

ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІНІАТЮРНИХ ТЕРМОСИФОНІВ З НАНОРІДИНАМИ В РОЛІ ТЕПЛОНОСІЇВ

Д. т. н. В. Ю. Кравець, к. т. н. В. Н. Морару*, к. т. н. В. І. Коньшин, Д. І. Гуров,
к. т. н. Н. Л. Лебедь, Д. Г. Захлівний

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

* Інститут газу НАН України

Україна, м. Київ

kravetz_kpi@ukr.net, vasily.moraru@gmail.com

Представлено результати дослідження впливу виду теплоносія (вода та нанорідина) на теплопередавальні характеристики мініатюрних термосифонів довжиною 0,7 м та внутрішнім діаметром 5 мм. В ролі нанорідин використовувалися суміші: вода +0,1% вуглецеві нанотрубки та вода +0,1% алюмосилікат з додаванням вуглецевих нанотрубок. Встановлено, що нанорідина значно підвищує максимальний тепловий потік термосифонів порівняно з водою.

Ключові слова: мініатюрний термосифон, термічний опір, тепловий потік, теплоносії, нанорідина.

Постійне зменшення масогабаритних характеристик елементів електронного обладнання з одночасним збільшенням їх функціональних можливостей приводить до підвищення їх температурного режиму, що може викликати аварійну ситуацію. Тому це потребує створення ефективних систем охолодження малої ваги та габаритів, спроможних відводити значні теплові навантаження при малих перепадах температури між ділянками підвода теплоти та її відводу. До таких пристроїв належать термосифони, які через свою ефективність та простоту виготовлення знайшли широке застосування в різних галузях промисловості [1]. Однак мініатюризація систем охолодження на основі термосифонів приводить до зниження їхніх теплопередавальних характеристик у порівнянні з «великими» термосифонами. Для підвищення теплопередавальної спроможності мініатюрних термосифонів можна застосувати нанорідина в ролі теплоносіїв [2].

Терміном “нанорідина” заведено називати колоїдний розчин, що складається з базової рідини та дисперсних наночастинок з характерними розмірами від 1 до 100 нм. Базовою рідиною може бути вода, органічні рідини або полімерні розчини. Твердими наночастинами зазвичай є частинки хімічно стійких металів і їх оксидів. Також часто використовуються нанорідина на основі вуглецевих нанотрубок, особливість яких полягає в тому, що їхній діаметр коливається від одного до декількох нанометрів, а довжина може досягати десятків, сотень і навіть тисяч мікрометрів.

Це дослідження присвячено визначенню впливу типу теплоносія та коефіцієнту заповнення K_3 на термічний опір R мініатюрних термосифонів і максимальний тепловий потік Q , що передається.

Характеристики досліджуваних термосифонів та склад теплоносія наведено у таблиці.

Внутрішній діаметр, $d_{\text{вн}}$, мм	Загальна довжина, l_{Σ} , мм	Довжина зони випаровування, $l_{\text{зв}}$, мм	Довжина зони конденсації, $l_{\text{зк}}$, мм	Коефіцієнт заповнення, K_3	Теплоносії
5	700	45; 90; 200	200	0,44; 0,96; 1,93	Вода
		55; 105; 155; 205	205	0,42; 0,55; 0,82; 1,56	НР-2: вода + 0,1% алюмосилікат з вуглецевими нанотрубками
		50; 105; 155; 205	205	0,46; 0,59; 0,87; 1,82	НР-3: вода + 0,1% вуглецеві нанотрубки

Термосифони розташовувалися вертикально. Зона конденсації омивалася водою з температурою 20°C і постійною витратою $4,9 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

Проведені дослідження показали, що на термічний опір термосифона окрім теплового потоку суттєво впливає коефіцієнт заповнення (K_3), який є відношенням об'єму, що займає теплоносії V_p , до

об'єму всієї зони випаровування $V_{зв}$. Зміна K_3 відбувалася шляхом підключення до зони випаровування нагрівачів різної довжини, кількість теплоносія в термосифонах була постійною. Для порівняння теплопередавальних характеристик термосифонів, заправлених різними типами нанорідини, були вибрані суміші, де добавка порошку до базової рідини (вода) складала 0,1% (див. таблицю).

Вплив типу теплоносія на термічний опір термосифона для різних теплових потоків показано на рис. 1. Підвищення теплового потоку призводить до зниження термічного опору. Причому в діапазоні малих теплових потоків (до 50 Вт) спостерігається значне падіння R , що пов'язано із початком дії центрів пароутворення та поступовим зростанням інтенсивності тепловіддачі в зоні випаровування. Подальше збільшення теплового потоку характеризується повільним зниженням R , оскільки кількість центрів пароутворення практично максимально покриває всю поверхню зони випаровування. Різке збільшення термічного опору викликане виникненням парової плівки. Стрілками на рис. 1 показано режим некерованого зростання температури, яке характерно для плівкового теплообміну в зоні випаровування.

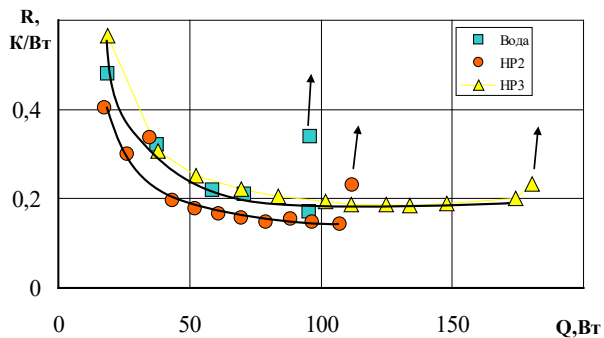


Рис. 1. Залежність термічного опору R від теплового потоку Q для різних типів теплоносіїв ($K_3=0,44\pm 0,02$)

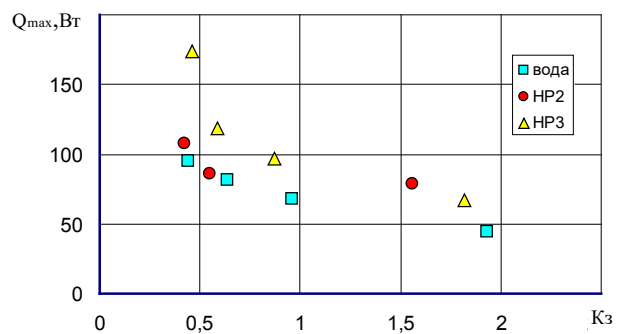


Рис. 2. Залежність максимального теплового потоку Q_{\max} від коефіцієнта заповнення K_3 двофазних мініатюрних термосифонів

Максимальні теплові потоки визначалися при мінімальному значенні R для кожного теплоносія. Як видно з рис. 2, додавання до води 0,1% нанопорошку призводило до підвищення Q_{\max} . При цьому значне зростання Q_{\max} (в деяких випадках — у два рази) спостерігалось при малих значеннях K_3 у разі використання нанорідини НР-3, тобто води з додаванням вуглецевих нанотрубок. Такий ефект не досягався з теплоносієм НР-2 — використання води з сумішшю вуглецевих нанотрубок та алюмосилікату (звичайна глина) замість води не призводило до суттєвого зростання Q_{\max} .

Таким чином, дослідження показало, що застосування нанорідин на основі води в ролі теплоносіїв у мініатюрних термосифонах призводить до поліпшення їхніх теплопередавальних характеристик порівняно з базовою рідиною водою. Надалі необхідно з'ясувати, як впливає відсотковий зміст нанопорошку в базовій рідині на підвищення максимальних теплових потоків і зменшення термічного опору мініатюрних термосифонів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. *Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика*. Київ, Факт, 2005, 704 с.
2. Bondarenko B.I., Moraru V.N., Kravets V.Yu., Behmard G. The effect of nanofluids on the heat-transfer capacity of miniature thermosyphons for electronics cooling. *Technical Physics Letters*, 2019, vol. 45, N 3, pp. 298–302.

V. Kravets, V. Moraru, V. Konshin, D. Hurov, N. Lebed, D. Zahlivni

Heat transfer characteristics of miniature thermosyphons with nanofluids as heat carriers

The paper presents data on the effect of the type of heat carrier (water and nanofluids) on the heat transfer characteristics of miniature thermosyphons with a length of 0.7 m and an internal diameter of 5 mm. Mixtures (water + 0.1% carbon nanotubes and water + 0.1% aluminosilicate with the addition of carbon nanotubes) were used as nanofluids. It is shown that nanofluids significantly increase the maximum heat flows of thermosyphons compared to water.

Keywords: miniature thermosyphon, thermal resistance, heat flow.