

К. т. н. С. М. ХАЙРНАСОВ

Украина, НТУУ «Киевский политехнический институт»  
E-mail: khayrnasov@lab-hp.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
19.01 2010 г.

Оппонент к. т. н. В. Е. ТРОФИМОВ  
(ОНПУ, г. Одесса)

## КОНТУРНАЯ ТЕПЛОВАЯ ТРУБА ДЛЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

*Предложенная конструкция контурной тепловой трубы обеспечивает передачу теплового потока до 105 Вт при работе в температурном диапазоне от 20 до 90°C при различной ее ориентации в пространстве.*

В системах обеспечения тепловых режимов и охлаждения объектов, движущихся с ускорением, или объектов, функционирующих при любой ориентации в поле силы тяжести, использование обычных тепловых труб имеет ряд ограничений. В таких системах перспективным является применение контурных тепловых труб (КТТ) [1—3], поскольку они сохраняют работоспособность даже в положении, когда зона испарения располагается выше зоны конденсации более чем на 1 м, а также при наличии тормозящих сил, действующих на теплоноситель при движении объекта с ускорением. При этом обеспечивается «дирекционность», т. е. возможность передачи тепла только в одном направлении. К преимуществам использования КТТ можно также отнести создание гибкой связи между зонами подвода и отвода тепла.

В последние пять лет возрос интерес к конструкциям КТТ вообще, а адаптированных к компьютерной технике особенно [4]. Несмотря на наличие большого числа опытных образцов КТТ (а также специализированных кулеров на их основе), на пути их внедрения в серийное производство стоят проблемы миниатюризации их корпусов и совершенствования технологичности наряду с обеспечением надежной стабильной работы, а также улучшения тепловых характеристик, в том числе минимизации термического сопротивления.

Основными задачами настоящей работы были разработка и изготовление надежной и недорогой КТТ из доступных исходных материалов, обеспечивающей при любой ориентации в пространстве

- передачу теплового потока не менее 100 Вт;
- температурный перепад между зонами испарения и конденсации (общий температурный перепад по КТТ) не более 10°C;
- функционирование при изменении температуры КТТ от 20 до 90°C.

Отметим, что такие требования характерны, в первую очередь, для систем охлаждения компьютерной

техники. Так, тепловыделение процессора современного персонального компьютера — не менее 100 Вт, максимально допустимая температура на его ядре — не более 80°C. Кроме того, немаловажную роль здесь играет удобство компоновки и монтажа системы охлаждения, что определяется отсутствием жесткой связи между зонами подвода и отвода тепла, а также возможностью произвольного расположения системы охлаждения в пространстве.

### Конструкция контурной тепловой трубы

Длина зоны испарения (теплоподвода) разработанного образца КТТ (рис. 1) составляла 0,03 м, диаметр — 0,014 м. Размеры зоны конденсации (теплоотвода) без учета воздушного радиатора — 0,07×0,05×0,0026 м. Материал корпуса — нержавеющая сталь 12Х10Н9Т.

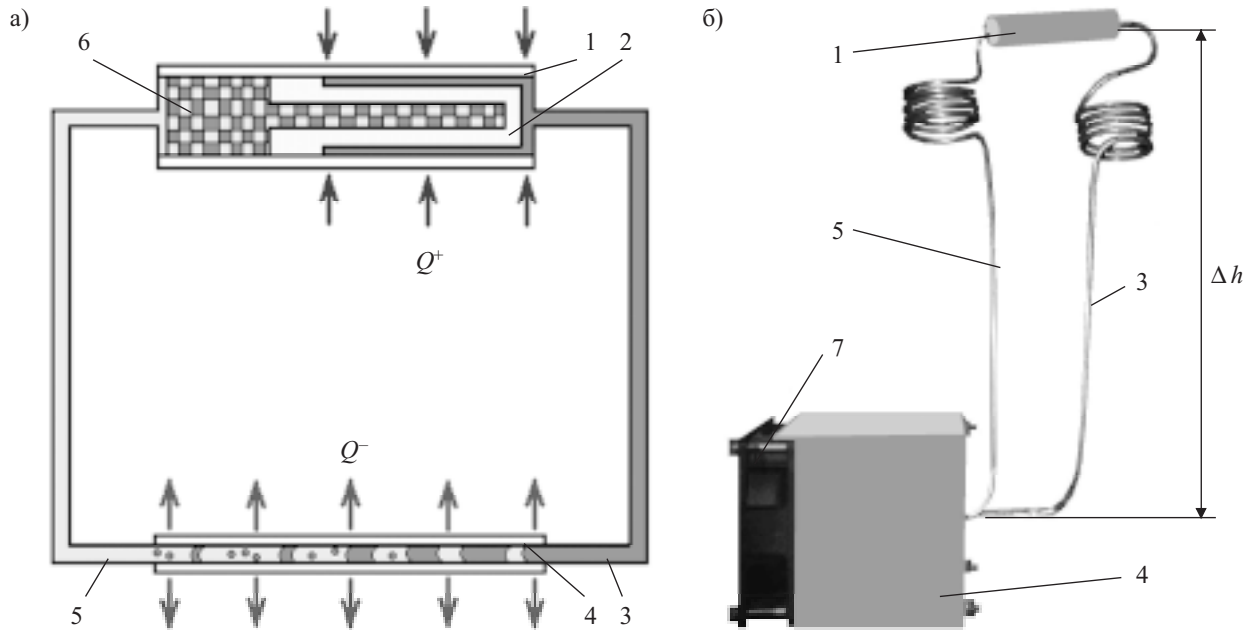
Основным элементом КТТ является капиллярный насос, от свойств которого в существенной мере зависят рабочие характеристики трубы. Для исследуемого образца он изготавливался из капиллярной структуры — оксидной высокопористой керамики на основе мелкодисперсного порошка оксида алюминия [3, 5] и имел общую пористость 64%. На основании рекомендаций по выбору теплоносителя для температурного диапазона 20—90°C, приведенных в [3], образец был заправлен аммиаком.

### Результаты экспериментальных исследований

Основными исследуемыми характеристиками КТТ были ее температурное поле, термическое сопротивление, максимальный и минимальный передаваемые тепловые потоки в температурном диапазоне 20—90°C. Исследования проводили при различной ориентации КТТ в пространстве — при расположении зоны испарения выше зоны конденсации ( $\Delta h < 0$ ) и ниже ее ( $\Delta h > 0$ ), а также при горизонтальном положении ( $\Delta h = 0$ ).

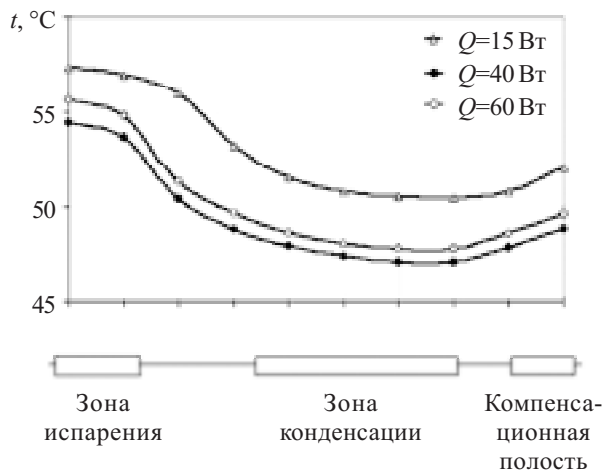
Отличительной особенностью функционирования КТТ является стабильность ее температурного уровня в широком диапазоне передаваемых тепловых потоков (рис. 2) и термического сопротивления (рис. 3). Только на уровнях тепловых нагрузок, приближающихся к максимальной теплопроводности способности КТТ (т. е. максимальному тепловому потоку  $Q_{\max}$ , который может передать КТТ), а также в случае снижения интенсивности теплоотвода при задан-

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ

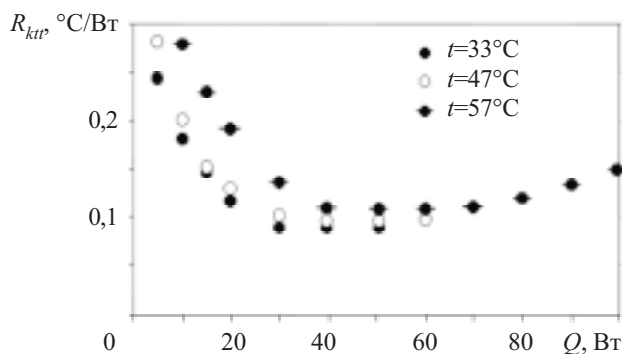


**Рис. 1.** Принципиальная схема (а) и общий вид (б) контурной тепловой трубы:

1 — зона испарения с имитатором теплового потока; 2 — капиллярный насос; 3 — паровой канал; 4 — воздушный радиатор, установленный на зоне конденсации; 5 — жидкостной канал; 6 — компенсационная полость; 7 — вентилятор (80×80 мм)



**Рис. 2.** Температурное поле КТТ при различном значении передаваемого теплового потока  $Q$  при  $\Delta h = -270$  мм



**Рис. 3.** Зависимость термического сопротивления КТТ от величины передаваемого теплового потока для различных значений температуры в зоне испарения при  $\Delta h = -270$  мм

ном тепловом потоке наблюдается рост общего температурного перепада и температурного уровня КТТ.

Как видно из рис. 3, при снижении тепловой нагрузки начиная с 30 Вт наблюдается значительный рост полного термического сопротивления трубы  $R_{ktt}$ . Это связано с гидродинамическими особенностями ее функционирования в таких условиях, а именно со снижением расхода теплоносителя, что и приводит к повышению общего температурного перепада. То есть существует и минимально возможный передаваемый тепловой поток КТТ, величина которого для исследуемой конструкции КТТ находится в диапазоне 2—3 Вт.

Результаты исследований максимальной теплопроводности КТТ показали возможность передачи такой конструкцией тепловых потоков более 100 Вт при любой ее ориентации в пространстве. В наихудших условиях функционирования КТТ, когда зона испарения находилась выше зоны конденсации на 270 мм ( $\Delta h = -270$  мм), экспериментальное значение  $Q_{max}$  для приведенной конструкции достигало 105—110 Вт.

Значительную зависимость термического сопротивления КТТ от ее расположения в поле сил гравитации хорошо иллюстрирует рис. 4. Так, при функционировании КТТ против сил тяжести ( $\Delta h = -270$  мм) термическое сопротивление максимально. При опускании зоны испарения до уровня зоны конденсации термическое сопротивление резко снижается и при горизонтальном расположении КТТ выходит на уровень 0,02—0,04 °C/Вт и при расположении зоны конденсации выше зоны испарения  $R_{ktt}$  уже практически не изменяется с изменением  $\Delta h$ , что объясняется термосифонным эффектом.

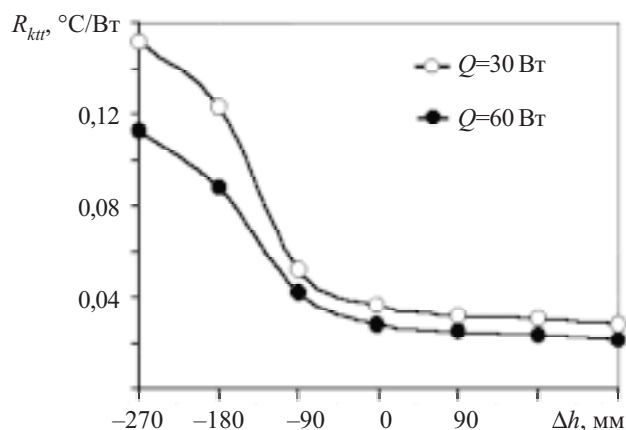


Рис. 4. Зависимость термического сопротивления КТТ от ее ориентации в поле сил тяжести

Однако полученные при исследованиях результаты показывают, что общий температурный перепад по КТТ может превышать 10°C при тепловых потоках более 80 Вт и когда зона испарения находится выше зоны конденсации более чем на 200 мм. Так, при передаваемой тепловом потоке 100 Вт (см. рис. 3) термическое сопротивление составляет 0,15 °C/Вт, что соответствует температурному перепаду 15°C.

К снижению термического сопротивления, а соответственно и температурного перепада, приводит приближение зоны испарения к зоне конденсации. Так, при  $Q=60$  Вт и  $\Delta h=-270$  мм (см. рис. 4) термическое сопротивление составляет 0,11 °C/Вт, что соответствует температурному перепаду 6,6°C, а при  $\Delta h=-90$  мм оно равно 0,04 °C/Вт, что соответствует температурному перепаду уже 2,4°C.

Снизить температурный перепад можно некоторыми конструктивными решениями, например уменьшив общее гидравлическое сопротивление контура КТТ, оптимизировав размеры зоны конденсации и зоны испарения. Это будет особенно важно при создании конструкции КТТ для передачи тепловых по-

токов более 150 Вт и расположении зоны испарения выше зоны конденсации более чем на 300 мм.

#### Выводы

Исследования показали надежную работоспособность конструкции КТТ с капиллярной структурой из оксидной высокопористой керамики на основе мелкодисперсного порошка оксида алюминия при любой ее ориентации в пространстве в температурном диапазоне от 20 до 90°C. При этом максимальная величина передаваемого теплового потока составила 105 Вт.

Однако было отмечено качественное снижение тепловых параметров образца КТТ в зонах рабочих характеристик, приближающихся к предельным — при тепловых потоках более 80 Вт при расположении зоны испарения выше зоны конденсации более чем на 200 мм. Решению данных проблем путем совершенствования конструкции КТТ будут посвящены дальнейшие исследования, которые позволят получить образец КТТ, вполне конкурентноспособный известным конструкциям систем охлаждения, основанных на других принципах реализации, например жидкостным системам охлаждения элементов компьютерной техники.

#### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Майданик Ю. Ф. Контурные тепловые трубы и двухфазные теплопередающие контуры с капиллярной прокачкой // Автореф. дис. ... докт. техн. наук. — Москва, МЭИ. — 1993.
2. Кисеев В. М. Тепломассоперенос и фазовые превращения в капиллярных структурах // Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. — Екатеринбург, Уральский ГУ. — 2001.
3. Хайрмасов С. М. Теплогидравлічні процеси в контурних теплових трубах з капілярним насосом на основі оксиду алюмінію // Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Київ, НТУУ «КПІ». — 2003.
4. Huang B. J. Development of a low-cost LHP for commercial application // 13<sup>th</sup> International Heat Pipes Conference. — Shanghai, China. — 2004. — P. 262—266.
5. Рассмакин Б. М., Хайрмасов С. М., Руденький С. О. Свойство капиллярной структуры на основе оксида алюминия для контурных тепловых труб // Наукові вісті. — 2003. — № 6. — С. 40—45.

#### НОВЫЕ КНИГИ

#### НОВЫЕ КНИГИ

**Наноструктурные материалы / Под ред. Р. Ханнинка. — М.: Техносфера, 2009. — 488 с.**

В книге обобщаются ключевые наработки в области нанотехнологий и рассматривается их влияние на обработку металлов, полимеров, композитных и керамических материалов. Обсуждаются практические вопросы, связанные с промышленным производством и использованием наноматериалов, методы нанотехнологии в создании сплавов на основе стали, алюминия и титана, рассматриваются нанотехнологии, позволяющие использовать гидриды металлов для хранения водорода как источника энергии, а также методики синтеза нанополимеров для батарей аккумуляторов.

Данная книга — идеальное введение в нанотехнологии, а также достаточно широкий обзор их применения при создании новых промышленных материалов.

Для инженерных и научных работников, которые в своей практической деятельности связаны с проблемами создания и применения наноматериалов и нанотехнологий. Благодаря этой книге можно найти решения многих междисциплинарных проблем в области наноматериалов и нанотехнологий.

