

Heat transfer capacity of the thermosyphon on evaporator with a wire-mesh capillary structure

Gadelshin M.¹, Kibardin A.², Gadelshin V.³

Теплопередающая способность термосифона на основе испарителя с мелкосетчатой капиллярной структурой

Гадельшин М. Ш.¹, Кибардин А. В.², Гадельшин В. М.³

¹Гадельшин Марат Шавкатович / Gadelshin Marat - кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра технической физики;

²Кибардин Алексей Владимирович / Kibardin Alexey - кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра вычислительной техники;

³Гадельшин Вадим Маратович / Gadelshin Vadim - младший научный сотрудник, кафедра технической физики, физико-технологический институт,

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Аннотация: в данной работе выполнено тепловизионное исследование термического сопротивления термосифона на основе испарителя с мелкосетчатой капиллярной структурой. Показано, что испаритель работает эффективно при различных плотностях тепловых нагрузок.

Abstract: in this research we have investigated by thermal imager thermal resistance of thermosyphon on evaporator with a capillary wire-mesh structure. It is shown that the device operates efficiently under thermal loads of different densities.

Ключевые слова: термосифон, отвод тепла, плотность тепловой нагрузки, термическое сопротивление, тепловизор.

Keywords: thermosyphon, heat removal, the density of the heat load, thermal resistance, thermal imager.

Термосифоны широко используются в энергетике, а также для отвода тепла от различных электронных элементов [1,2]. Повышению эффективности их работы способствует выполнение внутренней рабочей поверхности испарителя капиллярно-пористой. В работе проведено исследование работоспособности термосифона с испарителем, внутренняя поверхность которого выполнена в виде покрытия из мелкоячеистой сетки. Конструкция исследуемого термосифона представлена на рис. 1.

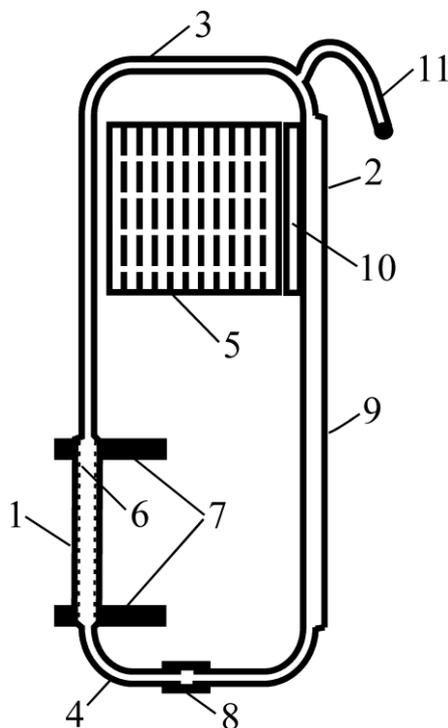


Рис. 1. Конструкция исследуемого термосифона

Основные элементы устройства: испаритель 1, конденсатор 2, каналы для транспорта пара 3 и конденсата 4, а также радиатор 5.

Испаритель 1 представляет собой цилиндрическую трубку длиной 151 мм и с внутренним диаметром 9 мм (толщина стенок корпуса 0,3 мм). Таким образом, площадь внутренней поверхности корпуса испарителя S составляет 42 см^2 . На внутренней поверхности трубки размещена капиллярная структура 6, образованная диффузионной сваркой двух слоёв мелких сеток с размерами ячеек 0,10 мм.

Соединение мелкосетчатой структуры с поверхностью корпуса испарителя осуществлено диффузионной сваркой.

Капиллярно-пористая структура в испарителе термосифона выполняет две задачи: во-первых, обеспечивает доставку теплоносителя к участкам испарителя, расположенным на максимальном удалении от входа, и, одновременно, расположенных максимально высоко; во-вторых, способствуют удержанию интенсивно испаряющегося теплоносителя в течение небольшого, но достаточного времени до поступления следующей порции.

Каналы для транспорта пара 3 и конденсата 4 выполнены из трубок с внутренним диаметром 6 мм. К концевым участкам испарителя (входной и выходной участки) припаяны токовводы 7, служащие для организации электрического тока от понижающего силового трансформатора. Таким образом, нагревателем служит непосредственно корпус испарителя. Перед входным участком испарителя размещена короткая (около 30 мм длиной) диэлектрическая цилиндрическая втулка 8, необходимая для исключения протекания электрического тока по транспортным трубкам и конденсатору.

Конденсатор 2 выполнен на верхней части трубки 9 с внутренним диаметром 10 мм (наружный диаметр составляет 12 мм). Трубка припаяна припоем оловянно-свинцовым к одной стороне плоской медной пластины 10 шириной 25 мм и длиной 122 мм (толщина составляет 3 мм). Другой стороной медная пластина соединена с алюминиевым радиатором 5 с размерами: высота – 122 мм, длина – 151 мм; площадь контакта составила $30,5 \text{ см}^2$. Соприкасающиеся поверхности контактируют через тонкий слой теплопроводной пасты. Обе рабочие поверхности радиатора имеют пластинчатое оребрение. Через патрубков 11 произведена заправка термосифона теплоносителем и произведена герметизация. В качестве теплоносителя использовался ацетон.

При испытаниях было проведено измерение распределения температур по контуру термосифона с использованием тепловизора FLIR A320 с разрешающей способностью $0,08^\circ\text{C}$. Интенсивность теплоподвода q определялась электрической мощностью нагрева по данным измерения напряжения и тока при известной площади внутренней поверхности корпуса испарителя S . Задаваемые при измерениях значения плотностей тепловых нагрузок q составили от $0,72$ до $1,42 \text{ Вт/см}^2$.

На графиках (рис. 2 и 3) представлены результаты обработки данных тепловизионных изображений в виде изменения со временем t средних значений температур T испарителя (кривая 1), радиатора вблизи контакта с конденсатором (кривая 2) и трубки транспорта конденсата перед входом в испаритель (кривая 3).

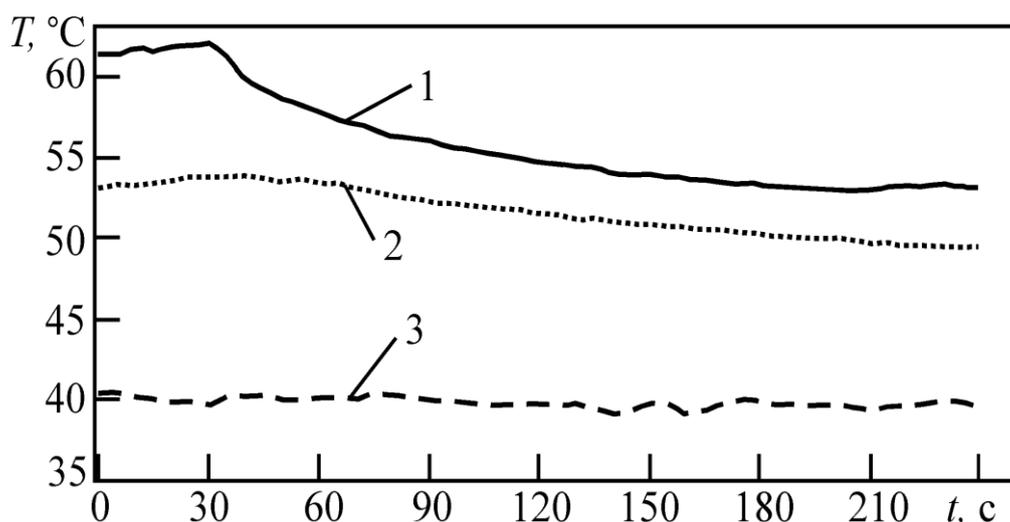


Рис. 2. График изменения со временем t средней температуры T на различных участках термосифона в процессе переключения тепловой нагрузки q от $1,42$ до $0,72 \text{ Вт/см}^2$

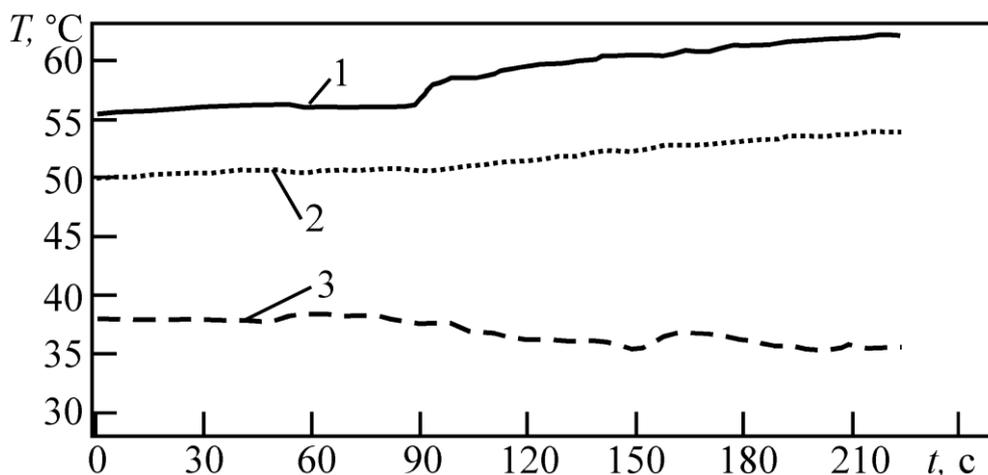


Рис. 3. График изменения со временем t средней температуры T на различных участках термосифона в процессе переключения тепловой нагрузки q от 1,02 до 1,42 Вт/см²

Из рис. 2 и 3 видно, что время перехода на новый уровень тепловой нагрузки составляет около 15÷20 секунд. Таким образом, использованная методика испытаний позволяет проводить исследование работоспособности термосифона в нестационарных режимах работы, а именно, в условиях резко меняющихся тепловых нагрузок. По этим данным были проведены оценки среднего значения коэффициента термического сопротивления R термосифона (от испарителя к радиатору) по формуле $R = \Delta T / q$; где ΔT – перепад температур между испарителем и радиатором. Данные приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Работоспособность термосифона при различных тепловых нагрузках

Основные характеристики работы термосифона	Плотность тепловой нагрузки q , Вт/см ²		
	0,72	1,02	1,42
Среднее термическое сопротивление $R \cdot 10^3$, м ² К/Вт	0,44	0,46	0,49

На рис. 4 и рис. 5 представлены данные распределения величины $\Delta T = T - T_{av}$ по длине испарителя при значениях плотностей тепловых нагрузок q равных 1,42 и 0,72 Вт/см² в различные моменты времени t ; здесь T_{av} – средняя по длине испарителя температура. Заметим, что участки для измерения А1, А2, ... А6 расположены равномерно сверху вниз по длине испарителя (от выходного сечения к входному). Видно, что на начальном входном участке обнаруживается область перегрева (участок А6). Объясняется последнее неустойчивым характером процессов кипения теплоносителя в этой области.

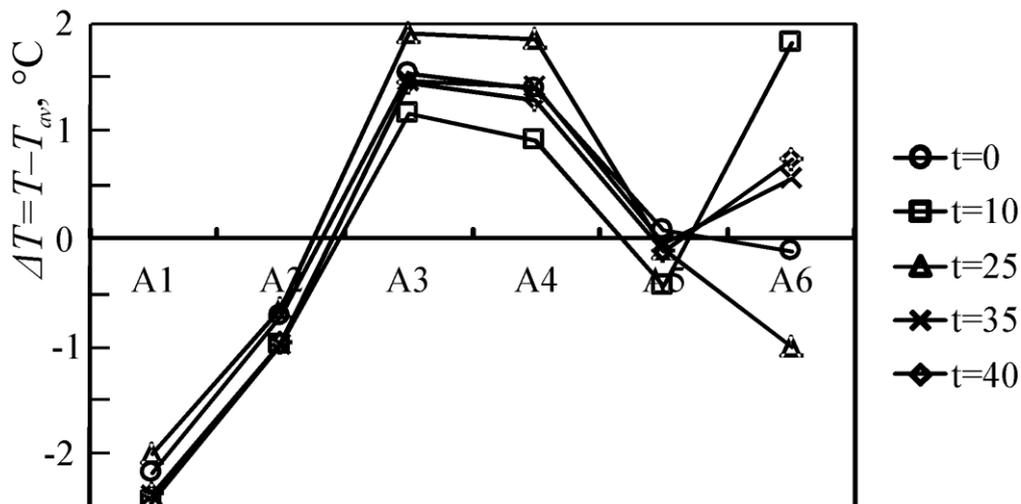


Рис. 4. Распределение величины $\Delta T = T - T_{av}$ по длине испарителя при плотности тепловой нагрузки q равной $1,42 \text{ Вт/см}^2$ в различные моменты времени t

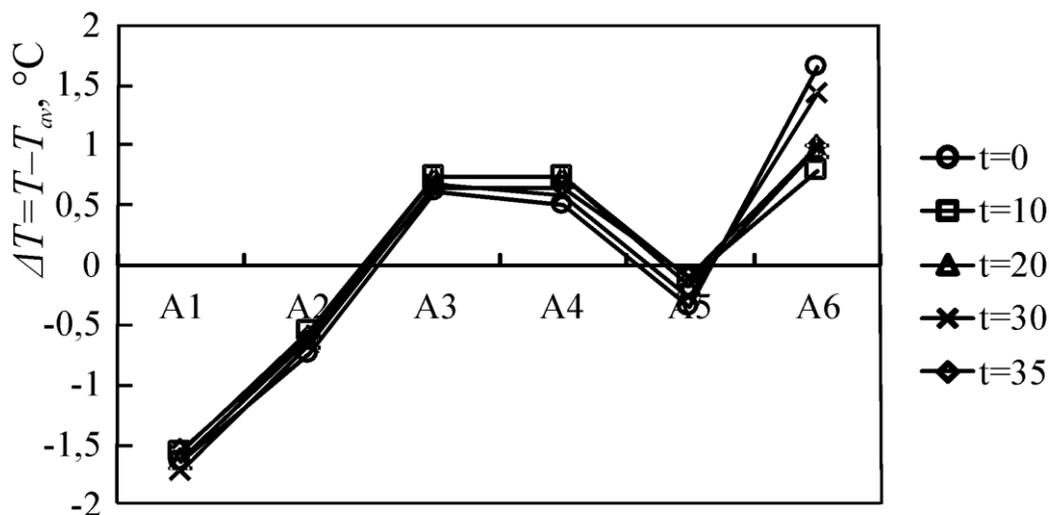


Рис. 5. Распределение величины $\Delta T = T - T_{av}$ по длине испарителя при плотности тепловой нагрузки q равной $0,72 \text{ Вт/см}^2$ в различные моменты времени t

Таким образом, в данном исследовании показана высокая работоспособность термосифона с испарителем, внутренняя поверхность которой выполнена в виде покрытия из мелкоячеистой сетки, полученного диффузионной сваркой. Среднее термическое сопротивление R не превышало в испытаниях при различных тепловых нагрузках значения $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

Литература

1. Пиоро Л. С., Пиоро И. Л. Двухфазные термосифоны и их применение в промышленности / Л. С. Пиоро – Киев: «Наукова думка», 1988. С. 135.
2. Кисеев В., Аминев Д., Черкашин В., Мурзин Р. Двухфазные теплопередающие системы для охлаждения светодиодных светильников // Полупроводниковая светотехника. 2011. №3, С. 27–31.