

ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИАТЮРНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОНОВ С НАНОЖИДКОСТЯМИ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Д. т. н. В. Ю. Кравец¹, к. т. н. В. Н. Морару², Г. Бехмард¹, Д. И. Гуров¹

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»; ²Институт газа НАН Украины
Украина, г. Киев

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

Проведены экспериментальные исследования термического сопротивления миниатюрных двухфазных термосифонов с внутренним диаметром 5 мм, длиной 700 мм, заправленных водой и наножидкостью (вода + 0,1% углеродный нанопорошок). Показано влияние вида теплоносителя на термическое сопротивление и максимальные тепловые потоки.

Ключевые слова: миниатюрный термосифон, термическое сопротивление, тепловой поток.

Современные тенденции к снижению массогабаритных характеристик электронных устройств с одновременным повышением их функциональных возможностей делают актуальной задачу обеспечения их заданного температурного режима. В настоящее время количество полупроводниковых элементов в микросхемах достигает 30 миллиардов, что приводит к росту мощности рассеяния и, соответственно, повышению температурного показателя, а это требует новых эффективных систем отвода теплоты от миниатюрных элементов. Одним из наиболее интенсивных методов отвода больших тепловых потоков является охлаждение путем изменения агрегатного состояния вещества (процесс кипения и конденсации). Таким критериям отвечают устройства, использующие испарительно-конденсационный принцип передачи теплоты, которые нашли широкое применение в различных объектах теплообменного оборудования. Основным их преимуществом является обеспечение высокой интенсивности теплоотдачи в областях подвода и отвода тепловой энергии. Одними из таких элементов систем охлаждения являются замкнутые двухфазные термосифоны различных конструкций [2]. Они отличаются высокими теплопередающими характеристиками и простотой изготовления. Количество отводимых тепловых потоков таких устройств зависит от многих факторов, однако помимо всех определяющих факторов, таких как количество заправленного теплоносителя, общая длина, длины зон нагрева (испарения) и конденсации, основными являются внутренний диаметр термосифона $d_{\text{вн}}$ и теплофизические свойства теплоносителя. Уменьшение $d_{\text{вн}}$ существенно снижает теплопередающие характеристики термосифона. В свою очередь теплофизические свойства теплоносителя влияют на величину максимальных тепловых потоков и температурный режим термосифона. Использование теплоносителей с добавками нанопорошка позволяет увеличить величину критических тепловых потоков при кипении, в некоторых случаях в несколько раз [3].

Настоящее исследование посвящено определению влияния определяющих факторов, таких как внутренний диаметр $d_{\text{вн}}$, коэффициент заполнения K_3 (равен отношению объема, занимаемого теплоносителем $V_{\text{ж}}$, к объему всей зоны нагрева $V_{\text{зн}}$) и вид теплоносителя, на теплопередающие характеристики миниатюрных двухфазных термосифонов (см. таблицу).

Характеристики исследуемых термосифонов

Внутренний диаметр, $d_{\text{вн}}$, мм	Общая длина, l_{Σ} , мм	Длина зоны конденсации, $l_{\text{к2}}$, мм	Длина зоны нагрева, $l_{\text{зн}}$, мм	$d_{\text{вн}} / l_{\text{зн}}$	Коэффициент заполнения, K_3	Теплоноситель
5	700	210	45; 90; 200	0,111; 0,056; 0,025	0,44; 0,96; 1,93	Вода
			50; 105; 155; 205	0,1; 0,091; 0,032; 0,024	0,46; 0,59; 0,87; 1,82	Наножидкость

В качестве теплоносителя использовалась вода и наножидкость — дистиллированная вода, в которую добавлены углеродные нанотрубки (нанопорошок) радиусом $(410—590) \cdot 10^{-9}$ м [3] в количестве 0,1% от всего объема воды. Зона конденсации омывалась водой с температурой 20°C и постоянным расходом $4,9 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

Исследование показало, что характер процессов передачи теплоты в таких термосифонах с наножидкостями такие же, как и при использовании других теплоносителей: при увеличении теплового потока термическое сопротивление уменьшается и зависит от коэффициента заполнения, а отличие заключается лишь в количественных характеристиках (рис. 1). Увеличение теплопередающей способности при кипении воды с нанопорошком свидетельствует о том, что в зоне нагрева формируется своеобразная шероховатая поверхность, которая препятствует слиянию паровых пузырей и появлению паровых пленок при максимальных тепловых потоках.

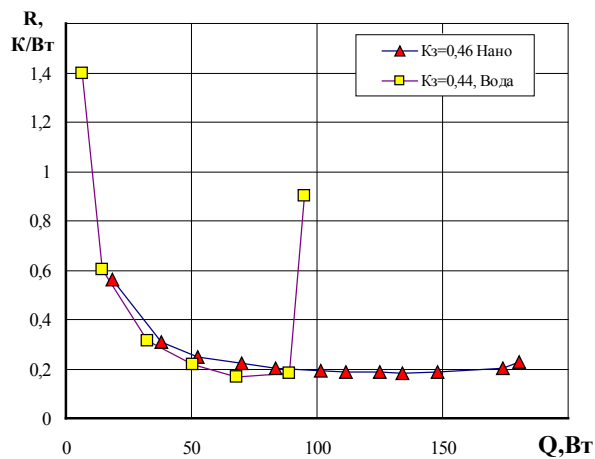


Рис. 1. Зависимость термического сопротивления R от теплового потока Q

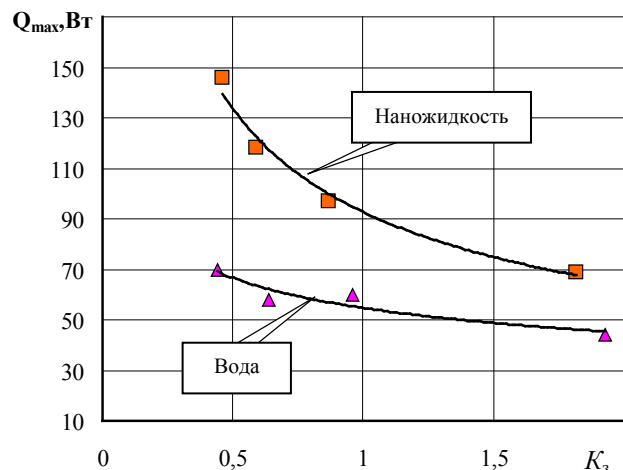


Рис. 2. Зависимость максимального теплового потока Q_{\max} миниатюрного термосифона от K_3

На величину максимального теплового потока Q_{\max} существенно влияет и коэффициент заполнения (рис. 2). Термосифон с наножидкостью показал лучшие характеристики, чем заправленный водой, особенно при небольших K_3 : при $K_3 \approx 0,5$ значение Q_{\max} для термосифона, заправленного наножидкостью, более чем в 2 раза превышает Q_{\max} при заправке водой.

Таким образом, результаты проведенного исследования указывают на то, что применение теплоносителей с добавлением нанопорошка является перспективным направлением для повышения теплопередающих характеристик испарительно-конденсационных устройств, применяемых для термостабилизации элементов электронного оборудования.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Безродный, М. К., Пиоро И. Л., Костюк Т. О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика – Киев: Факт, 2005.
2. Бондаренко Б.И., Морару В.Н., Сидоренко С.В. и др. Наножидкости для энергетики: влияние стабилизации на критический тепловой поток при кипении // Письма в ЖТФ.– 2012.– Т. 38, вып. 18.– С. 68–78.

V. Yu. Kravets, V. N. Moraru, Gh. Behmard, D. I. Hurov

Heat transfer characteristics of miniature two-phase thermosyphons with nanoid liquids as a heat carrier

The paper presents experimental data of thermal resistance of miniature two-phase thermosyphons with an inner diameter of 5 mm, length of 700 mm filled with water and a nanofluid (water + 0.1% carbon nanopowder). The influence of the type of heat carrier on the thermal resistance and the maximum heat flux is shown.

Keywords: thermosyphon, thermal resistance, heat flux.