

## СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ ДЛЯ ТЕПЛОНАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПК

Надежность и быстродействие современных ПК зависят от точности поддержания номинального теплового режима работы их основных тепловыделяющих микрочипов и элементов. По мере повышения производительности компьютерных компонентов рассеиваемая ими тепловая мощность неуклонно возрастает. Однако диапазон допустимых рабочих температур полупроводниковых устройств ПК в силу их природы продолжает оставаться, как правило, неизменным. Поэтому перед разработчиками и пользователями ПК, особенно теми, кто стремится поднять быстродействие любой ценой, в том числе путем "разгона", все острее встает проблема охлаждения теплонагруженных компонентов ПК.

Широкое распространение в настоящее время получили штатные охлаждающие устройства процессоров (CPU) ПК, сочетающие оребренную поверхность и низконапорный осевой вентилятор, называемые кулерами [1]. Современные кулеры известных производителей - Thermaltake, Titan, Maxtron - при мощностях рассеивания 65...75Вт и температурном диапазоне ядра процессора под нагрузкой 70...90°C характеризуются достаточно высокими предельными значениями тепловых сопротивлений, лежащими в диапазоне  $R_{max}=0,55...0,75K/Вт$ , что в целом сказывается на снижении теплоотбрасывающей способности охлаждающей системы. Таким образом, традиционные кулеры, сочетающие теплоотдающую поверхность и вентилятор, уже недостаточно надежно обеспечивают нормальный режим охлаждения и практически исчерпали свои теплоотбрасывающие возможности, чтобы поддерживать температуру мощных процессоров в рабочих пределах. Все больше внимания привлекают эффективные альтернативные решения подобных систем. Одно из них - охлаждающие устройства, использующие

тепловые трубы (Heat Pipes). К ним можно отнести, например, новое поколение мультиплатформенных кулеров класса high-end: Cooler Master Hyper6, Gigabyte 3D Cooler-Ultra, Thermaltake Silent Tower [2, 6]. По сравнению с обычными, указанные кулеры при мощностях рассеивания  $Q=65...80$  Вт обладают существенно низким общим термическим сопротивлением  $R_{max}=0,3...0,4K/Вт$ , что объясняется применением в них тепловых труб и высокоразвитой площади теплоотдающей поверхности. Например, общая площадь поверхности теплообмена на участках конденсации тепловых труб Cooler Master Hyper6 составляет 3800см<sup>2</sup>, а у кулера Thermaltake Silent Tower (CL-P0025) - 7500 см<sup>2</sup>. К недостаткам мультиплатформенных кулеров можно отнести их большой вес. Так, Cooler Master Hyper6, выполненный из медных тепловых труб и оребрения, весит 950 г. Для таких конструкций кулеров возможности дальнейшего развития площади теплоотдающей поверхности и ее эффективного обдува весьма ограничены. Кроме того, возникают трудности с компоновкой таких тяжелых кулеров внутри корпуса системного блока (desktop), а неизбежное размещение всей системы охлаждения в области повышенных тепловыделений приводит к неблагоприятным условиям работы теплообменной поверхности и вентилятора, ухудшению режима обдува, так как через них прокачивается нагретый до 45°C воздух.

В НТУУ "КПИ" разработана и исследована система воздушного охлаждения на тепловых трубах для теплонагруженных элементов ПК и проведен сравнительный анализ их эффективности и существующих современных аналогов.

Общий вид охлаждающего устройства на двух тепловых трубах, разработанного в НТУУ "КПИ", приведен на рис. 1.

В состав охлаждающей системы входят:

базовая теплоотдающая оребренная поверхность, закрепленная на тепловыделяющем элементе ПК и соединенная с испарительными участками тепловых труб, две тепловые трубы с оребренными теплоотдающими поверхностями на конденсационных участках, два серийно выпускаемых малогабаритных вентилятора.

Для получения подробной информации о тепловых характеристиках и уточнения количественных закономерностей по перегреву и теплосбросу исследовались также и традиционные кулеры, имеющие базовую теплоотдающую поверхность такую же, как у кулеров на тепловых трубах.

На рис.2 представлены схемы исследованных охлаждающих устройств в виде обычного стандартного кулера (рис.2,а) и кулера на тепловых трубах (рис.2,б).

В схеме рис. 2,а охлаждающий воздух из лабораторного помещения подавался с помощью вентилятора 1 к базовой оребренной поверхности 2 сверху. В качестве имитатора

тепловыделяющего компонента ПК использовался электронагреватель 3 с габаритными размерами  $30 \times 30 \times 10$  мм, который через теплопроводную пасту КПТ-8 плотно прижимался винтами к основанию оребренной поверхности теплоизолирующим фланцем. Во избежание тепловых потерь гладкая часть основания и нагреватель с прижимным фланцем закрывались теплоизоляцией 4. Вариант на рис.2,б, отличается от схемы рис. 2,а тем, что в нем применяются две алюминиевые тепловые трубы (ТТ)  $\varnothing 8$  мм [3]. С помощью термостойкого теплопроводного клеевого соединения испарительные участки ТТ закреплялись в межреберных зазорах базовой теплоотдающей оребренной поверхности. Конденсационные участки ТТ оснащены поперечно-шайбовым оребрением, полученным способом накатки, в результате чего образуется идеальный тепловой контакт между ребрами и несущей стенкой ТТ. Поверхность конденсационных частей ТТ обдувается вторым вентилятором 1, закрепленным на их оребрениях.

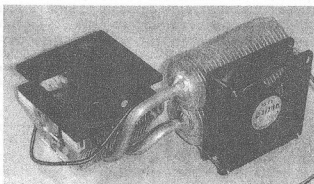


Рис 1. Охлаждающее устройство на двух тепловых трубах

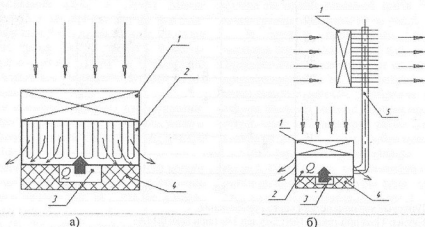


Рис.2. Схемы охлаждающих устройств:

- 1-вентилятор; 2-теплоотдающая поверхность;  
3-нагреватель; 4-теплоизолятор; 5-тепловые трубы

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

В исследованиях использованы две базовые алюминиевые теплоотводящие поверхности, контактирующие с CPU: серийная для кулера Titan и пластинчато-ребристая, разработанная в НТУУ "КПИ", с одинаковыми теплоотдающими площадями, равными 500 см<sup>2</sup> каждая. Площадь теплообмена оребренных конденсационных участков ТТ составила 1000 см<sup>2</sup>, а общая площадь теплоотдающих поверхностей кулера на ТТ достигала 1500 см<sup>2</sup>.

Измерения температурного поля на теплоотдающих поверхностях систем охлаждения (рис. 2, а, б) и температуры окружающего воздуха осуществлялась медь-константановыми термопарами диаметрами 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 измерялась термопарой, закрепленной в центре между плоскими поверхностями нагревателя и основания. Общее число термопар в эксперименте составило 10 шт. Показания термопар регистрировались автоматизированной многоканальной системой измерения температуры (АМСИТ), разработанной в НТУУ "КПИ", и

выводились на экран ПК[4]. Электронагреватель питался переменным током через стабилизаторы напряжения, а его мощность Q 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 электроннагревателем рассеивается оребренными поверхностями.

Максимальный перегрев (максимальная избыточная температура) системы охлаждения определяется, как  $\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_{\text{окр.ср.}}$ , где  $t_{\max}$  - максимальная температура в центре основания базовой теплоотдающей поверхности (приближенно моделирует температуру ядра процессора),  $t_{\text{окр.ср.}}$  - температура окружающего воздуха. Максимальное тепловое сопротивление системы охлаждения вычисляется из выражения  $R_{\max} = \Delta t_{\max} / Q$ , где Q - рассеиваемая (сбрасываемая) системой тепловая мощность. Относительная среднеквадратичная погрешность определения температурного напора для малых уровней рассеиваемых мощностей не превышала ±5%, а для больших уровней рассеиваемых мощностей ±2%.

Эксперименты проведены в диапазоне рассеиваемых мощностей Q=20...180 Вт и температур окружающего воздуха  $t_{\text{окр.ср.}} = 20...25^{\circ}\text{C}$ .

Сравнение тепловых эффективностей фирменных и разработанных систем охлаждения выполнено по результатам анализа графических зависимостей  $\Delta t_{\max} = f(Q)$ , представленных на рис. 3.

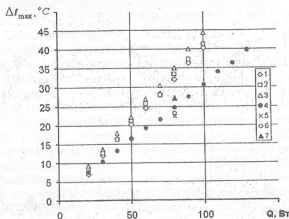


Рис. 3. Тепловые характеристики систем охлаждения:

- 1-кулер Titan при токе 0,16А; 2-кулер Titan при токе 0,11А;
- 3-кулер без ТТ НТУУ "КПИ" при токе 0,11А; 4-кулер на двух ТТ НТУУ "КПИ" при токе 0,11А;
- 5- Cooler Master Hyper6 (2 fans); 6-Cooler Master Hyper 6(3000RPM);
- 7- Cooler Master Hyper6(2000RPM)

Кривые 1 и 2 иллюстрируют тепловые характеристики кулеров Titan при токах на вентилятор 0,16А и 0,11А, что соответствует различным частотам вращения его крыльчатки, 3000 об/мин и 2000 об/мин. Лучшей тепловой эффективностью обладает кулер Titan при токе 0,16А (кривая 2), что связано с возрастанием скорости обдува теплоотдающей поверхности. Эффективность кулера без ТТ НТУУ «КПИ» (кривая 3) при токе питания вентилятора 0,11А ниже в среднем на 6% по сравнению с кулерами Titan, что соответствует верхнему положению кривой 3 по отношению к другим кривым.

Постепенное расхождение кривых 1, 2 и 3 наблюдается при росте теплосброса в диапазоне мощностей  $Q=50...100$  Вт. При небольших мощностях рассеивания  $Q=20...50$  Вт, как видно из графиков, сбрасываемые мощности сравниваемых кулеров КПИ без ТТ и Titan при фиксированных избыточных температурах практически одинаковы.

Лучшей тепловой эффективностью обладает кулер на тепловых трубах НТУУ «КПИ», что следует из самого нижнего размещения кривой 4 на поле графика. Так, для максимальной температуры перегрева  $\Delta t_{\max}=25^{\circ}\text{C}$  тепловая эффективность по сравнению с традиционными кулерами (без тепловых труб) увеличивается на 25...30%. В связи с отсутствием данных и невозможностью построить кривую  $\Delta t_{\max}=f(Q)$  на рис.3 для средней мощности процессоров  $Q=80$  Вт нанесены температуры перегрева, изображаемые точками 5, 6 и 7 зарубежных систем охлаждения Cooler Master Hyper6 (2 fans), Cooler Master Hyper6(3000RPM), Cooler Master Hyper6(2000RPM) [2]. При одинаковой мощности рассеивания перегрев Cooler Master Hyper6(2 fans), оснащенного двумя вентиляторами, ниже на  $1,5^{\circ}\text{C}$  (точка 5), чем у кулера на тепловых трубах НТУУ «КПИ». Характеристики кулера НТУУ «КПИ» и CMH6(3000 RPM) совпадают, а у кулера CMH6(2000 RPM) перегрев выше на  $3^{\circ}\text{C}$ .

Полные максимальные тепловые сопротивления для исследованных систем охлаждения в виде графических зависимостей  $R_{\max}=f(Q)$ , представлены на рис.4.

Как видно из рисунка, термические сопротивления традиционных кулеров в диапазоне рассеиваемых мощностей 20...100 Вт изменяются в небольшом интервале и составляют 0,4...0,45 К/Вт. Тепловые сопротивления кулеров на тепловых трубах в 1,3...1,5 раза ниже, чем у обычных моделей кулеров. При

мощностях рассеивания  $Q \geq 60$  Вт тепловое сопротивление кулера на ТТ НТУУ «КПИ» составляет 0,305К/Вт и с ростом мощности остается постоянным. При мощностях  $Q < 60$ Вт наблюдается постепенное увеличение сопротивления, связанное с недостаточно эффективной работой тепловых труб на низких мощностях.

Для уровня рассеивания 80 Вт на график рис.4 нанесены точки, соответствующие термическим сопротивлениям фирменных кулеров класса high-end: Cooler Master Hyper6 (2 fans), Cooler Master Hyper6(3000RPM) и Cooler Master Hyper6(2000RPM). Из рис.4 видно, что тепловые сопротивления лучших по теплосбросу охлаждающих устройств Cooler Master Hyper6 (2 fans) и Cooler Master Hyper6(3000RPM) равны соответственно 0,28 К/Вт и 0,29 К/Вт, которые при данной мощности рассеивания ниже на 5...9 %, чем сопротивление кулера без ТТ НТУУ «КПИ». Однако сопротивление кулера на ТТ НТУУ «КПИ» ниже на 11%, чем у Cooler Master Hyper6(2000RPM). Следует отметить, что на термическое сопротивление оказывают влияние не только теплоаэродинамические характеристики и способ теплоотвода, но и конструктивно-технологические решения, например, способ прижима к процессору и архитектура посадочного места кулера, зависящие в том числе и от типа платформы. В примерах приведены минимально достигаемые величины тепловых сопротивлений сравниваемых кулеров для платформы Socket 478, публикуемые в [2] (рис. 4). С целью упрощения технологии изготовления охлаждающего устройства и определения его тепловой эффективности разработан пилотный образец кулера на одной тепловой трубе. Общий вид такого кулера представлен на рис.5.

В кулере применяется алюминиевая тепловая труба с наружным диаметром 14 мм. Теплообменные поверхности испарительной и конденсационной частей представляют собой пластинчато-разрезные оребрения [5]. Масса кулера, площадь теплоотдающих поверхностей, обдувочные вентиляторы такие же, как и в кулере на двух тепловых трубах (рис. 1).

На рис. 6 представлены результаты исследований в виде зависимостей избыточной максимальной температуры ядра «процессора»  $\Delta t_{\max}$  от рассеиваемой мощности  $Q$ .

Лучшие характеристики показал кулер на одной тепловой трубе с двумя вентиляторами (точки В2). Несколько хуже кулер на двух тепловых трубах и с двумя вентиляторами

(точки В1). Так, при рассеиваемой мощности  $Q=120$  Вт перегрев кулера с двумя тепловыми трубами выше на 18%, чем у кулера с одной ТТ. Худшие тепловые характеристики у кулера с одной ТТ и одним вентилятором,

обдувающим теплоотводящую поверхность конденсационной части ТТ.

На рис. 7 экспериментальные данные представлены в виде функции  $R_{max}=f(Q)$ .

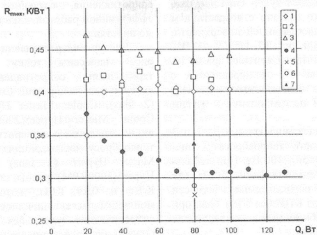


Рис.4. Максимальные тепловые сопротивления систем охлаждения (1-7-обозначения те же, что и на рис.3)

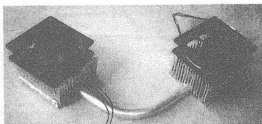


Рис 5. Охлаждающее устройство на одной тепловой трубе

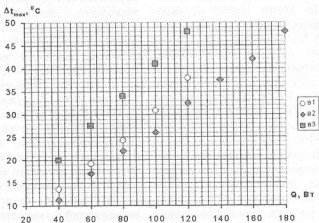


Рис. 6. Тепловые характеристики систем охлаждения:

- В1-кулер на двух ТТ НТУУ “КПИ” (рис.1) при токе 0,11А (с двумя вентиляторами);
- В2 - новая улучшенная конструкция кулера НТУУ “КПИ” на одной ТТ (рис. 5) при токе 0,11А (с двумя вентиляторами);
- В3 - новая улучшенная конструкция кулера на одной тепловой трубе при токе 0,11А (с одним вентилятором, расположенным на конденсационной части ТТ)

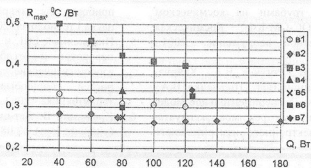


Рис. 7. Термічне опір кулерів:

B1-кулер на двох ТТ НТУУ "КПІ" (рис.1) при тоці 0,11А (с двома вентиляторами);

B2 - нова улічшена конструкція кулера НТУУ "КПІ" (рис.5) при тоці 0,11А (с двома вентиляторами);

B3 - нова улічшена конструкція кулера на одній теплової трубі при тоці 0,11А (с одним вентилятором, розташований на конденсаційній частині ТТ);

B4 - Cooler Master Hyper6 (2000RPM); B5 - Cooler Master Hyper6 (2 fans);

B6 - Thermaltake Silen Tower (2 fans); B7 - Titan Vanessa S-type (2600RPM)

Как видно из рисунка, кулер на одной ТТ имеет самое маленькое тепловое сопротивление, причем при мощности  $Q \geq 100$  Вт его значения стабилизируются и составляют 0,25К/Вт. На графиках нанесены значения сопротивления  $R_{max}$  лучших зарубежных кулеров при мощностях рассеивания  $Q=80$  Вт (точки B4, B5, B6) и 125 Вт (точки B6, B7) [2, 6]. Из сравнения данных следует, что лучшими показателями обладает кулер на одной ТТ. Такое улучшение объясняется применением сварного соединения между базовой поверхностью и испарительной частью ТТ, а также использованием интенсифицирующей формы оребрения на базовой поверхности в виде разрезки пластинчатых ребер и поворота на заданный угол образующихся при этом «елестков».

Таким образом, предлагаемая авторами конструкция кулера на одной ТТ характеризуется низкими и стабильными значениями термических сопротивлений 0,25...0,27°С/Вт в широком диапазоне сбрасываемых мощностей 80...180 Вт, обладает небольшой массой (до 500г), имеет возможность разномаршрутного размещения тепло-сбрасывающей поверхности конденсаційної частини теплової труби за счет ее изгибов в рабочем объеме системного блока. Предлагаемый кулер также предусматривает возможность дальнейшей модификации (более теплопроводные материалы в конструкции ТТ, развитие площади поверхности теплообмена, более эффективные вентиляторы и т.д.) и может быть использован для дополнительного охлаждения других узлов ПК (жестких дисков,

элементов системных плат и т.п.), либо компоноваться с вентилятором в вытяжном окне корпуса системного блока.

#### Выводы

Исследования показали, что одним из путей повышения эффективности отвода теплоты от элементов и устройств ПК может быть применение кулеров на тепловых трубах.

Дальнейшие исследования таких кулеров следует проводить в направлении разработки конкретных конструктивных решений систем охлаждения для теплонагруженных элементов ПК с учетом их габаритных и компоновочных характеристик, развития площадей интенсифицирующих теплоотдающих поверхностей для испарительной и конденсаційної частини тепловых труб, обеспечения надежного теплового контакта между поверхностью испарительной части теплової труби и основанием базовой теплоотдающей поверхности, выбора наиболее рациональной компоновки системы охлаждения в корпусе системного блока.

#### Литература

1. Макаров С. Процессорные кулеры: летнее изобилие// Компьютерное обозрение.- 2001.-№29.-С.16-31.
2. Крынцица В. Мультиплатформенные кулеры Cooler Master Hyper6, Gigabyte 3D Cooler-Ultra и Thermaltake Silen Tower (vit@ixbt.com). 22.09.2004г.
3. Рассамкин Б.М., Тарасов Г.В., Хайрашов С.М., Рассамкин А.Б., Дьяченко Э.Н. Моделирование и анализ результатов наземных и летных испытаний сотовпанели

- с тепловыми трубами на космическом аппарате АУОС-СМ-КФ// Космическая техника. Ракетное вооружение.- 2004.- С.364-376.
4. Рассамакин Б.М., Рогачев В.А., Хайрнатов С.М., Хоминич В.И., Шевченко В.А., Федоренко С.К. Экспериментальное моделирование тепловых режимов эксплуатации оптико-электронного измерительного прибора для микроспутника// Космічна наука і технологія.-2003.-9, №4. - С.34-39.
5. Письменный Е.Н. и др. Влияние разрезки, поворотов и отгибки ребер на теплоаэродинамические характеристики поверхностей теплообмена// Промышленная теплотехника.- 2003.-т.25, №1, С.10-16.
6. Крыницин В. Летние новинки GlacialTech ([vit@ixbt.com](mailto:vit@ixbt.com)). 02.08.2005г.
- 
- 
- 
-