

УДК 536.24

ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

К. т. н. С. М. Хайрнасов, к. т. н. Б. М. Рассемакин, к. т. н. А. Б. Рассемакин

НТУУ «Киевский политехнический институт»

Украина, г. Киев

sergey.khairnasov@gmail.com

Рассматриваются различные конструкции алюминиевых тепловых труб и термосифонов, а также систем обеспечения тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры космического и наземного применения. Приводятся результаты исследований их рабочих характеристик: температурного поля, термического сопротивления, передаваемого теплового потока в температурном диапазоне от минус 40 до плюс 100°С.

Ключевые слова: тепловая труба, термосифон, тепловой режим, радиоэлектронная аппаратура.

Проблема обеспечения тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является актуальной, что в первую очередь связано с достаточно узким температурным диапазоном ее функционирования, при котором обеспечиваются ее номинальные рабочие характеристики. В последнее время такая проблема усугубляется тем, что новые технологии изготовления позволяют получать малые размеры радиоэлектронных компонентов. При этом выделяемые ими тепловые потоки достаточно высоки, например для ядра процессора AMD Trinity они могут достигать 100 Вт при его площади 246 мм², что приводит к усложнению решения задач обеспечения их тепловых режимов. Сегодня существует ряд конструкторских решений поддержания нужного температурного режима РЭА. Часто используются радиаторы, вентиляторы, жидкостные системы охлаждения. Однако для целого ряда задач наиболее эффективным является использование пассивных систем охлаждения на основе тепловых труб.

Тепловая труба [1] представляет собой высокоэффективное теплопередающее устройство, работающее по замкнутому испарительно-конденсационному циклу. Медные тепловые трубы сегодня часто используются в системах обеспечения тепловых режимов процессоров в компьютерной технике. Следует заметить, что существует целый ряд различных типов тепловых труб, которые могут подразделяться [1]:

- по типу корпуса: алюминиевые, медные, стальные и т. д.;
- по типу теплоносителя: с аммиаком, ацетоном, водой, спиртом, жидким натрием и т. д.;
- по принципу функционирования: термосифоны, тепловые трубы, контурные тепловые трубы, пульсационные тепловые трубы и т. д.;
- по типу капиллярной структуры (КС): с канавчатой КС, металловолоконистой КС, порошковой КС и т. д.

Из всего многообразия конструкций ТТ одними из наиболее оптимальных по эффективности, надежности и стоимости являются алюминиевые тепловые трубы (АТТ) и термосифоны (АТС) с канавчатыми капиллярными структурами. Принято разделять направления создания систем обеспечения тепловых режимов РЭА — для применения в космических условиях и для эксплуатации в наземных условиях. Для каждого направления характерны не только конструктивные особенности, включающие конфигурацию КС и тип теплоносителя, но и показатели по надежности, уровень отработки конструкций и тестирования ТТ. Специалистами НТУУ «КПИ» был предложен ряд конструкторских решений АТТ, АТС и систем обеспечения тепловых режимов РЭА как космического назначения, так и наземного.

Для разных систем обеспечения тепловых режимов электронной аппаратуры космических аппаратов в НТУУ «КПИ» были разработаны более 14 типов алюминиевых профилей с аксиальными

канавками для тепловых труб (рис. 1) [2].

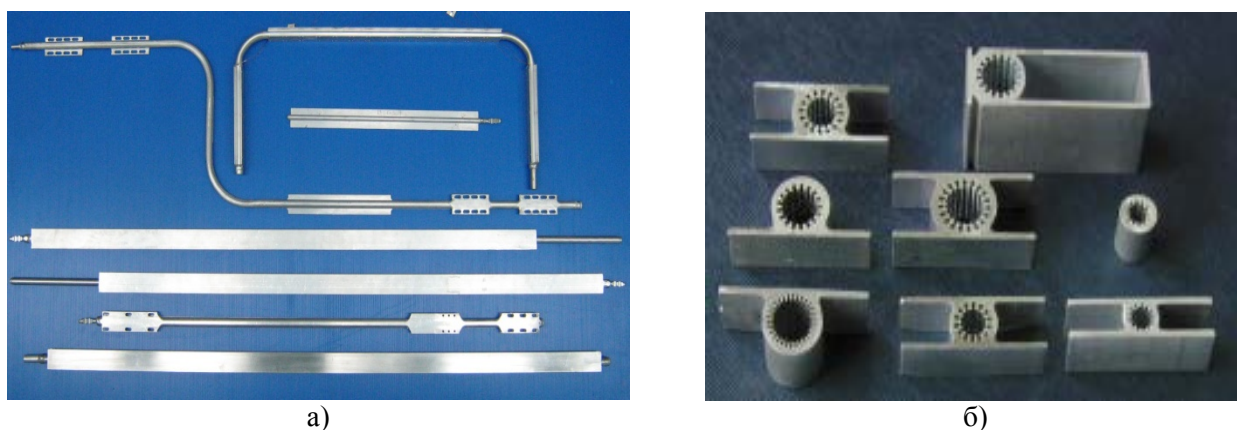


Рис. 1. Алюминиевые тепловые трубы с аксиальными канавками, изготовленные в лаборатории тепловых труб НТУУ «КПИ»:

а — конструкции тепловых труб; б — конструкции профилей для тепловых труб

Материал корпуса АТТ — алюминиевый сплав марки 6060/6063; теплоноситель — аммиак, ацетон, пропилен, метан. Габаритная длина ТТ — от 0,2 м до 3,5 м; длины зон: теплоподвода от 0,045 до 0,75 м, конденсации от 0,1 до 2,5 м. Конструкции АТТ выдерживают внутреннее давление не менее 220 МПа.

Термическое сопротивление ($R_{ТТ}$) разработанных АТТ (теплоноситель—аммиак) находится в диапазоне 0,01 ... 0,03 К/Вт при плотности теплового потока в зоне испарения от 0,01 до 8 Вт/см² и тепловых нагрузках, которые не превышают $0,8Q_{\max}$ (Q_{\max} — максимальная теплотранспортная способность, т.е. максимальный поток, который может передать тепловая труба). Интенсивность теплообмена в зоне испарения АТТ до 15000 Вт/(м²·К), а в зоне конденсации до 17000 Вт/(м²·К).

Максимальная теплотранспортная способность АТТ сильно зависит от диаметра профиля. Так, для АТТ с диаметром 17 мм и длиной 1 м Q_{\max} достигает 350 Вт, а для АТТ с диаметром 10 мм — 100 Вт в температурном диапазоне от 20 до 40°С. При этом масса одного метра профиля диаметром 17 мм — 0,54 кг, диаметром 10 мм — 0,28 кг.

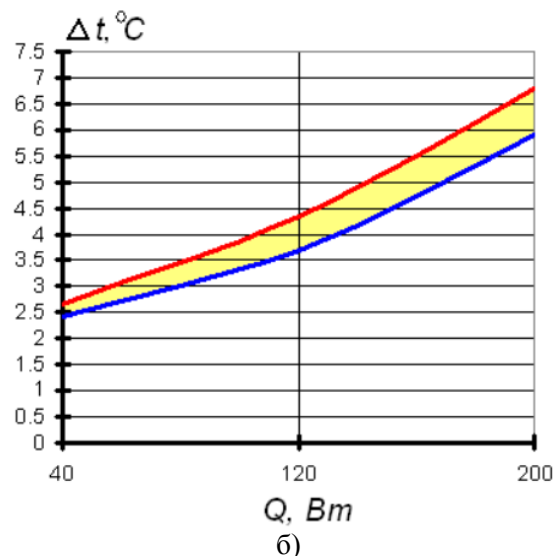
Разработанные конструкции систем обеспечения тепловых режимов электронной аппаратуры наземного применения, в отличие от космического, в большинстве своем построены на основе алюминиевых термосифонов. Наличие сил тяжести негативно сказывается на функционировании алюминиевых тепловых труб. С этой точки зрения, а также учитывая низкую стоимость, в наземных системах перспективно применять АТС. В таких конструкциях возврат жидкой фазы из зоны отвода тепла в зону подвода тепла осуществляется за счет силы гравитации, а наличие продольных канавок повышает максимальную теплотранспортную способность АТС, снижая унос жидкости.

Специалистами лаборатории тепловых труб были предложены различные конструкции АТС и систем охлаждения на их основе для РЭА специального назначения (мобильного и радиолокационного оборудования), РЭА для использования на морском и речном транспорте, светодиодных осветительных приборов различных конструкций, криогенных систем.

Сегодня наиболее перспективное направление — применение АТС в системах охлаждения светодиодных осветительных приборов. На рис. 2, а приведена конструкция АТС, который является частью системы охлаждения светодиодного осветительного прибора, предназначенного для освещения автострад. Такой АТС может передавать тепловую мощность более 250 Вт. АТС имеют температурный перепад не более 7°С при подводимой электрической мощности 200 Вт к каждому АТС. При подводимой мощности 40 Вт температурный перепад снижается до 2,5°С. В качестве теплоносителя использовались хладагенты.



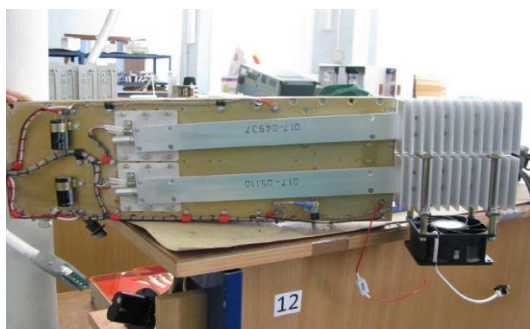
а)



б)

Рис. 2. АТС для системы охлаждения светодиодного осветительного прибора:
а — конструкция; б — зависимость изменения температурного перепада от передаваемой мощности (обобщено на 50 шт. АТС)

Также перспективным является направление создания АТС для охлаждения РЭА в системах специального назначения при наземной эксплуатации. В таких системах предъявляются высокие требования к АТС, в первую очередь по надежности. В ходе разработки комплексного технического решения (рис. 3) были проведены работы по отработке мелкосерийной технологии изготовления АТС. По разработанной технологии было изготовлено более 500 шт. АТС. Каждый АТС имел температурный перепад не более 2°С при передаваемой мощности 150 Вт в температурном диапазоне от минус 40 до плюс 100°С. Термосифоны были заправлены аммиаком.



а)



б)

Рис. 3. АТС для охлаждения РЭА специального назначения:
а — система охлаждения РЭА; б — конструкция АТС

Отработанная технология показала, что в изготовленной партии 550 шт. присутствовало не более 1% АТС, не соответствующих требуемым параметрам. При этом заправка теплоносителя выполнялась с точностью $\pm 0,3$ г.

Также перспективно применение ТТ в системах обеспечения тепловых режимов электронных приборов в герметичном корпусе. Известно, что такие приборы работают в жестких атмосферных условиях или пожаро- и взрывоопасных местах, например в пустыне либо в шахтах. Основная проблема — отсутствие возможности организовать интенсивное охлаждение электронных компонентов, находящихся в середине таких приборов. В этом случае организуется отвод тепла от теплонагруженных элементов к корпусу прибора (рис. 4), который является и радиатором.

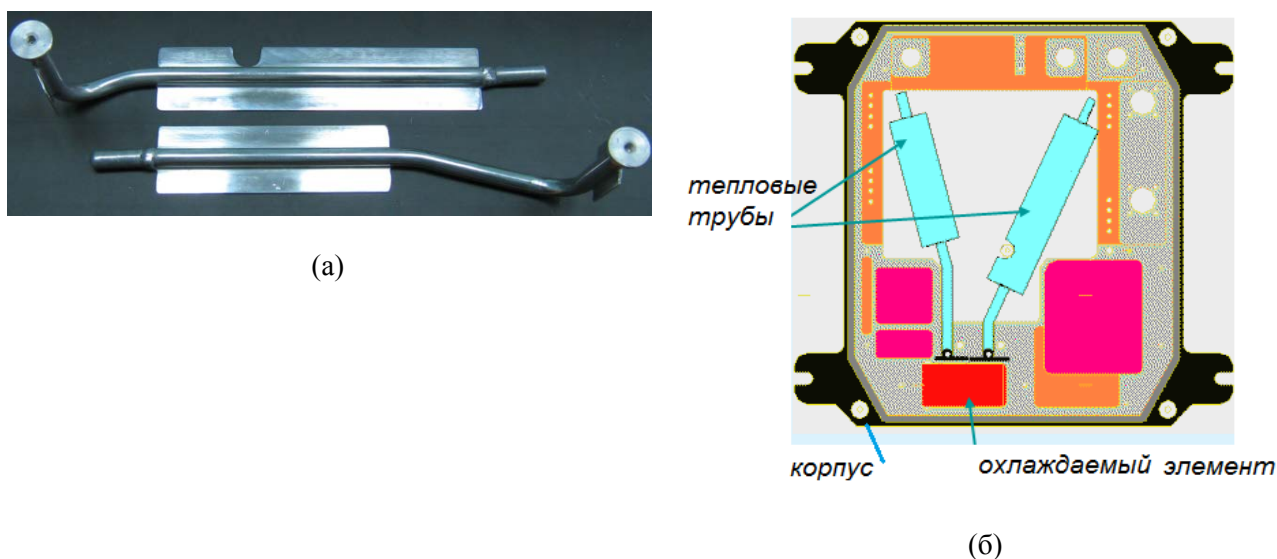


Рис. 4. АТС для герметичного прибора — системы охлаждения светодиодного осветительного прибора:
а — конструкция; б — схема расположения АТС в герметичном корпусе прибора

На рис. 4 изображены два АТС, обеспечивающие охлаждение теплонагруженного элемента с выделяемой тепловой мощностью до 60 Вт. При этом прибор в герметичном корпусе предназначен для эксплуатации на радиолокационных станциях, что определяет его функционирование при углах наклона от 0 до 180°. В этом случае поочередно работает каждый АТС в зависимости от угла наклона прибора. Такая же конструкционная схема применялась для охлаждения шкафов с РЭА, предназначенных для использования на морском и речном транспорте [3].

Научно-исследовательские работы, проведенные в НТУУ «КПИ», показали, что:

- в системах обеспечения тепловых режимов РЭА перспективно использовать алюминиевые тепловые трубы и термосифоны с канавчатой капиллярной структурой;
- такие тепловые трубы и термосифоны имеют высокую эффективность;
- разработанные инженерные методики расчетов и технологии изготовления позволяют с достаточной точностью рассчитывать и изготавливать алюминиевые тепловые трубы и термосифоны.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. D. A. Reay, P. A. Kew. Heat Pipes. Fifth edition, 2006.— 374 p.
2. Патент України №19110. Теплова труба/ Рассамакін Б. М., Ждановський А. А., Рассамакін А. Б., Хайрнасів С. М.— Бюл. № 3, 2007.
3. Рассамакін Б. М., Николаєнко Ю. Е., Хайрнасів С. М. Исследование влияния углов наклона на тепловые характеристики водяной системы охлаждения приборного шкафа на основе тепловых труб // Тр. X Междунар. науч.-практич. конфер. «Современные информационные и электронные технологии». Украина, Одесса.— 2009.— С. 73.

S. M. Khairnasov, B. M. Rassamakin, A. B. Rassamakin
Aluminium heat pipes application to electronic cooling systems.

The authors consider various designs of aluminium heat pipes and thermosiphons, as well as electronic cooling systems for space and ground application. The paper presents test results for the operating characteristic of the said devices: thermal field, thermal conductance, transport heat flux at temperature range from minus 40 to plus 100°C.

Key words: heat pipe, thermosiphon, thermal mode, electronics.