

ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ КИПІННІ НА РІЗЬБОВІЙ ТА ГЛАДКІЙ ПОВЕРХНЯХ В ЗОНІ ВИПАРОВУВАННЯ ПЛАСКОЇ ГРТТ

Р. С. Мельник, Л. В. Ліпницький, д. т. н. Ю. Є. Ніколаєнко

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Україна, м. Київ
m.roman.kpi@gmail.com, yunikola@ukr.net

Наведено приклад модифікації поверхні випаровування двофазних теплопередавальних пристроїв для підвищення ефективності систем охолодження на їх основі, а саме — нарізання різьби на довжину зони випаровування. В результаті отримано зростання інтенсивності тепловіддачі на 25 — 45% у порівнянні з гладкою поверхнею залежно від орієнтації у просторі.

Ключові слова: термосифон, тепла труба, інтенсивність тепловіддачі, система охолодження, кипіння.

Функціонування потужних електронних пристроїв напряму залежить від температури електронних компонентів та ефективності роботи системи охолодження. Більшість систем тепловідведення функціонують на базі двофазних теплопередавальних пристроїв, таких як термосифони та гравітаційні теплові труби (ГРТТ). Гравітаційні теплові труби та двофазні термосифони є найбільш простими у виготовленні, адже являють собою герметичний корпус з теплоносієм. Проте через гладку стінку такі системи обмежені в ефективності та мають обмежений діапазон функціонування при різній орієнтації в просторі. Для покращення ефективності ГРТТ використовують різні методи, спрямовані на підвищення інтенсивності тепловіддачі при кипінні, наприклад нарізання гелікоїдних каналів чи прямих канавок всередині ГРТТ, збільшення шорсткості поверхні, нанесення покриттів з інших матеріалів тощо. Один з варіантів інтенсифікації тепловіддачі в ГРТТ запропоновано в [1], де автори порівняли теплові характеристики циліндричної мідно-водяної ГРТТ довжиною 300 мм з гладкою внутрішньою поверхнею та чотирьох ГРТТ з модифікованою внутрішньою поверхнею у вигляді спіральних канавок з кроком 0,75; 1,00; 1,25 та 1,50 мм. Довжина кожної секції — 100 мм, внутрішній і зовнішній діаметри — 9 та 11 мм відповідно. Показано, що при вертикальній орієнтації ГРТТ в діапазоні потужностей від 25 до 200 Вт збільшення загального коефіцієнта тепловіддачі при кипінні на різьбовій поверхні може становити 20—55% порівняно з кипінням на гладкій поверхні.

Проте досить часто в системах охолодження електронних пристроїв бажано використовувати не циліндричні, а плоскі ГРТТ. Зміна геометрії та орієнтації ГРТТ в просторі можуть суттєво вплинути на протікання процесів гідродинаміки рідинних та парових потоків всередині замкненої системи. Більш того, такий вплив може відрізнятись для гладких та різьбових поверхонь кипіння. Разом з тим, на сьогодні відсутні дослідження процесів кипіння на різьбових поверхнях в зоні випаровування плоских ГРТТ, що стримує оцінку їхньої ефективності порівняно з кипінням на гладкій поверхні.

Метою цієї роботи є вивчення інтенсивності тепловіддачі при кипінні на різьбовій поверхні в зоні нагріву плоскої ГРТТ з етанолом при зміні її орієнтації в просторі від 15 до 90° та порівняння з інтенсивністю тепловіддачі при кипінні на гладкій поверхні.

Для проведення досліджень було виготовлено експериментальну установку (рис. 1), робочою ділянкою якої була плоска ГРТТ з різьбовим випарником. Загальна довжина ГРТТ складала 245 мм, ширина 14,5 мм, товщина 4 мм, висота парового простору 3 мм. Теплоносій — етанол. Датчики температури встановлювали рівномірно по довжині експериментального зразка. Тепловідведення електронних компонентів імітувалось за допомогою омичного нагрівача, відводилась теплота за допомогою стандартного радіаторного алюмінієвого профілю, на який було встановлено два вентилятори з витратою повітря 5,2 м³/год. В результаті експериментальних досліджень було отримано залежності коефіцієнтів тепловіддачі в зоні нагріву α_{zn} від орієнтації в просторі ГРТТ з різьбовою та з гладкою поверхнею випаровування при підведеній тепловій потужності 50 Вт (рис. 2).

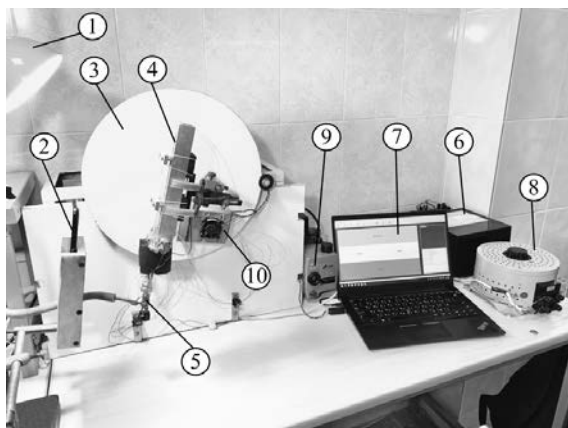


Рис. 1. Загальний вигляд установки:

1 — світильник; 2 — швидкісна камера; 3 — поворотний пристрій; 4 — експериментальний зразок ГРТТ; 5 — вентиль; 6 — ватметр; 7 — ПК; 8 — ЛАТР; 9 — вакуумний насос; 10 — модуль збору даних



Рис. 2. Експериментальні залежності коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{\text{нп}}$ в зоні нагріву від кута нахилу ГРТТ з різьбовою та гладкою поверхнями при підведенні теплової потужності 50 Вт, а також відомі залежності Імура та Розенова, розраховані за формулами з [2]

Порівняння отриманих результатів для різьбової та гладкої поверхонь випаровування показало, що інтенсивність тепловіддачі при кипінні на різьбовій поверхні на 25—45% вище, ніж на гладкій і залежить від кута нахилу. При зменшенні кута нахилу від 90 до 15° інтенсивність тепловіддачі падає на 26%. У випадку ж гладкої поверхні таке падіння не перевищує 5%. Таку відмінність можна пояснити тим, що при зменшенні кута нахилу теплоносій не так активно потрапляє в зону нагріву, адже на відміну від гладкої поверхні вершини та западини витків різьби затримують потік.

Окрім отриманих експериментальних даних, на рис. 2 для порівняння наведено також відомі залежності Імури та Розенова для коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні теплоносіїв, що розраховувалися за формулами, наведеними у [2]. Спостерігається суттєве відхилення експериментальних точок від розрахункових залежностей, що, вочевидь, пояснюється різними умовами експериментів, складністю процесів кипіння та значною кількістю факторів, що можуть впливати на результати.

Таким чином, порівняно проста та технологічна модифікація зони нагріву ГРТТ шляхом виконання різьбових спіральних канавок з кроком 0,5 мм дозволяє суттєво (на 25—45%) підвищити ефективність тепловіддачі при кипінні в зоні нагріву пласкої ГРТТ з етанолом.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Attia AAA, El-Nagar KH, El-Ghnam RI. An experimental study on the effect of internal helical groove with different pitches on heat pipe performance. *Ain Shams Journal of Mechanical Engineering*, 2009, № 2, p. 129–138.
2. Noie S.H. Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon. *Appl. Therm. Eng.*, 2005, vol. 25, iss. 4, p. 495–506. doi:10.1016/j.applthermaleng.2004.06.019

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2020.02/0357) та Міністерства освіти і науки України (проект № 2603).

R. Melnyk, L. Lipnitskyi, Yu. Nikolaenko

Intensity of boiling heat transfer in flat gravity heat pipe with bare and threaded evaporator surfaces

Modification of evaporation surfaces of two-phase systems is an effective way to improve the efficiency of cooling systems based on two-phase systems. This paper presents an example of such modification, namely, thread cutting along the length of the evaporation zone. This allows increasing the heat transfer intensity by 25—45% compared to a smooth surface, depending on the orientation in space.

Keywords: thermosyphon, heat pipe, heat transfer intensity, thermal stabilization systems, boiling.