

УДК 536.24

ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИАТЮРНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОНОВ

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

НТУУ «Киевский политехнический институт»

Украина, г. Киев

Kravetz_kpi@ukr.net

Приводятся экспериментальные данные эквивалентной теплопроводности миниатюрных двухфазных термосифонов с внутренним диаметром 3, 5 и 9 мм, длиной 700 мм, заправленных водой, метанолом и фреоном-113. Показано влияние внутреннего диаметра термосифонов на эквивалентную теплопроводность и получены обобщающие зависимости для ее расчета.

Ключевые слова: термосифон, эквивалентная теплопроводность, тепловой поток.

Современная тенденция уменьшения массогабаритных характеристик радиоэлектронного оборудования с одновременным повышением выделяемых тепловых потоков приводит к необходимости совершенствования и миниатюризации систем охлаждения с повышенными теплопередающими характеристиками. Одним из важных требований к таким системам является способность передавать значительные удельные нагрузки при одновременном обеспечении заданных рабочих температур элементов приборного оборудования. Применение для отвода теплоты устройств, в основе которых используется испарительно-конденсационный цикл, позволил в некоторой степени решить эту проблему. Еще одним из важных факторов является простота изготовления. Всем этим качествам соответствуют двухфазные термосифоны, которые успешно используются в различных областях техники и показали свои преимущества по сравнению с другими видами элементов систем охлаждения [1, 2]. Эквивалентная теплопроводность термосифонов $\lambda_{\text{экв}}$ в зависимости от габаритов и вида теплоносителя может превышать 100000 Вт/(м·К), что на три порядка выше, чем у существующих самых теплопроводных материалов (медь, серебро, алмаз по оптической оси). Однако сложность процессов, происходящих при передаче теплоты внутри термосифонов (кипение, конденсация, перемещение пара и жидкости), а особенно в миниатюрных термосифонах (влияние стесненных условий), не позволяет аналитически решить задачу определения их основных теплопередающих характеристик, к которым относятся, помимо минимального термического сопротивления R_{min} и максимального теплового потока Q_{max} , и эквивалентная теплопроводность $\lambda_{\text{экв}}$.

Влияние различных факторов на эти показатели широко рассматривалось в литературе [1, 3—5], однако систематизация данных пока отсутствует. Кроме всех остальных факторов, в миниатюрных термосифонах на процессы передачи теплоты оказывают влияние их геометрические характеристики. Прежде всего, это внутренний диаметр парового пространства, снижение которого приводит к росту влияния капиллярных сил и сил поверхностного натяжения на процессы парообразования, гидродинамики движения двухфазного потока и конденсации [5]. Критерием, характеризующим взаимодействие сил поверхностного натяжения с гравитационными силами, может служить число Бонда ($Bo=d_{\text{пп}}/l_k$, где $d_{\text{пп}}$ – диаметр парового пространства, а l_k – капиллярная постоянная Лапласа) [2].

В настоящем исследовании представлено влияние диаметра парового пространства $d_{\text{пп}}$ на $\lambda_{\text{экв}}$. Были выбраны термосифоны с внутренними диаметрами $d_{\text{пп}}=3; 5$ и 9 мм, длиной 0,7 м. В качестве теплоносителя использовались вода, метанол и фреон-113. Длина зон нагрева и конденсации была 0,2 м. Коэффициент заполнения K_z , равный отношению объема, занимаемого теплоносителем $V_{\text{ж}}$ к объему всей зоны нагрева $V_{\text{зн}}$, изменялся от $0,44\pm 0,03$ до $1,93\pm 0,03$. Отвод теплоты от зоны конденсации осуществлялся водой с температурой 20°C и постоянным расходом $4,9 \cdot 10^{-3}$ кг/с. Расположение в пространстве – вертикальное по силам тяжести.

Исследование показало (рис. 1), что существует влияние диаметра парового пространства $d_{\text{пп}}$ на теплопередающие характеристики термосифонов. Для каждого термосифона с возрастанием тепловой нагрузки значения $\lambda_{\text{экв}}$ монотонно увеличиваются до некоторого максимального значения, ко-

торое соответствует максимальному тепловому потоку. Расслоение кривых на рис. 1 в основном связано с влиянием диаметра парового пространства, а величина $\lambda_{\text{экв}}$ находится приблизительно на одном уровне. Для термосифона с $d_{\text{пп}}=5$ мм и примерно одинаковым значением K_3 вид теплоносителя влияет только на величину $\lambda_{\text{экв}}$ (рис. 2). Данные по $\lambda_{\text{экв}}$ пропорциональны $Q^{0,85}$.

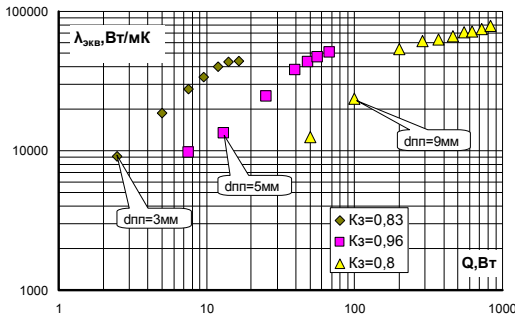


Рис. 1. Влияние $d_{\text{пп}}$ на величину $\lambda_{\text{экв}}$ (теплоноситель – вода)

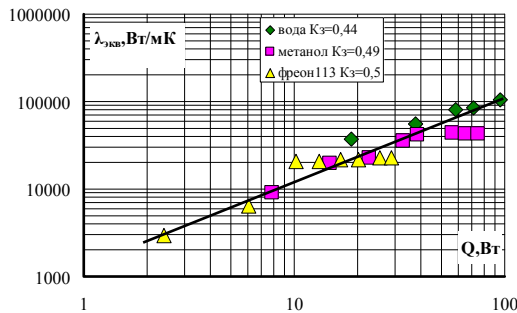


Рис. 2. Влияние вида теплоносителя на величину эквивалентной теплопроводности $\lambda_{\text{экв}}$ ($d_{\text{пп}}=5$ мм)

Анализ экспериментальных данных показал, что существует зависимость: $\lambda_{\text{экв}} = f(\text{Re}; \text{Bo}; K_3)$, где $\text{Re} = Wd_{\text{пп}}/\nu$ – число Рейнольдса; (W – скорость движения пара, ν – кинематическая вязкость пара).

Данные для термосифонов с $d_{\text{пп}}=5$ мм в диапазоне K_3 от 0,44 до 1,93 обобщаются зависимостью (рис. 3):

$$\lambda_{\text{экв}} = 1,4 \cdot 10^3 \frac{\text{Re}^{0,7} K_3^{1,1}}{\text{Bo}^2}, \quad (1)$$

которая справедлива при $\text{Re} \leq 1000$.

При $\text{Re} \geq 1000$ данные обобщаются зависимостью:

$$\lambda_{\text{экв}} = 6,2 \cdot 10^4 \frac{\text{Re}^{0,2} K_3^{1,1}}{\text{Bo}^2}. \quad (2)$$

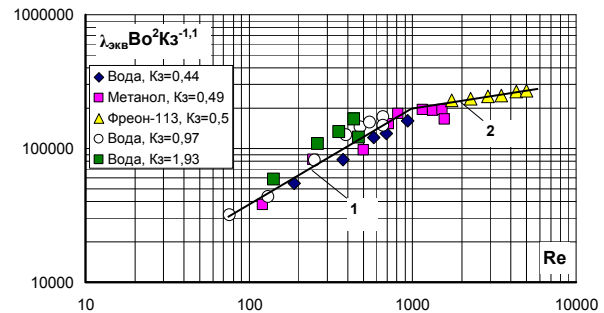


Рис. 3. Обобщение экспериментальных данных для термосифона с внутренним диаметром $d_{\text{пп}}=5$ мм

Таким образом, исследование показало, что эквивалентную теплопроводность миниатюрных термосифонов можно рассчитать по зависимостям (1) и (2), которые справедливы в диапазоне чисел Bo от 1 до 4 и выбранных геометрических размеров термосифонов для теплоносителей вода, метанол и фреон-113.

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. Гершуні О. Н., Ніщік О. П., Письменний Є. М. Випаровувально-конденсаційні системи теплопередачі для ядерних енергетичних технологій. – Киев: Альтерпрес, 2007.
3. Khazaee I., Hosseini R., Noie S.H. Experimental investigation of effective parameters and correlation of geysier boiling in a two-phase closed thermosyphon // Applied Thermal Engineering. – 2010. – Vol. 30. – N 5. – P. 406–412.
4. Семена М. Г., Жук С. К. Исследование процессов гидродинамики фаз в бесфитильных тепловых трубах на воде // Теплоэнергетика. – 1976. – № 3. – С. 82–84.
5. Кравец В.Ю., Коньшин В.И., Ванеева Н.С. Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения двухфазных термосифонов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вып. 2/5(68). – С. 45–50.

V. Yu. Kravets, V. I. Konshin, Behmard Golampeza

Heat transfer characteristics of miniature two-phase thermosyphons

The paper presents the experimental data on equivalent thermal conductivity miniature two-phase thermosyphons with the inner diameter of 3 mm, 5 mm and 9 mm and length of 700 mm, filled with water, methanol and freon-113. The authors show how of the internal diameter of the thermosiphon affects the heat transfer characteristics. The generalizing dependences for calculation of equivalent thermal conductivity are obtained.

Keywords: *thermosyphon, thermal conductivity, heat flow.*