

УДК 62.714

## ТЕПЛОВЫЕ ТРУБЫ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

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

НТУУ «Киевский политехнический институт»

Украина, г. Киев

politekhins@gmail.com

*Приведены результаты разработки систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры на основе тепловых труб с металловолоконистыми капиллярными структурами. Использование таких систем охлаждения, характеризующихся высокими эффективностью и надежностью, позволяет улучшить технические характеристики и компоновку аппаратуры, снизить массу и габариты блоков аппаратуры.*

*Ключевые слова:* радиоэлектронная аппаратура, тепловая труба, система охлаждения, капиллярная структура

Миниатюризация аппаратуры, увеличение единичной мощности элементов и плотности монтажа приводит к малоэффективности или невозможности использования традиционных способов отвода теплоты путем естественной или вынужденной конвекции воздуха или жидкости. Применение тепловых труб (ТТ) позволяет обеспечить эффективность систем охлаждения, уменьшить их массу и габариты и, в итоге, увеличить единичную мощность и плотность монтажа элементов, улучшить их технические характеристики и компоновку. Использование ТТ во многих случаях приводит к упрощению и повышению надежности систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Для обеспечения теплового режима интегральных схем был разработан ряд ТТ с металловолоконистой капиллярной структурой (МВКС) различной конфигурации и размеров: для корпусов ТТ круглого поперечного сечения наружный диаметр составлял 6, 10, 12, 16, 18 и 24 мм; для корпусов ТТ прямоугольного поперечного сечения размеры поперечного сечения составляли 14×4, 46×4 мм; общая длина и длина зон нагрева и конденсации ТТ изменялись в пределах от 150 до 500 мм, от 30 до 150 мм и от 55 до 210 мм соответственно. В качестве материала корпуса и теплоносителя использовались медь, мельхиор и вода, этанол, метанол соответственно. Теплоотвод от зоны конденсации осуществлялся путем поперечного омыwania потоком воздуха, а также путем поперечного или продольного омыwania жидкостью. Максимальный отводимый тепловой поток составил от 30 до 700 Вт. Термическое сопротивление ТТ изменялось в пределах от 0,04 до 0,63 К/Вт. Например, для ТТ «медь—вода» наружным диаметром 24 мм, длиной 500 мм, длинами зон нагрева и конденсации 150 и 210 мм при охлаждении зоны конденсации поперечным потоком воздуха 3 м/с с температурой 25°С максимальный тепловой поток при работе в горизонтальной плоскости составил более 700 Вт, а термическое сопротивление — 0,04 К/Вт; для ТТ «медь—вода» наружным диаметром 6 мм, длиной 200 мм, длинами зон нагрева и конденсации 50 и 55 мм при охлаждении зоны конденсации поперечным потоком воздуха 3 м/с с температурой 25°С максимальный тепловой поток при работе в горизонтальной плоскости составил 30 Вт, а термическое сопротивление — 0,63 К/Вт.

Разнообразие полупроводниковых приборов обусловило необходимость разработки различных конструкций ТТ для их охлаждения. В основном для создания систем охлаждения данных приборов использовались трубы прямоугольного сечения размерами поперечного сечения 25×4, 25×12, 35×20 мм; общая длина и длины зон нагрева и конденсации ТТ изменялись в пределах от 200 до 400 мм, от 100 до 140 мм и от 85 до 160 мм соответственно. В качестве материала корпуса и теплоносителя использовались медь и вода. Теплоотвод от зоны конденсации осуществлялся путем поперечного омыwania потоком воздуха, продольного омыwania жидкостью, а также путем кондуктивного сброса теплоты на корпус конструкции. Максимальный отводимый тепловой поток составил от 150 до более 700 Вт. Термическое сопротивление ТТ изменялось в пределах от 0,07 до 0,11 К/Вт. Например, для ТТ

«медь—вода» с размерами поперечного сечения 35×20 мм, длиной 300 мм, длинами зон нагрева и конденсации 140 и 160 мм при охлаждении зоны конденсации поперечным потоком воздуха 8 м/с с температурой 50°C максимальный тепловой поток при работе в горизонтальной плоскости составил более 700 Вт, а термическое сопротивление — 0,07 К/Вт; для ТТ «медь—вода» с размерами поперечного сечения 25×4 мм, длиной 300 мм, длинами зон нагрева и конденсации 100 и 100 мм при охлаждении зоны конденсации продольным потоком жидкости 5 см/с с температурой 25°C максимальный тепловой поток при работе в горизонтальной плоскости составил более 150 Вт и 90 Вт при работе против сил тяжести, а термическое сопротивление — 0,1 К/Вт.

Для теплоотвода от полупроводниковых приборов на холодную плиту разработаны длинные ТТ с прямоугольной формой поперечного сечения (например, для ТТ «медь—вода» с размерами поперечного сечения 25×12 мм, длиной 400 мм, длинами зон нагрева и конденсации 100 и 200 мм при кондуктивном сбросе теплоты на холодную плиту с температурой 35°C максимальный тепловой поток при работе в горизонтальной плоскости составил более 150 Вт, а термическое сопротивление – 0,09 К/Вт) и ТТ с Т-образной формой поперечного сечения (например, для ТТ «медь—вода» с размерами зон нагрева и конденсации 50×120×6 мм и 60×120×10 мм соответственно при кондуктивном сбросе теплоты на холодную плиту, которая охлаждалась потоком воды с температурой 40°C и расходом 2 л/мин, максимальный тепловой поток при работе в горизонтальной плоскости составил более 500 Вт, а термическое сопротивление — 0,07 К/Вт).

Опыт использования ТТ с МВКС показал, что ТТ с прямоугольной формой поперечного сечения больше подходят для крепления интегральных схем к корпусу. В то же время ТТ с круглой формой поперечного сечения позволяют выполнять сложные изгибы, а развитие наружной поверхности теплоотвода их зон конденсации осуществляется технологически более просто. В некоторых случаях ТТ изготавливались с переменной по длине ТТ формой поперечного сечения, что позволило добиться одновременного получения преимуществ ТТ круглого и прямоугольного поперечного сечения.

В случае соединения нескольких ТТ с прямоугольной формой поперечного сечения в панель появляется возможность осуществить ряд схем размещения полупроводниковых приборов в кассетах радиоэлектронных блоков. Панели на основе ТТ с МВКС технологичны в изготовлении и характеризуются повышенной надежностью.

Применение ТТ позволяет повысить плотность монтажа полупроводниковых приборов, снизить габариты и массу блоков. Целесообразно использование панелей из нескольких ТТ при отводе теплоты путем естественной конвекции воздуха. Так, например, разработанное устройство теплоотвода, состоящее из пяти ТТ «медь—вода» с размерами поперечного сечения 20×10×240 мм и радиатора, позволило заменить вынужденную конвекцию при охлаждении приборов естественной. При этом обеспечена температура восьми полупроводниковых приборов на уровне 90°C при тепловыделении 32 Вт и температуре окружающего воздуха 60°C.

Кроме традиционно используемых материалов корпуса меди или мельхиора разработаны ТТ с легкими и прочными корпусами из титана с МВКС из меди и нержавеющей стали. Так, например, были изготовлены корпуса ТТ из титанового сплава ОТ4-0 наружным диаметром 28 и толщиной стенки 1 мм. С внутренней поверхностью корпусов ТТ методом диффузионной сварки был соединен пористый материал из волокон стали 12Х18Н9 диаметром 30 мкм и 10 мкм длиной 3 мм и 2 мм соответственно. Разработанные режимы высокотемпературной обработки заготовок ТТ обеспечили прочное соединение внутренней поверхности корпусов ТТ с пористым материалом. Такие ТТ могут использоваться для обеспечения тепловых режимов РЭА летательных аппаратов, при создании систем охлаждения для работы в агрессивных средах.

---

A. Gerchuni, A. Nischik.

### **Heat pipes in cooling systems for radioelectronic equipment.**

The report presents the results of the development of radioelectronic equipment cooling systems based on heat pipes with metal-fibrous capillary structures. The use of such cooling systems, characterized by high efficiency and reliability, improves the performance and layout of equipment, reduce the weight and dimensions of the equipment units.

Keywords: *electronic equipment, heat pipe cooling system, capillary structure.*