

ПУЛЬСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В МИНИАТЮРНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОНАХ

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

Представлены результаты исследования температурных пульсаций в миниатюрных термосифонах с внутренним диаметрами 3, 5 и 9 мм. В качестве теплоносителей использовались вода, метанол, фреон-113 и наножидкости на основе углерода. Показано, что с увеличением передаваемого теплового потока амплитуда температурных пульсаций в зоне нагрева термосифонов снижается.

Ключевые слова: миниатюрный термосифон, амплитуда, пульсация температуры, тепловой поток.

Одними из эффективных теплопередающих устройств в настоящее время являются системы, реализующие в процессе своей работы испарительно-конденсационный цикл. К таким системам пассивного отвода теплоты можно отнести двухфазные термосифоны, которые без подвода какой-либо энергии извне способны передавать значительные тепловые потоки при минимальном температурном перепаде [1]. Для создания эффективных малогабаритных систем охлаждения, которые могли бы обеспечить их заданный температурный режим работы, требуется снижение массогабаритных характеристик электронных устройств с одновременным повышением их функциональных возможностей. К одним из таких устройств можно отнести миниатюрные термосифоны [2].

Одним из характерных проявлений работы термосифона являются периодические выбросы теплоносителя из зоны испарения (ЗИ) в зону конденсации (ЗК) и связанные с этим температурные пульсации [3]. В [1] приводятся данные, что при отношении внутреннего диаметра термосифона $d_{\text{вн}}$ к длине его зоны испарения $l_{\text{и}}$ менее или равном 0,004 начинаются пульсационные явления, свидетельствующие о нестабильной работе термосифона, что может привести к разрушению его стенки. В то же время, при $d_{\text{вн}}/l_{\text{и}} > 0,004$ также наблюдаются периодические выбросы теплоносителя в зону конденсации, однако о температурных колебаниях при таких параметрах имеется очень мало сведений.

Настоящее исследование посвящено определению влияния определяющих факторов ($d_{\text{вн}}$, коэффициент заполнения K_3 , равный отношению объема, занимаемого теплоносителем $V_{\text{ж}}$ к объему всей зоны испарения $V_{\text{зи}}$, и вид теплоносителя на пульсационные явления в термосифонах (см. таблицу).

Характеристики исследуемых термосифонов длиной 700 мм с различным внутренним диаметром $d_{\text{вн}}$

$d_{\text{вн}}$, мм	Длина ЗИ $l_{\text{зи}}$, мм	Длина ЗК $l_{\text{к}}$, мм	$d_{\text{вн}}/l_{\text{зи}}$	Коэффициент заполнения K_3	Теплоноситель
3	80; 125; 200	200	0,037; 0,024; 0,015	0,83; 1,37; 2,14	Вода
5	45; 90; 200	210	0,111; 0,056; 0,025	0,44; 0,96; 1,93	Вода, метанол, фреон-113
5	50; 105; 155; 205	210	0,1; 0,091; 0,032; 0,024	0,46; 0,59; 0,87; 1,82	Вода + 0,1% Углеродные нанотрубки, вода + 0,31% аморфный углерод
9	200	200	0,045	0,3; 0,57; 0,8	Вода

Зона конденсации омывалась водой с температурой 20°C и постоянным расходом $4,9 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

Показано, что температурные пульсации существенно зависят от величины теплового потока. Наибольшая амплитуда пульсаций температуры A_t наблюдалась в зоне испарения. В транспортной зоне и в зоне конденсации температурные пульсации были значительно меньшими, поэтому все обобщения были

получены для максимальных A_t в зоне испарения. С увеличением отводимого теплового потока Q амплитуда пульсаций снижалась. Для низкокипящих теплоносителей (метанол и фреон-113) во всем диапазоне исследованных тепловых потоков температурных флуктуаций практически не наблюдалось (рис. 1). Это можно объяснить тем, что у воды теплота парообразования значительно выше, чем у метанола и фреона-113. Снижение A_t с ростом Q связано с повышением давления в термосифоне, что приводит к уменьшению отрывного диаметра паровых пузырей и активации дополнительных центров парообразования. Также замечено снижение A_t при увеличении интенсивности охлаждения зоны конденсации G .

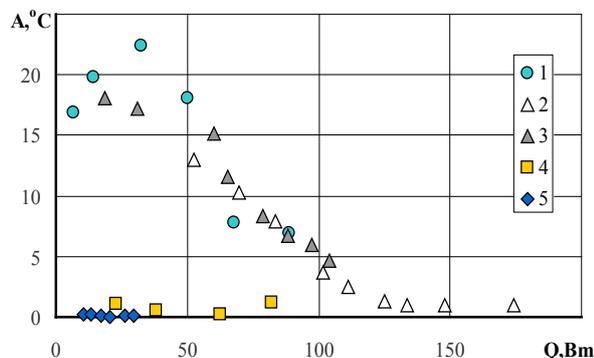


Рис. 1. Зависимость амплитуды пульсаций температуры в ЗН от Q ($d_{\text{вн}} = 5 \cdot 10^{-3}$ м; $l_{\text{зн}} = 0,2$ м; $K_3 \approx 0,47$; $t_{\text{охл}} = 20^\circ\text{C}$): 1 – вода; 2 – вода + углеродные нанотрубки; 3 – вода + аморфный углерод; 4 – метанол; 5 – фреон R-113

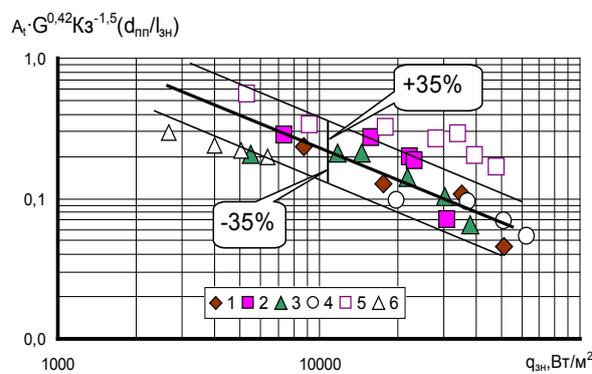


Рис. 2. Обобщение экспериментальных данных по зависимости (1):

$d_{\text{вн}}$: 1, 2, 3 — $9 \cdot 10^{-3}$ м; 4, 5 — $5 \cdot 10^{-3}$ м; 6 — $3 \cdot 10^{-3}$ м;
 K_3 : 1 — 0,8; 2 — 0,57; 3 — 0,3; 4 — 1,93; 5 — 0,97; 6 — 0,83

В результате обработки экспериментальных данных была получена эмпирическая зависимость $A_t = f(q_{\text{зн}})$, которая обобщает 80% данных для воды с разбросом $\pm 35\%$ и справедлива в диапазоне плотности теплового потока в зоне нагрева $q_{\text{зн}}$ от $2 \cdot 10^3$ до $8 \cdot 10^4$ Вт/м², коэффициента K_3 от 0,3 до 1,93, расхода G от $1,75 \cdot 10^{-3}$ до $7,85 \cdot 10^{-3}$ кг/с и отношения $d_{\text{вн}}/l_{\text{зн}}$ от 0,015 до 0,111 (рис. 2):

$$A_t = 75 K_3^{1,5} G^{-0,42} q_{\text{зн}}^{-0,6} \cdot d_{\text{вн}} / l_{\text{зн}} \quad (1)$$

Таким образом, проведенное исследование показало, что амплитуда A_t поверхности зоны нагрева миниатюрных термосифонов достигает 20°C , что может отрицательно влиять на режимные параметры охлаждаемых электронных блоков. Причем максимальные температурные флуктуации наблюдаются при небольших тепловых потоках, когда в зоне нагрева начинается активация первых центров парообразования. В дальнейшем с увеличением теплового потока происходит стабилизация процесса кипения с большим количеством паровых пузырей и пульсационные явления практически прекращаются. Это необходимо учитывать при создании таких систем охлаждения.

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., Коньшин В.И., Ванеева Н.С. Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения двухфазных термосифонов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.— 2014.— Т. 2, № 5.— С. 45—50.
3. Кравец В.Ю., Письменный Е.Н., Коньшин В.И. Пульсационные явления в закрытых двухфазных термосифонах // Зб. наук. праць СНУАЕ та П.— Україна, Крым, г. Севастополь, 2009.— Вып. 4(32).— С. 39—46.

V. Kravets, V. Konshyn, Ye. Gh. Behmard, D. Hurov

Temperature pulsations in miniature two-phase thermosyphons

The paper presents the results of the study of temperature pulsations in miniature thermosyphons with internal diameters of 3, 5 and 9 mm. Water, methanol, freon-113 and carbon-based nanofluids were used as coolants. The dependences of the amplitude of temperature pulsations in the heating zone of thermosyphons are given. It is shown that with an increase in the transmitted heat flux, the amplitude of the pulsations decreases.

Keywords: miniature thermosyphon, amplitude, temperature pulsations, heat flux.