

## РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ДЛЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

К. т. н. А. Н. Гершуни, к. т. н. А. П. Нищик

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Украина, г. Киев  
politekhins@gmail.com

*Исследованы изменения теплотехнических характеристик тепловых труб (ТТ) с металловолоконистой капиллярной структурой при их длительном функционировании. Выявлена надежная стабильная работа ТТ со следующими сочетаниями «материал – теплоноситель»: медь – вода; медь – органические жидкости; нержавеющая сталь – органические жидкости.*

*Ключевые слова: системы охлаждения, тепловые трубы, ресурс работы.*

Системы охлаждения электронной аппаратуры на основе тепловых труб (ТТ), совмещающая функции эффективного теплопровода и эффективного радиатора с возможностью пассивного теплоотвода, характеризуются высокой теплопередающей способностью, низким термическим сопротивлением, относительно малыми габаритами и массой, надежностью работы при различной ориентации в пространстве в условиях действия массовых сил [1, 2]. Среди известных ТТ с различными типами капиллярных структур, осуществляющих перемещение теплоносителя внутри герметичного корпуса, комплексом оптимальных характеристик обладают ТТ с металловолоконистыми капиллярными структурами (МВКС), для которых проведены комплексные теплофизические исследования, разработаны и апробированы методики расчета, создана и отработана технология изготовления, обеспечивающая получение этих устройств с заданными требуемыми воспроизводимыми характеристиками [3].

Необходимым условием успешного использования ТТ является длительный ресурс их функционирования. В данной работе проведены исследования изменения теплотехнических характеристик ТТ с МВКС при их длительной непрерывной эксплуатации.

Объектом ресурсных испытаний служили ТТ со следующими конструктивными параметрами: диаметр ТТ 12 мм, длина 200—350 мм, пористость МВКС 0,73—0,84, толщина 0,5—2,5 мм. В качестве материалов и теплоносителей выбраны сочетания, наиболее часто встречающиеся на практике: 1) медь — вода (10 ТТ); 2) медь — метанол (5 ТТ); 3) медь — ацетон (5 ТТ); 4) медь — этанол (3 ТТ); 5) медь — фреон 113 (3 ТТ); 6) нержавеющая сталь 12Х18Н10Т — метанол (3 ТТ); 7) нержавеющая сталь 12Х18Н10Т — ацетон (3 ТТ); 8) нержавеющая сталь 12Х18Н10Т — фреон 113 (3 ТТ). Корпуса всех ТТ оребрены по всей длине зоны конденсации (100—150 мм), охлаждение — естественной конвекцией воздуха. Тепловой поток (5—30 Вт) подводился к ТТ на участке длиной 50 мм с помощью омических нагревателей. Температура корпусов ТТ (50—100°C) измерялась с помощью медь-константановых термопар и информационно-измерительной системы.

Основная причина ухудшения работы ТТ при длительной работе — образование газовой пробки в зоне конденсации (ЗК) из-за несовместимости конструкционного материала и теплоносителя либо несовершенства технологии изготовления ТТ. Образование и увеличение газовой пробки уменьшает длину активной части ЗК, вызывает увеличение перепада температуры в этой зоне и, соответственно, увеличение термического сопротивления ТТ со временем. Поэтому основной контролируемой характеристикой в испытаниях ТТ было термическое сопротивление:  $R_{ТТ} = \Delta T_{ТТ}/Q$ , где  $\Delta T_{ТТ}$  — разность средних температур корпуса ТТ в зонах испарения (ЗИ) и конденсации,  $Q$  — передаваемый тепловой поток. Помимо термического сопротивления анализировались степень неизотермичности корпуса в зонах испарения и конденсации и интенсивность теплообмена в них.

В результате проведения ресурсных испытаний десяти ТТ с МВКС (пара «медь — вода»,  $Q = 30$  Вт, температура корпуса в ЗИ порядка 370 К) было установлено, что значения термического сопротивления восьми ТТ практически не изменились в течение 50000 ч непрерывной работы и находились на начальном уровне: 0,24—0,28 К/Вт, наблюдались лишь отдельные колебания в преде-

лах  $\pm 0,01—0,02$  К/Вт. Для двух ТТ такие значения термического сопротивления наблюдались примерно до 3000 ч работы, после чего начали монотонно возрастать и к 50000 ч достигли уровня 0,35—0,36 К/Вт, т.е. по сравнению с начальным периодом в среднем возросли на 37%. Анализ опытных данных показал, что это увеличение термического сопротивления в данном случае не связано с появлением неконденсирующихся газов. На протяжении всего периода ресурсных испытаний монотонного увеличения температурного перепада в зоне конденсации этих ТТ не наблюдалось, однако было зафиксировано постепенное снижение интенсивности теплообмена в зоне испарения. Так, до 3000 ч работы средние значения коэффициента теплообмена в ЗИ  $\alpha_{\text{и}}$  колеблются в пределах 13000—16000 Вт/(м<sup>2</sup>·К), после чего монотонно снижаются до 6000 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Анализ значений локальных коэффициентов  $\alpha_{\text{и}}$  позволил установить область ухудшенного теплообмена в ЗИ. Эта область находится между торцевой заглушкой и поперечным сечением, отстоящим приблизительно на 10 мм от торца корпуса. Вне этой области даже к концу анализируемого периода работы ТТ локальные коэффициенты теплообмена оставались близкими к средним значениям 13000—16000 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Наиболее вероятной причиной ухудшения теплообмена в крайней части зоны испарения этих двух ТТ является влияние флюса, проникнувшего в МВКС после пайки торцевых пробок твердым припоем. Поэтому сборка 25 ТТ для последующих ресурсных испытаний выполнялась с помощью сварки.

В целом, учитывая отсутствие заметного газовыделения в испытанных ТТ и некоторое увеличение термического сопротивления в двух ТТ из десяти в течение 50000 ч работы, можно сделать вывод о надежности ТТ с МВКС (пара «медь — вода») при их длительной работе.

Ресурсные испытания пяти медных ТТ с ацетоном выявили их стабильную работу в течение 18000 ч. Поскольку термическое сопротивление ТТ практически не изменилось, то можно утверждать о совместимости такого сочетания конструкционного материала и теплоносителя.

Коррозионная активность метанола зависит от содержания в нем муравьиной и уксусной кислот. Использование в ТТ химически чистого метанола резко уменьшает вероятность коррозии. Можно констатировать, что в течение примерно 5000 ч работы пяти медных ТТ с метанолом не наблюдалось увеличения их термического сопротивления. Аналогичный результат получен при ресурсных испытаниях шести медных ТТ с этанолом и фреоном-113.

Следует отметить, что применение органических жидкостей в паре с медью допустимо при температуре насыщения менее 120°C. При более высокой температуре жидкость, взаимодействуя с оксидной пленкой металла, окисляется до муравьиной кислоты, которая вызывает коррозию меди.

Результаты исследования и методы обеспечения совместимости сочетания «нержавеющая сталь — вода» приведены в [4]. В данной же работе в результате исследования характеристик девяти ТТ в течение около 9000 ч непрерывного функционирования установлена совместимость нержавеющей стали с метанолом, ацетоном и фреоном-113.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Дульнев Г.Н., Беляков А.П. *Тепловые трубы в электронных системах стабилизации температуры*. Москва, Радио и связь, 1985.
2. Гершуни А.Н., Нищик А.П. Тепловые трубы в системах охлаждения радиоэлектронной аппаратуры. *Труды XV МНПК «СИЭТ-2014»*, Украина, Одесса, 2014, с. 12–13.
3. Гершуни А.Н., Нищик А.П. Капиллярно-транспортные характеристики металлических пористых тонковолокнистых материалов для систем охлаждения электронной аппаратуры. *Труды XIX МНПК «СИЭТ-2018»*, Украина, Одесса, 2018, с. 101–103.
4. Гершуни А.Н., Руденко А.И., Нищик А.П. Обеспечение совместимости сочетания нержавеющей стали-вода систем теплопередачи испарительно-конденсационного типа для охлаждения электронной аппаратуры. *Труды XX МНПК «СИЭТ-2019»*, Украина, Одесса, 2019, с. 96–97.

A. N. Gershuni, A. P. Nishchik

#### Resource characteristics of heat pipes for cooling systems for electronics

*The paper presents the results of a study on the changes in the thermotechnical characteristics of heat pipes with metal-fiber capillary structures during long-term operation. The heat pipes with the following material – heat carrier combinations were found to be more reliable and stable: copper–water, copper–organic liquids), stainless steel – organic liquids.*

*Keywords: cooling systems, heat pipes, operating life.*