

## СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДА

Д. т. н. В. Ю. Кравец, к. т. н. В. И. Коньшин, к. т. н. Е. С. Алексеик,  
О. С. Алексеик, Р. С. Мельник

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

*Представлены данные теплопередающих характеристик системы охлаждения на основе миниатюрных тепловых труб для обеспечения температурного режима электронного блока космического зонда в рамках международного проекта «MASCOT». Показана возможность создания тепловых труб переменного термического сопротивления в диапазоне температур от  $-20$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ .*

*Ключевые слова: миниатюрная тепловая труба, термическое сопротивление, тепловой поток.*

Тепловые трубы являются хорошо известными высокоэффективными теплопередающими устройствами. В некоторых случаях, например, в космических приложениях, необходимо не только передавать тепло из одной точки в другую, но и иметь переменное термическое сопротивление или периодически включать либо выключать систему теплоотвода. Подходящими для этого являются такие типы тепловых труб, как тепловые диоды, газорегулируемые тепловые трубки (ГРТТ), контурные тепловые трубки [1]. Основным недостатком этих типов тепловых труб является необходимость в некоторых дополнительных элементах, таких как газовый резервуар для ГРТТ или испарительная камера для контурных тепловых труб. Все эти дополнительные элементы усложняют конструкцию системы охлаждения. Весовые и габаритные характеристики ее возрастают, поэтому использование таких устройств в космической технике требует дополнительных конструкторских решений и финансовых затрат. Поиск простых и эффективных устройств в этом направлении является актуальной задачей.

Настоящее исследование связано с разработкой системы охлаждения на основе миниатюрных тепловых труб без наличия каких-либо дополнительных элементов с эффектом переменного термического сопротивления в заданном диапазоне температур. Работа была проведена в рамках международного проекта «MASCOT» с Европейским космическим агентством для создания системы охлаждения электронного блока космического зонда, который направлен на изучение астероида 162173 1999 JU3. На базе разработок Киевского политехнического института [2] были изготовлены и исследованы две конструкции летных образцов миниатюрных тепловых труб диаметром  $6 \cdot 10^{-3}$  м и длиной 0,482 м (НР type A, длина зоны нагрева 0,096 м и зоны конденсации 0,127 м) и 0,438 м (НР type B, длина зоны нагрева 0,099 м и зоны конденсации 0,093 м) (рис. 1). В качестве теплоносителя использовался метанол. Предварительно были проведены расчеты максимальных тепловых потоков  $Q_{\max}$  тепловых труб выбранных конструкций с металло-волоконистыми капиллярно-пористыми структурами разной пористости ( $\Pi = 70\% \dots 90\%$ ). Расчеты  $Q_{\max}$  проводились по зависимостям, полученным в лаборатории тепловых труб Киевского политехнического института [2] в диапазоне рабочих температур от  $-60$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Как показали расчеты, а затем и экспериментальные исследования, максимальные значения передаваемого теплового потока наблюдались при пористости капиллярно-пористой структуры около 85% в диапазоне рабочих температур примерно от 0 до  $45^{\circ}\text{C}$ . Увеличение значения пористости выше этого значения снижало  $Q_{\max}$  (рис. 2). На основании этих расчетов были изготовлены тепловые трубы с пористостью капиллярной структуры примерно 85%.

Эффект переменного термического сопротивления был достигнут благодаря применению в качестве теплоносителя метанола. При отрицательных температурах кинематическая вязкость пара у метанола резко возрастает и наступает так называемый звуковой предел, при котором тепловая труба практически не передает теплоту из зоны нагрева в зону конденсации и  $Q_{\max} \approx 0$  Вт. При повышении темпе-

ратуры значения кинематической вязкости пара снижаются, и тепловая труба начинает отводить тепло в штатном режиме.

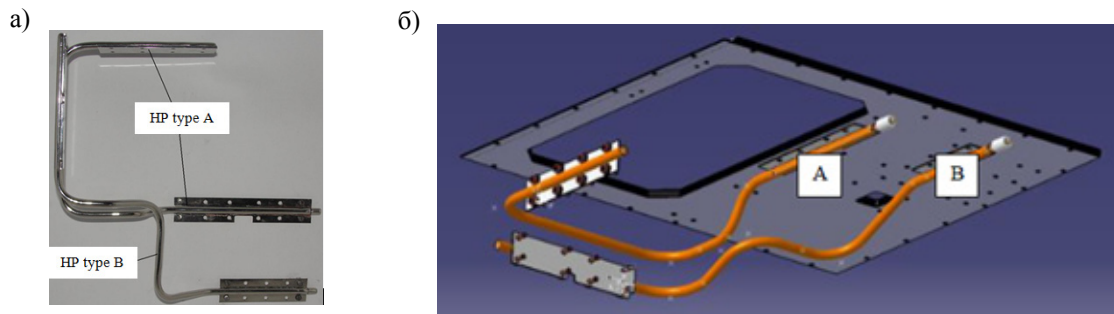


Рис. 1. 3D-конструкции летных образцов тепловых труб для охлаждения электронного блока космического зонда (а) и расположение их на панели для тестирования (б)

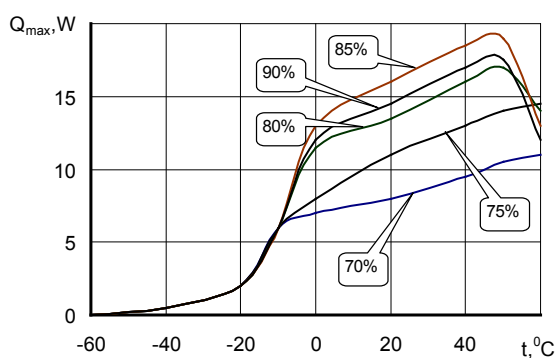


Рис. 2. Влияние пористости капиллярно-пористой структуры на  $Q_{\max}$  для тепловой трубы длиной 482 мм (HP type A, расчет)

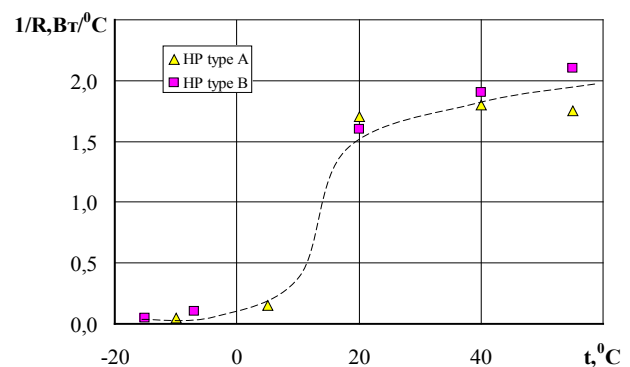


Рис. 3. Влияние температуры насыщения на тепловую проводимость миниатюрных тепловых труб

На рис. 3 представлены результаты испытаний тепловых труб при температурах от  $-20$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ . Как видно, режим включения тепловых труб наступал, начиная приблизительно с  $+10^{\circ}\text{C}$ , что удовлетворяло условиям проекта «MASCOT». В диапазоне температур от  $-20$  до  $+55^{\circ}\text{C}$  тепловая проводимость, которая является величиной, обратной термическому сопротивлению, изменялась от  $0,05 \text{ Вт}/^{\circ}\text{C}$  при отрицательных температурах до примерно  $2 \text{ Вт}/^{\circ}\text{C}$ , начиная с температуры  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, проведенное исследование теплопередающих характеристик миниатюрных тепловых труб для космических целей показало возможность создания систем охлаждения электронных блоков с переменными тепловыми свойствами без дополнительных элементов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Reay D., Kew P., McGlen R. Heat Pipes Theory, Design and Applications— USA. Published by Elsevier Ltd. – 2014.
2. Семена М. Г., Гершуни А. Н., Зарипов В. К. Тепловые трубы с металло-волокнистыми капиллярными структурами.— Киев: Вища школа, 1984.

V. Yu. Kravets, V. I. Konshyn, Ye. S. Alekseik, O. S. Alekseik R. S. Melnik

#### The system for thermal management of the space probe electronic unit

The paper presents the data of the heat transfer characteristics of the cooling system based on miniature heat pipes for thermal management of the space probe electronic unit within the framework of the "MASCOT" international project. The authors show the possibility of creating heat pipes of variable thermal resistance in the temperature range from  $-20^{\circ}\text{C}$  to  $+55^{\circ}\text{C}$ .

Keywords: miniature heat pipe, thermal resistance, heat flow.