

УДК 536.24

МАКСИМАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ МИНИАТЮРНЫХ ТЕРМОСИФОНОВ

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

НТУУ «Киевский политехнический институт»

Украина, г. Киев

Kravetz_kpi@ukr.net

Приводятся экспериментальные данные по максимальным тепловым потокам миниатюрных двухфазных термосифонов, заправленных водой, с внутренним диаметром 3, 5 и 9 мм длиной 700 мм. Показано влияние угла наклона и диаметра парового пространства на теплопередающие характеристики термосифонов.

Ключевые слова: термосифон, термическое сопротивление, тепловой поток.

Снижение массогабаритных показателей электронного оборудования с одновременным возрастанием функциональных возможностей делает актуальной задачу поддержания их заданного температурного режима. Одним из путей обеспечения рабочих температурных характеристик приборов могут служить системы охлаждения на основе миниатюрных двухфазных термосифонов, которые при своих небольших габаритах способны отводить значительные тепловые нагрузки. Опыт применения двухфазных термосифонов в различных областях техники показал их преимущества по сравнению с другими видами элементов систем охлаждения, которые заключаются в высоких теплопередающих способностях и в простоте изготовления [1–3]. Основными теплопередающими характеристиками таких испарительно-конденсационных систем (термосифонов, тепловых труб) являются минимальное термическое сопротивление R_{\min} и максимальный тепловой поток q_{\max} . Влияние различных факторов на эти показатели широко рассматривались в [1, 2, 4–6], однако систематизация данных по этим вопросам пока отсутствует.

Критерием, характеризующим взаимодействие сил поверхностного натяжения с гравитационными силами, может служить число Бонда ($Bo = d_{\text{пр}} / l_e$, где $d_{\text{пр}}$ — диаметр парового пространства, l_e — капиллярная постоянная Лапласа) [2], с помощью которого можно оценить принадлежность термосифонов к миниатюрным. Снижение диаметров парового пространства термосифонов приводит к росту влияния капиллярных сил и сил поверхностного натяжения на процессы испарения, гидродинамики движения потока и конденсации, что в свою очередь приводит к увеличению R_{\min} и к снижению q_{\max} . Можно предположить, что при $Bo < 4$ такой термосифон можно считать миниатюрным.

В настоящем исследовании изучалось влияние диаметра парового пространства $d_{\text{пр}}$ на R_{\min} и q_{\max} . Были выбраны термосифоны с внутренним диаметром $d_{\text{пр}} = 3 \cdot 10^{-3}$; $5 \cdot 10^{-3}$ и $9 \cdot 10^{-3}$ м, длиной 0,7 м и заполненные дистиллированной водой. Длина зон нагрева и конденсации — 0,2 м. Коэффициент заполнения K_z , равный отношению объема, занимаемого теплоносителем $V_{\text{ж}}$, к объему всей зоны нагрева $V_{\text{зп}}$, составлял $0,8 \pm 0,05$. 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.

Исследование показало (рис. 1), что для каждого термосифона с возрастанием тепловой нагрузки значения R снижаются до R_{\min} , которое соответствует максимальной плотности теплового потока q_{\max} . При $q > q_{\max}$ термическое сопротивление резко возрастает за счет повышения температуры в зоне нагрева в результате возникновения там локальных паровых пленок.

Влияние $d_{\text{пр}}$ на R_{\min} показано на рис. 2, где видно, что с уменьшением размеров парового пространства значение R_{\min} существенно возрастает. Эта закономерность подчиняется зависимости $R_{\min} = 2 \cdot 10^{-6} d_{\text{пр}}^{-2,2}$, которая справедлива для выбранных геометрических и режимных параметров проведения эксперимента.

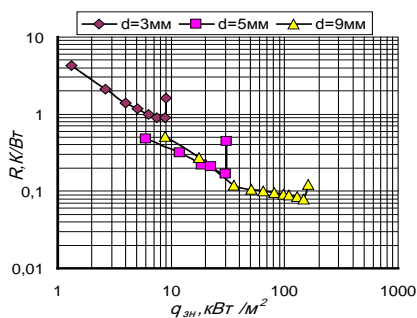


Рис. 1. Зависимость термического сопротивления R от удельного отводимого теплового потока для различных d_{nn}

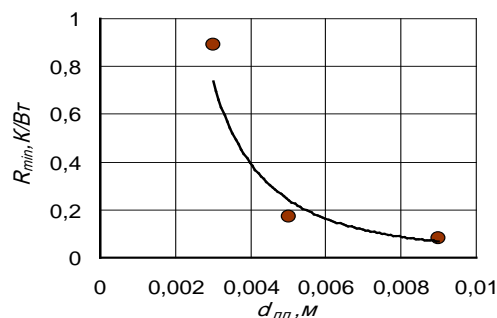


Рис. 2. Зависимость минимального термического сопротивления R_{min} от внутреннего диаметра d_{nn} термосифонов

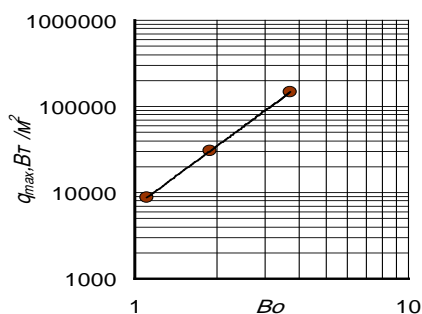


Рис. 3. Влияние числа Бонда Bo на максимальные тепловые нагрузки термосифонов

На рис. 3 показано влияние числа Bo на q_{max} . Как видно, при снижении Bo , которое отражает уменьшение d_{nn} , максимальный тепловой поток существенно падает. В диапазоне выбранных параметров получена зависимость $q_{max} = 6,9 \cdot 10^3 Bo^{2,34}$, которая справедлива в диапазоне чисел Bo от 1 до 4 и выбранных геометрических размеров термосифонов с водой в качестве теплоносителя.

Такое снижение q_{max} можно объяснить внутренними процессами, происходящими при передаче теплоты из зоны нагрева в зону конденсации. Это, прежде всего, наличие выброса части теплоносителя в зону конденсации [4, 5] и возникновении там неустойчивой жидкостной пробки [6], которая с увеличением теплового потока закрывает большую часть поверхности для конденсации пара. И чем меньше d_{nn} , тем дольше жидкостная пробка удерживается в этой зоне, что существенно снижает передаваемые тепловые потоки. Кроме того, там еще действуют капиллярные силы, которые могут быть соизмеримы с силами гравитации и удерживать жидкостную пробку в зоне конденсации.

Таким образом, исследование показало, что одним из основных геометрических параметров, который значительно влияет на минимальное термическое сопротивление и максимальный тепловой поток, является внутренний диаметр парового пространства термосифонов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Безродный М. К., Волков С. С., Мокляк В.Ф. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике. – Киев: Вища школа, 1991.
2. Безродный М. К., Пиоро И. Л., Костюк Т. О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика. – Киев: Факт, 2005.
3. Гершуні О. Н., Ніщік О. П., Письменний Є. М. Випаровувально-конденсаційні системи теплопередачі для ядерних енергетичних технологій. – Київ: Альтерпрес, 2007.
4. Khazaee I., Hosseini R., Noie S.H. Experimental investigation of effective parameters and correlation of geysers boiling in a two-phase closed thermosyphon // Applied Thermal Engineering. – 2010. – Vol.30. – N 5. – P. 406 – 412.
5. Кравец В.Ю., Письменный Е.Н., Коньшин В.И. Пульсационные явления в закрытых двухфазных термосифонах // Збірник наук. праць СНУЯЕ та П. – Севастополь. – 2009. – Вип. 4(32) – С. 39 – 46.
6. Семена М. Г., Жук С. К. Исследование процессов гидродинамики фаз в бесфитильных тепловых трубах на воде // Теплоэнергетика. – 1976. – № 3. – С. 82 – 84.

V. Yu. Kravets, V. I. Konshin, Behmard Golampeza
Maximum heat flux of miniature thermosyphons.

The paper presents experimental data on the maximum heat flux of miniature two-phase thermosyphons filled with water, with the inner diameter of 3 mm, 5 mm and 9 mm, and the length of 700 mm. The influence of the tilt angle and the diameter of the vapor space on the heat transfer characteristics of thermosyphons is shown.

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