

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОНОВ

Д. т. н. В. Ю. Кравец, к. т. н. В. И. Коньшин, Бехмард Голамреза, Д. И. Гуров

НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Украина, г. Киев

kravetz_kpi@ukr.net

Приводятся экспериментальные данные термического сопротивления миниатюрных двухфазных термосифонов внутренним диаметром 3, 5 и 9 мм, длиной 700 мм, заправленных водой, метанолом и фреоном 113. Показано влияние внутреннего диаметра термосифона, коэффициента заполнения и вида теплоносителя на его термическое сопротивление.

Ключевые слова: термосифон, термическое сопротивление, тепловой поток.

Применение систем охлаждения на основе испарительно-конденсационного цикла позволяет обеспечить заданный температурный режим миниатюрных электронных приборов. Одними из эффективных элементов таких систем в настоящее время являются замкнутые двухфазные термосифоны различных конструкций [1, 2]. Их преимущества по сравнению с другими видами элементов систем охлаждения заключаются в высоких теплопередающих способностях и простоте изготовления. Однако на теплопередающие характеристики термосифонов влияют большое количество факторов. Это, прежде всего, общая длина, внутренний диаметр, длина зон нагрева (испарения) и конденсации, количество заправленного теплоносителя и его теплофизические свойства, условия охлаждения зоны конденсации.

К основным теплопередающим характеристикам термосифонов относится величина термического сопротивления R при максимальной передаваемой мощности Q_{\max} . Суммарная величина R_{Σ} зависит от интенсивности теплоотдачи в зонах испарения и конденсации. Основной вклад при этом вносит зона испарения, где происходит процесс перехода теплоносителя из жидкой фазы в паровую. Режим пузырькового кипения отличается высокими коэффициентами теплоотдачи, однако при изменении внутреннего диаметра термосифонов меняются также и условия парообразования. Степень заполнения термосифона теплоносителем также влияет на интенсивность теплоотдачи в зоне испарения и, соответственно, на величину термического сопротивления.

Настоящее исследование посвящено определению влияния определяющих факторов на величину термического сопротивления медных термосифонов с внутренним диаметром $d_{\text{вн}}$ 3, 5 и 9 мм длиной 700 мм. В качестве теплоносителя использовались дистиллированная деаэрированная вода, метанол и фреон 113. Коэффициент заполнения K_3 , равный отношению объема, занимаемого теплоносителем $V_{\text{ж}}$ к объему всей зоны нагрева $V_{\text{зн}}$, составлял от 0,44 до 1,93. Зона конденсации омывалась водой с температурой $t_{\text{охл}} = 20^\circ\text{C}$ и постоянным расходом $4,9 \cdot 10^{-3}$ кг/с. Расположение в пространстве — вертикальное по силам тяжести. Схема измерения и методика обработки экспериментальных данных приведена в [3].

Анализ процессов теплообмена в миниатюрных термосифонах показал, что на термическое сопротивление R влияют много факторов, среди которых основными являются диаметр парового пространства $d_{\text{пп}}$ (рис. 1), коэффициент заполнения K_3 и вид теплоносителя (рис. 2). Уменьшение диаметра парового пространства $d_{\text{пп}}$

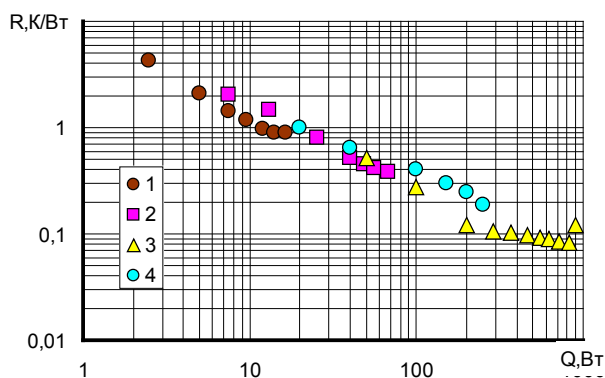


Рис. 1. Зависимость R от Q (вода; $t_{\text{охл}} = 20^\circ\text{C}$):
 1 – $d_{\text{пп}} = 3$ мм, $K_3 = 0,83$; 2 – $d_{\text{пп}} = 5$ мм, $K_3 = 0,96$;
 3 – $d_{\text{пп}} = 9$ мм, $K_3 = 0,8$;
 4 – данные [1], $d_{\text{пп}} = 6,0$ мм, $K_3 = 1,06$

приводит к повышению термического сопротивления термосифонов и снижению передаваемых тепловых потоков Q . Для каждого термосифона с возрастанием тепловой нагрузки значение R монотонно снижается до некоторого минимального значения, которое соответствует максимальному тепловому потоку. Дальнейшее увеличение теплового потока приводит к кризисным явлениям в зоне нагрева и резкому повышению термического сопротивления.

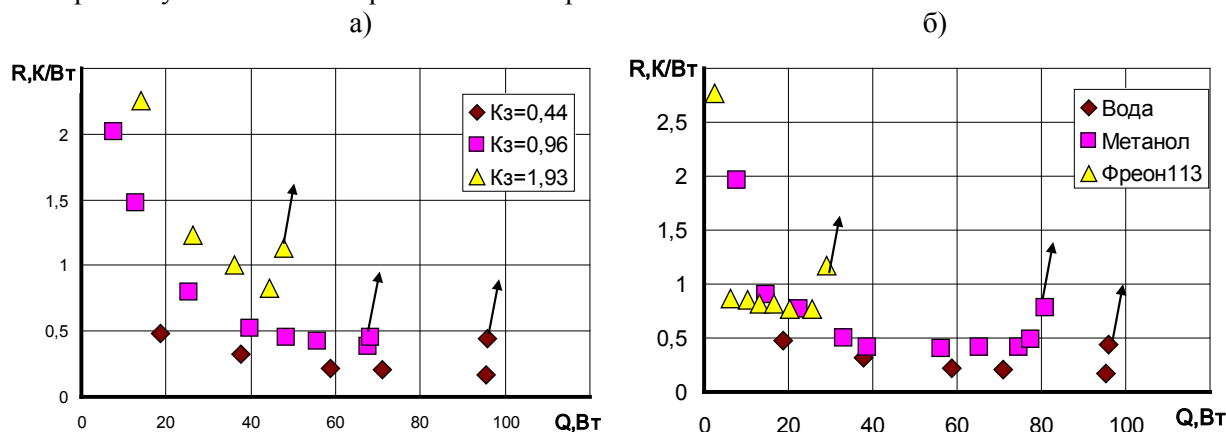


Рис. 2. Влияние коэффициента заполнения K_z (а) и вида теплоносителя (б) на термическое сопротивление термосифона с $d_{\text{int}} = 5$ мм (вода; $t_{\text{охл}} = 20^\circ\text{C}$)

Анализ экспериментальных данных показал, что термическое сопротивление обратно пропорционально внутреннему диаметру термосифона, коэффициенту теплопроводности теплоносителя λ и отводимому тепловому потоку. В результате обобщения экспериментальных данных были получены формулы для расчета суммарного термического сопротивления в различных диапазонах значений числа Рейнольдса Re :

$$\text{— для } Re < 2000 \quad R_{\Sigma} = 0,21 \frac{1}{\lambda d_{\text{int}}} \frac{1}{3} Re^{-0,8}; \quad (1)$$

$$\text{— для } Re > 2000 \quad R_{\Sigma} = 6,2 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\lambda d_{\text{int}}} \frac{1}{3} Re^{-0,3}. \quad (2)$$

Эмпирические зависимости получены в диапазоне изменения коэффициента заполнения $K_z = 0,44$ — $1,93$. Аппроксимация выполнялась методом наименьших квадратов. Формулы (1) и (2) обобщают 85% экспериментальных данных для воды, метанола и фреона 113 с разбросом $\pm 30\%$ и справедливы для диапазона значений внутреннего диаметра d_{int} от 3,0 до 9,0 мм.

Таким образом, полученные зависимости позволяют рассчитать величину термического сопротивления миниатюрных двухфазных термосифонов с теплоносителями, применяемыми для термостабилизации малогабаритного электронного оборудования в диапазоне температур от 20 до 100°C .

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Juhara H., Martinet O., Robinson A.J. Experimental study of small diameter thermosyphons charged with water, FC-84, FC-77 and FC-3283 // 5th European thermal-sciences conference.— Netherlands.— 2008.— P. 1—9.
2. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика.— Киев: Факт, 2005.
3. Кравец В.Ю., Чернобай В.А., Готовцева А.К. Теплопередающие характеристики двухфазных термосифонов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.— 2012.— Вып. 2/8(56).— С. 61—64.

V. Yu. Kravets, V. I. Konshin, Behmard Golampeza, D. I. Hurov
Thermal resistance of miniature two-phase thermosyphons

The paper presents the experimental data on thermal resistance of miniature two-phase thermosyphons with an internal diameter of 3, 5 and 9 mm length of 700 mm filled with water, methanol and Freon 113. The influence of the internal diameter of thermosyphons, the filling factor and the type of coolant on the thermal resistance of thermosyphons is shown.

Keywords: thermosyphon, thermal resistance, heat flow.