50 до 150 Вт та кутах нахилу радіатора відносно горизонту від 90° до 0°. Отримані результати демонструють можливість застосування розробленої чисельної моделі для подальшої розробки конструкції системи охолодження потужного світлодіодного освітлювального пристрою на основі кількох таких радіаторів та теплових труб.

Ключові слова: природна конвекція, радіатор, система охолодження, світлодіодний освітлювальний пристрій.

Стрімкий розвиток напівпровідникових технологій та необхідність у створенні високоефективних потужних джерел світла призвело до розроблення гами систем освітлення на основі світлодіодних джерел. Сьогодні потужні світлодіодні освітлювальні пристрої широко використовуються для зовнішнього освітлення доріг, стадіонів, приміщень з великими площами тощо. Однією з основних проблем світлодіодів є перетворення у теплоту значної частки електричної енергії (70 – 85%) [1]. Крім того, постійне збільшення їхньої електричної потужності та зменшення розмірів призводять до зростання густини теплового потоку. Ці два фактори напряму впливають на теплові режими світлодіодної освітлювальної техніки, відповідно надійність та строк її служби й вимагають пошуку та розробки сучасних систем охолодження [2]. Сьогодні пасивні системи охолодження потужних світлодіодних освітлювальних пристроїв (з тепловою потужністю понад 300 Вт), які використовують природну конвекцію, будуються на основі високоефективних радіаторів з вбудованими тепловими трубами та характеризуються значною масою та габаритами. Так, модель радіатора COOLFIN® Giga для світлодіодного освітлювального пристрою має габарити 468×226×446 мм та масу 6,9 кг і забезпечує відвід теплової потужності природною конвекцією до 406 Вт при термічному опорі 0,1°C/Вт [3]. З метою забезпечення високих вимог до надійності системи охолодження освітлювальних пристроїв часто будуються на основі надійних алюмінієвих профільних радіаторів. Враховуючи складність досягнення одночасного забезпечення теплових вимог та компактності системи охолодження з мінімальною масою на основі таких радіаторів, необхідно оптимізувати її конструкцію з використанням чисельного моделювання, а це своєю чергою вимагає наявності верифікованих чисельних моделей, здатних забезпечувати швидкі теплові розрахунки з мінімальною похибкою.

Метою роботи було створення чисельної моделі радіатора системи охолодження, що описує процеси тепломасообміну в умовах природної конвекції повітря, та забезпечення її експериментальної верифікації. Результати роботи призначаються для використання при розробленні системи охолодження потужного світлодіодного освітлювального пристрою на основі кількох таких радіаторів.

Чисельна модель радіатора була реалізована в пакеті прикладних програм FloTHERM. Вона дозволяє проводити теплові розрахунки в умовах природної конвекції повітря з урахуванням теплообміну випромінюванням у широкому діапазоні температури та розташуванні радіатора від вертикального положення (90°) до горизонтального (0°). В експериментах, що проводилися на підтвердження результатів моделювання, використовувалася камера природної конвекції, в якій підтримувалась температура повітря 23±0,5°C. В камері встановлювався експериментальний зразок радіатора (див. рисунок) з 52 датчиками температури (мідь-константановими термопарами) з розміром спаїв 0,5 мм, позначеними на рисунку жирними крапками. Експериментальний зразок, крім радіатора, містив імітатори тепловидільних елементів — світлодіодних модулів. Для теплоізоляції між основою радіатора та іміта-

торами використовувався термоінтерфейсний матеріал — паста з теплопровідністю $4,8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ товщиною шару не більше $0,5 \text{ мм}$. Порівняння результатів чисельної моделі та експерименту проводилось за значеннями температури в контрольних точках, які відповідають місцям розташування термодатчиків. Сумарна теплова потужність імітаторів змінювалась від 50 до 150 Вт . Додатково за результатами експериментальних досліджень були визначені приведені коефіцієнти теплообміну в умовах природної конвекції повітря, значення яких варіювались від $3,7$ до $5,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ залежно від кута нахилу радіатора та його температури.

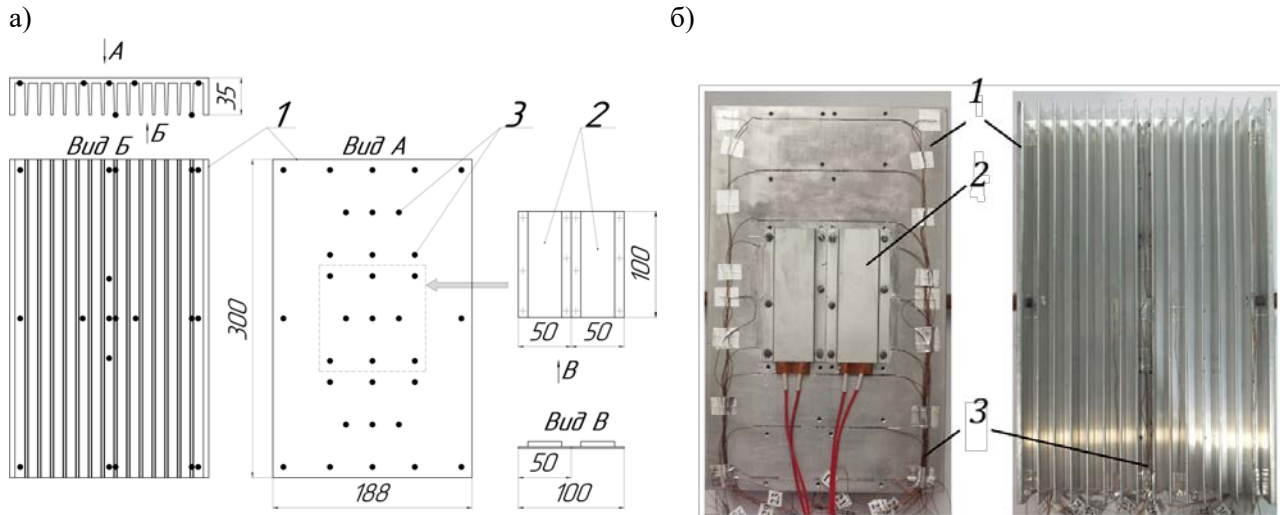


Схема встановлення датчиків температури (а) та загальний вигляд (б) експериментального зразка радіатора:

1 — радіатор; 2 — імітатори світлодіодних модулів; 3 — датчики температури

Результати верифікації показали достатньо хороше співпадіння розрахункових та експериментальних даних при температурах на радіаторі від 50 до 100°C : похибка складала до 3% при вертикальному розташуванні та під кутом 45° і до 5% при горизонтальному розташуванні. Це підтверджує адекватність розробленої чисельної моделі та можливість подальшого її застосування при проектуванні системи охолодження потужного світлодіодного освітлювального пристрою.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2023.04/0055).

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Hamidnia M., Luo Y., Wang X. D. Application of micro/nano technology for thermal management of high power LED packaging – A review. *Appl. Therm. Eng.*, 2018, vol. 145, p. 637–651.
2. Zongtao Li, Jing Tan, Jiasheng Li et al. A review on thermal management of light-emitting diodes: From package-level to system-level. *Appl. Therm. Eng.*, 2024, vol. 257, art. 124145.
3. Product brief. CoolFin® Giga - High Power heat pipe LED Cooler with stack fins, p. 2. https://www.led-heatsink.com/content/files/pdfs/productPdfs/MTX/CoolFin/CoolFin_Giga_High_Power_heat_pipe_LED_Cooler_with_stack_fins-Product_Brief.pdf

D. V. Kozak, S. M. Khairnasov, Yu. E. Nikolaenko

Experimental verification of a numerical model of the heatsink used in the cooling system for powerful LED lighting devices

The authors conduct a numerical modeling and experimentally study aluminium heatsink temperature behaviour at natural air convection in the heat power range from 50 to 150 W and at the heatsink inclination from 90 to 0 degrees relative to the horizon. The obtained results demonstrate the possibility to apply the numerical model for further development of the cooling system design with several heatsinks based on heat pipes for high-power LED lighting devices.

Keywords: natural convection, heatsink, cooling system, LED lighting device.