

К. т. н. Б. М. РАССАМАКИН, к. т. н. В. А. РОГАЧЁВ,  
к. т. н. С. М. ХАЙРНАСОВ

Украина, НТУУ "Киевский политехнический институт"  
E-mail: labhp@atep.ntu-kpi.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
05.10 2005 г. — 10.07 2006 г.

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

## КУЛЕРЫ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ ДЛЯ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

*Приведены результаты экспериментальных исследований кулеров на тепловых трубах. Предложена новая конструкция кулера с улучшенными тепловыми и массовыми характеристиками.*

Надежность и быстродействие современных персональных компьютеров (ПК) зависит от точности поддержания номинального теплового режима работы их основных тепловыделяющих микроузлов и элементов. По мере повышения производительности компьютерных компонентов возрастает и рассеиваемая ими тепловая мощность. При этом диапазон допустимых рабочих температур полупроводниковых компонентов ПК продолжает оставаться, как правило, неизменным. Поэтому проблема охлаждения теплонагруженных компонентов ПК становится все более острой.

В настоящее время широко используются штатные охлаждающие устройства процессоров ПК, называемые кулерами [1], сочетающие оребренную поверхность и низконапорный осевой вентилятор. Современные кулеры известных производителей, таких как Thermaltake, Titan, Maxtron, при мощностях рассеивания 65—75 Вт и температурном диапазоне 70—90°C (процессор под нагрузкой) характеризуются достаточно высокими предельными значениями теплового сопротивления — от 0,55 до 0,75 К/Вт. То есть традиционные кулеры уже недостаточно надежны для поддержания температуры мощных процессоров в рабочих пределах.

Все больше внимания привлекают альтернативные решения. Одно из них — охлаждающие устройства, использующие тепловые трубы. К ним можно отнести, например, новое поколение мультиплатформенных кулеров класса high-end: Cooler Master Hyper6, Gigabyte 3D Cooler-Ultra, Thermaltake Silent Tower [2, 3]. Например, общая площадь поверхности теплообмена на участках конденсации тепловых труб Cooler Master Hyper6 составляет 3800 см<sup>2</sup>, а Thermaltake Silent Tower (CL-P0025) — 7500 см<sup>2</sup>.

Однако возможности дальнейшего развития площади теплоотдающей поверхности и ее эффективного обдува для кулеров таких конструкций весьма ограничены. К недостаткам мультиплатформенных кулеров можно также отнести их большую массу, что вызывает трудности при компоновке (например, Cooler

Master Hyper6, выполненный из медных тепловых труб с оребрением, имеет массу 950 г). Кроме того, такая система охлаждения размещается внутри корпуса системного блока в области повышенных тепловыделений, т. е. работает в неблагоприятных условиях при температуре воздуха 45°C.

В настоящей работе предложены разработанные в НТУУ "КПИ" системы воздушного охлаждения на тепловых трубах, которые позволяют избежать указанных недостатков.

На рис. 1 представлена схема исследованных охлаждающих устройств.

Охлаждающий воздух подается с помощью вентилятора 1 к базовой теплоотдающей поверхности 2 сверху. В качестве имитатора тепловыделяющего компонента ПК использовался электронагреватель 3 с габаритными размерами 30×30×10 мм, который через теплопроводную пасту КПТ-8 плотно прижимался винтами к основанию базовой теплоотдающей поверхности теплоизолирующим фланцем 4. Во избежание тепловых потерь гладкая часть основания и нагреватель с прижимным фланцем закрывались теплоизоляцией.

Испарительные участки алюминиевой тепловой трубы (ТТ) Ø8 мм [4] закреплялись в межреберных

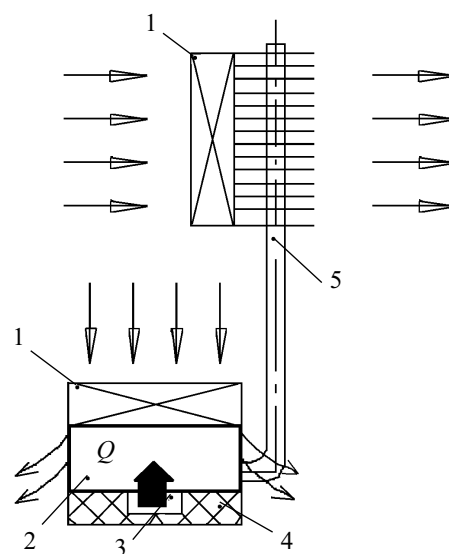


Рис. 1. Схема охлаждающего устройства:  
1 — вентилятор; 2 — базовая теплоотдающая поверхность; 3 — нагреватель; 4 — теплоизолятор; 5 — тепловая труба

заворах базовой теплоотдающей поверхности с помощью термостойкого теплопроводного клевого соединения. Конденсационные участки ТТ оснащены поперечно-шайбовым оребрением, полученным способом накатки, в результате чего образуется идеальный тепловой контакт между ребрами базовой теплоотдающей поверхности и несущей стенкой ТТ. Поверхность конденсационных частей ТТ обдувается вторым вентилятором, закрепленным на их оребрении.

Общий вид исследованных охлаждающих устройств, разработанных в КПИ, приведен на **рис. 2, 3.**



Рис. 2. Охлаждающее устройство на двух тепловых трубах с пластинчатым оребрением



Рис. 3. Охлаждающее устройство на одной тепловой трубе с пластинчато-разрезным оребрением [5]

Для обдува теплоотдающих поверхностей применялись два малогабаритных вентилятора типа TFD-8025M12B, являющихся составной частью фирменного кулера Titan. Габаритные размеры осевого вентилятора 80×80×25 мм, частота вращения 2000 об/мин (RPM) при токе питания электродвигателя 0,11 А, шумовые характеристики не выше 30 дБ.

В исследованиях использованы две базовых алюминиевых теплоотводящих поверхности одинаковой площади (500 см<sup>2</sup>) — серийная для кулера Titan и пластинчато-разрезная [5], разработанная в КПИ. Площадь теплообмена оребренных конденсационных участков ТТ составила 1000 см<sup>2</sup>, а общая площадь теплоотдающих поверхностей кулера достигала 1500 см<sup>2</sup>.

Эксперименты проведены в диапазоне рассеиваемой тепловой мощности  $Q=20...180$  Вт при температуре окружающего воздуха  $t_{oc}=20...25^{\circ}\text{C}$ .

Измерения температурного поля на теплоотдающих поверхностях систем охлаждения и температуры окружающего воздуха осуществлялись десятью медь-константановыми термопарами с диаметром проводов 0,16/0,10 мм. Термопары размещались на гладкой части основания базовой теплоотдающей поверхности, на стенках испарительных и конденсационных участков ТТ и вблизи всасывающих сечений вентиляторов. Максимальная температура кулера из-

мерялась термопарой, закрепляемой в центре между плоскими поверхностями нагревателя и основания базовой теплоотдающей поверхности.

Показания термопар регистрировались автоматизированной многоканальной системой измерения температур (АМСИТ), разработанной в КПИ, и выводились на экран ПК [6].

Электронагреватель питался переменным током через стабилизатор напряжения, а его мощность контролировалась ваттметром типа Д592 класса точности 0,1.

Поскольку нагреватель, гладкая часть теплоотдающей поверхности испарительной части ТТ, транспортные зоны ТТ покрываются слоем теплоизоляции, то принимается, что вся мощность, выделяемая электронагревателем, рассеивается оребренными поверхностями устройства.

Максимальное тепловое сопротивление системы охлаждения определяется как

$$R_{\max} = \Delta t_{\max} / Q,$$

где  $\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_{oc}$ ;

$t_{\max}$  — максимальная температура (в центре основания) базовой теплоотдающей поверхности (соответствует температуре ядра процессора).

Относительная среднеквадратичная погрешность определения величины  $\Delta t_{\max}$  не превышала  $\pm 5\%$ .

На **рис. 4** приведены тепловые характеристики разработанных систем охлаждения для различных значений отводимой мощности при токе 0,11 А. Для срав-

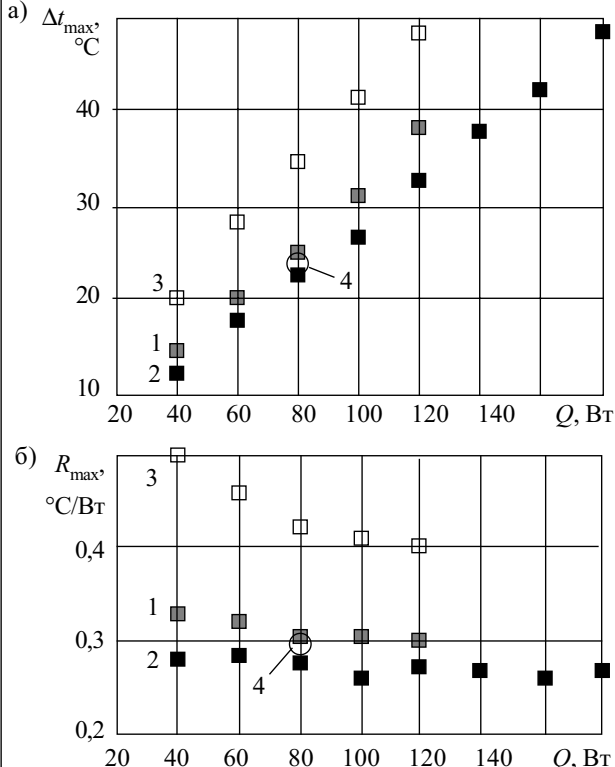


Рис. 4. Зависимости  $\Delta t_{\max}$  (а) и максимального теплового сопротивления (б) от величины отводимой мощности для различных систем охлаждения:

1 — кулер КПИ с двумя вентиляторами на двух ТТ (рис. 2); 2 — кулер КПИ (улучшенный) с двумя вентиляторами на одной ТТ (рис. 3); 3 — улучшенный кулер с одной ТТ и одним вентилятором на конденсационной части ТТ; 4 — Cooler Master Hyper6 (3000RPM)

нения на графиках нанесены значения  $\Delta t_{\max}$  и  $R_{\max}$  одного из лучших зарубежных аналогов (Cooler Master Hyper6 (3000RPM)) при  $Q=80$  Вт.

Анализ полученных данных показал, что лучшими тепловыми характеристиками обладает кулер с одной тепловой трубой с двумя вентиляторами (2). Немного хуже тепловая эффективность кулера на двух трубах с двумя вентиляторами (1). Так, при рассеиваемой мощности 120 Вт для кулера с двумя ТТ значение  $\Delta t_{\max}$  на 18% выше, чем для кулера с одной ТТ. Худшие тепловые характеристики у кулера с одной ТТ и одним вентилятором (3).

Из всех рассмотренных кулеров система охлаждения на одной ТТ с двумя вентиляторами имеет самое низкое тепловое сопротивление, причем при значении отводимой мощности порядка 100 Вт его величина стабилизируется и составляет около 0,25°C/Вт (рис. 4, б). Отметим, что такие характеристики получены благодаря применению клевого соединения между базовой поверхностью и испарительной частью ТТ, а также благодаря использованию интенсифицирующей теплообмен формы оребрения.

\*\*\*

Таким образом, предлагаемый кулер на одной ТТ характеризуется низкими и стабильными значениями теплового сопротивления на уровне 0,25—0,27°C/Вт в широком диапазоне отводимой мощности (80—180 Вт). Такая система охлаждения обладает сравнительно небольшой массой (до 500 г) и удобна при компоновке в рабочем объеме системного блока за счет гибкости тепловой трубы. Конструкция кулера предусматривает возможность дальнейшей модификации, например, за счет развития площадей поверхностей теплообмена, использования более эффективных обдувочных вентиляторов, а также применения более теплопроводных материалов в конструкции ТТ.

Предлагаемая система охлаждения может быть использована для дополнительного охлаждения других узлов ПК (жестких дисков, элементов системных плат и т. п.), либо компоноваться с вентилятором в вытяжном окне корпуса системного блока.

Дальнейшие исследования кулеров на ТТ следует проводить в направлении разработки конкретных конструктивных решений с учетом габаритных и компоновочных характеристик, развития площадей интенсифицирующих теплоотдающих поверхностей для испарительной и конденсационной частей тепловых труб, обеспечения надежного теплового контакта между поверхностью испарительной части тепловой трубы и основанием базовой теплоотдающей поверхности, а также выбора наиболее рациональной компоновки системы охлаждения в корпусе системного блока.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Макаров С. Процессорные кулеры: летнее изобилие // Компьютерное обозрение.— 2001.— № 29.— С. 16—31.
2. Крыницин В. Мультиплатформенные кулеры Cooler Master Hyper6, Gigabyte 3D Cooler-Ultra и Thermaltake Silent Tower // www.ixbt.com.— 22.09.04.
3. Крыницин В. Летние новинки GlacialTech // www.ixbt.com.— 02.08.05.
4. Рассмакин Б. М., Тарасов Г. В., Хайрнатов С. М. и др. Моделирование и анализ результатов наземных и летных испытаний соплопанели с тепловыми трубами на космическом аппарате АУОС-СМ-КФ // Космическая техника. Ракетное вооружение.— 2004.— С. 364—376.
5. Письменный Е. Н., Рогачёв В. А., Терех А. М., Бурлей В. Д. Влияние разрезки, поворотов и отгибки ребер на теплоаэродинамические характеристики поверхностей теплообмена // Промышленная теплотехника.— 2003.— Т. 25, № 1.— С. 10—16.
6. Рассмакин Б. М., Рогачёв В. А., Хайрнатов С. М. и др. Экспериментальное моделирование тепловых режимов эксплуатации оптико-электронного измерительного прибора для микро-спутника // Космічна наука і технологія.— 2003.— Т. 9, №4.— С. 34—39.

#### НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

#### **Зотов Ю. В. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы XILINX®.— М.: Горячая линия — Телеком, 2006.— 520 с.**

Книга предназначена для самостоятельного изучения методики сквозного проектирования встраиваемых микропроцессорных систем на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) фирмы Xilinx®. Представлено подробное описание характеристик, архитектуры и системы команд микропроцессорных ядер семейств PicoBlaze™ и MicroBlaze™, применяемых в качестве основы встраиваемых систем. Рассмотрены этапы проектирования 8-разрядных микропроцессорных систем, реализуемых на базе ПЛИС с архитектурой FPGA, с использованием ядер семейства PicoBlaze, и их выполнение в рамках САПР серии Xilinx ISE™ (Integrated Software Environment) версии 7.1i. Дана развернутая характеристика основных этапов разработки 32-разрядных встраиваемых систем, выполняемых на основе микропроцессорных ядер семейства MicroBlaze. Рассмотрен процесс осуществления этих этапов с помощью комплекса средств автоматизированного проектирования встраиваемых микропроцессорных систем Xilinx Embedded Development Kit™ (EDK). Приведены исходные тексты VHDL-описаний микропроцессорных ядер семейств PicoBlaze. Материал, изложенный в книге, также может быть использован в процессе самостоятельного освоения средств проектирования 32-разрядных встраиваемых микропроцессорных систем Xilinx EDK версии 7.1i.

Для инженерно-технических работников, может быть полезна студентам и аспирантам, специализирующимся в области разработки микропроцессорных систем различного назначения.

