

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ТЕРМОСИФОНОВ

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

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Украина, г. Киев
kravetz_kpi@ukr.net

Приводятся экспериментальные данные термического сопротивления миниатюрных двухфазных термосифонов с внутренним диаметром 5 мм и длиной 700 мм заправленных водой, метанолом и фреоном-113. Показано влияние теплового потока, угла наклона, коэффициента заполнения и вида теплоносителя на их минимальное термическое сопротивление и максимальный тепловой поток.

Ключевые слова: термосифон, термическое сопротивление, тепловой поток.

Проблемы, связанные с поддержанием оптимального температурного режима современных электронных устройств, с каждым днем становятся все более насущными и сложными. Одновременное повышение функциональных возможностей элементов электронной техники и ее миниатюризация приводит к увеличению их температуры, в связи с чем повышаются удельные тепловые нагрузки и усложняется отвод тепла. Это требует создания надежных систем охлаждения, способных отводить большие тепловые потоки. В связи с тем что плотность упаковки электронного оборудования, которая в то же время является критерием миниатюризации, увеличивается с каждым днем, системы охлаждения, которые ранее использовались на протяжении десятилетий, не могут соответствовать новым требованиям к термостабилизации и поддержанию температуры в заданном нормированном диапазоне. Современные системы охлаждения должны выполнять функции своеобразных трансформаторов теплового потока, способных воспринимать большой тепловой поток с небольшой площади и отводить его на большую площадь, где удельные тепловые нагрузки существенно снижаются, и рассеяние теплоты можно уже совершать традиционными методами.

В качестве высокоэффективных, достаточно дешевых, но в то же время надежных систем охлаждения зарекомендовали себя устройства, работающие на испарительно-конденсационном цикле. Одним из основных их преимуществ, кроме эффективности, является то, что они относятся к пассивным системам охлаждения, т. е. для передачи теплоты им не требуется дополнительная энергия. К таким устройствам относятся термосифоны, которые благодаря своей эффективности и простоте изготовления нашли широкое применение в различных отраслях промышленности [1].

Одной из их разновидностей являются миниатюрные термосифоны. В отличие от «больших», в них размеры парового пространства $d_{пп}$ соизмеримы с капиллярной постоянной l_k теплоносителя при определенных температурных параметрах. Критерием, который характеризует условия миниатюризации, является число Бонда ($Bo = d_{пп}/l_k$): термосифон считается миниатюрным при $Bo < 4$ [1]. В таком случае передача теплоты в термосифоне осуществляется в основном при снарядном течении парожидкостной смеси из зоны нагрева в зону конденсации [2]. В обратном направлении конденсат движется за счет сил гравитации, и встречные потоки конденсата и парожидкостной смеси создают условия для возникновения жидкостной пробки. Это обстоятельство ухудшает теплопередающие характеристики миниатюрных термосифонов по сравнению с «большими». В зависимости от геометрических и режимных факторов (угла наклона, количество и вида теплоносителя, длина зон нагрева и конденсации, величина теплового потока, температура насыщения) размеры пробок конденсата будут различны. В свою очередь это также будет влиять на термическое сопротивление R и максимальный тепловой поток Q_{max} .

Данное исследование посвящено определению влияния угла наклона, коэффициента заполнения K_3 (отношение объема, занимаемого теплоносителем $V_{ж}$, к объему всей зоны нагрева $V_{3н}$) и вида

теплоносителя на минимальное термическое сопротивление R_{\min} и Q_{\max} . Были выбраны термосифоны с внутренним диаметром $d_{\text{вн}} = 5 \cdot 10^{-3}$ м и длиной 0,7 м. В качестве теплоносителя использовались вода, метанол и фреон-113. Величина K_3 изменялась от $0,48 \pm 0,03$ до $1,98 \pm 0,03$, угол наклона φ термосифонов — от 15 до 90° . Максимальный тепловой поток определялся при минимальном значении термического сопротивления. Схема измерения и методика обработки данных приведены в [3].

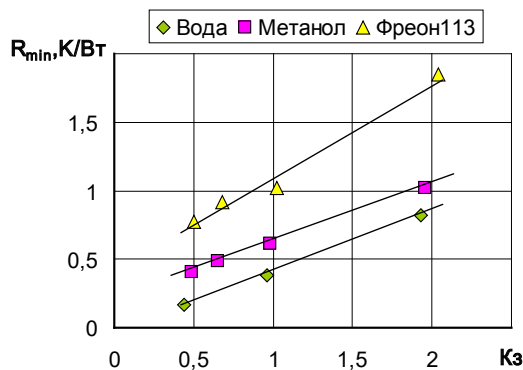


Рис. 1. Зависимость минимального термического сопротивления R_{\min} от коэффициента заполнения K_3 для различных теплоносителей ($\varphi = 90^\circ$)

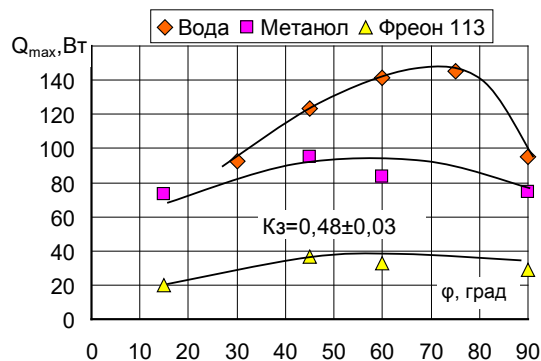


Рис. 2. Зависимость Q_{\max} от угла наклона φ термосифона для различных теплоносителей

В результате исследования было установлено, что минимальное термическое сопротивление зависит от теплофизических свойств теплоносителя и K_3 (рис. 1). С увеличением K_3 термическое сопротивление возрастает. Это связано с тем, что при кипении жидкости паровые образования должны вытеснить часть теплоносителя из зоны нагрева и доставить его в зону конденсации. При этом вероятность возникновения жидкостной пробки увеличивается, что приводит к блокированию зоны конденсации и более раннему ухудшению теплопередающих характеристик термосифона. Расслоение данных на рис. 1 связано с теплофизическими характеристиками теплоносителей, прежде всего с теплотой парообразования, которая у воды приблизительно в 2 раза выше, чем у метанола, и примерно в 15 раз выше, чем у фреона-113.

Из рис. 2 видно, что наибольшее на максимальный тепловой поток оказывает угол наклона термосифона в случае его заправки водой. Максимальные значения R_{\min} зафиксированы в диапазоне изменения углов наклона от 45° до 75° . У метанола и фреона-113 такое влияние не сильно выражено, что, вероятно, связано с размерами паровых пузырей, возникающих в зоне нагрева: у легкокипящих жидкостей они значительно меньше, чем у воды, поскольку их коэффициент поверхностного натяжения намного меньше.

Таким образом, при проектировании систем охлаждения электронной техники на основе миниатюрных термосифонов необходимо учитывать влияние как геометрических характеристик термосифонов, так и теплофизические свойства теплоносителей. Также нужно выбирать теплоносители, которые способны обеспечивать необходимую рабочую температуру приборов в заданном диапазоне тепловых нагрузок.

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. Кравец В.Ю., Письменный Е.Н., Коньшин В.И. Пульсационные явления в закрытых двухфазных термосифонах // Збірник наук. праць СНУАЕ та П (Севастополь).— 2009.— Вып. 4(32).— С. 39–46.
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. Konshyn, Gh. Behmard, D. I. Hurov

Influence of regime factors on thermal resistance of miniature thermosyphons

The paper presents experimental data on thermal resistance of miniature two-phase thermosyphons with an inner diameter of 5 mm and a length of 700 mm filled with water, methanol and Freon-113. The authors show how heat flux, tilt angle, fill factor, and type of working fluid affect thermal resistance and maximum heat flux of such thermosyphons.

Key words: thermosyphon, thermal resistance, heat flux.