

Д. ф.-м. н. Л. А. БУЛАВИН, к. ф.-м. н. О. Ю. АКТАН,
Т. Ю. НИКОЛАЕНКО, к. т. н. Ю. Е. НИКОЛАЕНКО

Украина, Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко
E-mail: tim_mail@ukr.net, Nikol@industry.gov.ua

Дата поступления в редакцию
11.07 2006 г.

Оппонент д. т. н. В. Т. ДЕЙНЕГА
(НИИ "Шторм", г. Одесса)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ РАДИАТОРА КУЛЕРА

Показано, что перепад температуры по высоте ребра радиатора серийного кулера может достигать 35°C. Для повышения теплорассеивающей способности ребер предлагается их концы соединять с основанием с помощью тепловой трубы.

При конструировании современных и перспективных мощных ЭВМ, персональных ЭВМ и других средств электронно-вычислительной техники и управления широко применяются высокопроизводительные микропроцессоры, содержащие большое количество транзисторов. Например, микропроцессоры седьмого поколения Pentium-IV фирмы Intel содержат 42 млн. транзисторов на кристалле и обеспечивают тактовую частоту 1,4—2,2 ГГц [1, с. 30]. Чем больше транзисторов содержит микропроцессор и чем выше его тактовая частота, тем больше потребляемая им мощность. Известны микропроцессоры с потребляемой мощностью 72—150 Вт [2]. Основным фактором, сдерживающим дальнейший рост тактовой частоты и количества транзисторов на кристалле, является нагрев активной области микропроцессора, обусловленный высокой плотностью тепловыделения в кристалле [1, 3].

Для обеспечения нормального теплового режима микропроцессоров используются различные системы: с естественным воздушным охлаждением на основе радиаторов, с активным воздушным охлаждением на основе вентиляторов и радиаторов, с жидкостным охлаждением, термоэлектрические системы на основе элементов Пельтье и криогенные системы [4].

Наиболее распространенными остаются системы охлаждения, в которых использованы ребристые радиаторы, обдуваемые размещенным сверху [4] или внутри них [5] вентилятором, так называемые кулеры. В большинстве случаев ребра радиатора выполняются в виде тонких пластин. Для увеличения теплорассеивающей поверхности радиатора увеличивают высоту ребер, а для интенсификации теплоотвода используют два вентилятора. Однако увеличение высоты ребер может быть эффективно лишь до некоторой величины вследствие термического сопротивления материала ребер, а использование двух вентиляторов нежелательно из-за высокого уровня шума.

Целью данных исследований являлось экспериментальное определение температуры основания ра-

диатора и распределения температуры по высоте ребер серийно выпускаемого одновентиляторного кулера, а также поиск новых технических решений, направленных на повышение эффективности охлаждения.

Экспериментальная установка включала рабочий участок, систему электропитания и систему измерения электрических и тепловых параметров. Основным элементом рабочего участка служил одновентиляторный кулер фирмы Thermaltake с установленным на его основании тепловым имитатором микропроцессора. Верхние концы ребер радиатора заливались расплавленным припоем ПОС 61 на глубину 6—7 мм (рис. 1). В образованном таким образом металлическом кольце были выполнены три углубления для установки и зачеканки термопар. Высота кулера — 80 мм, диаметр радиатора — 64 мм, количество ребер — 60, размеры ребра — 70×8×1 мм, материал — алюминий. Диаметр крыльчатки вентилятора — 43 мм, высота — 25 мм, количество лопастей — 11, частота вращения — 5500 мин⁻¹, объемный расход воздуха — 0,654 м³/мин (23,1 CFM).

Тепловой имитатор микропроцессора представлял собой мощный резистор на основе алмазоподобной пленки, нанесенной на керамическую пластину размерами 17×15×1 мм. Он устанавливался в центре контактной площадки основания размерами 50×50 мм через слой пасты КПП-8 (рис. 2). Зона теплоотвода тщательно теплоизолировалась слоями асбеста и базальтового волокна.



Рис. 1. Внешний вид кулера с металлическим кольцом на концах ребер

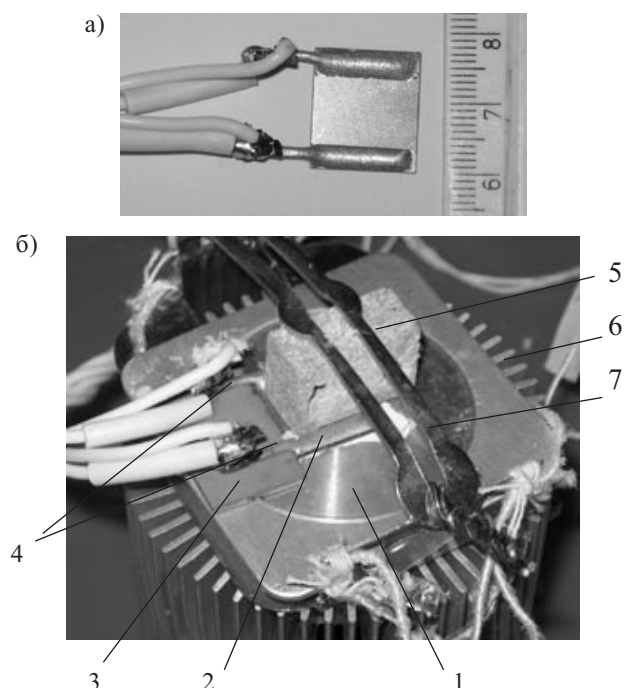


Рис. 2. Общий вид теплового имитатора микропроцессора (а) и его установка на основании радиатора (б): 1 — площадка основания под установку микропроцессора; 2 — тепловой имитатор; 3 — электроизоляционная керамическая пластина; 4 — электрические выводы теплового имитатора; 5 — теплоэлектроизоляционная прокладка; 6 — ребро радиатора; 7 — прижимная скоба

Система электропитания обеспечивала подачу постоянного тока на тепловой имитатор микропроцессора и регулирование его напряжения. Определялись значения тока и напряжения на тепловом имитаторе, а также значения температуры в контрольных точках основания радиатора и его ребер.

Для измерения температуры использовалось восемь хромель-алюмелевых термопар. Две термопары были установлены в основании радиатора под местом установки теплового имитатора и по две термопары — посередине и на концах трех ребер, расположенных по окружности кулера через 90°.

Измерения температурного поля радиатора проводились в условиях принудительного и естественного воздушного охлаждения при различной ориентации кулера. Температура окружающего воздуха в процессе эксперимента колебалась в пределах 21—23°C.

На рис. 3 приведены полученные зависимости максимального значения температуры основания радиатора t_{\max} от величины подводимого теплового потока P , которые, как видно из рисунка, имеют линейный характер.

Из рис. 3, а видно, что при принудительном воздушном охлаждении теплорассеивающая способность радиатора достаточно высока во всем рассмотренном диапазоне P . Так, температура основания радиатора при P порядка 100 Вт не превышала 66°C в случае вертикальной ориентации кулера, а в случае горизонтальной — 60°C.

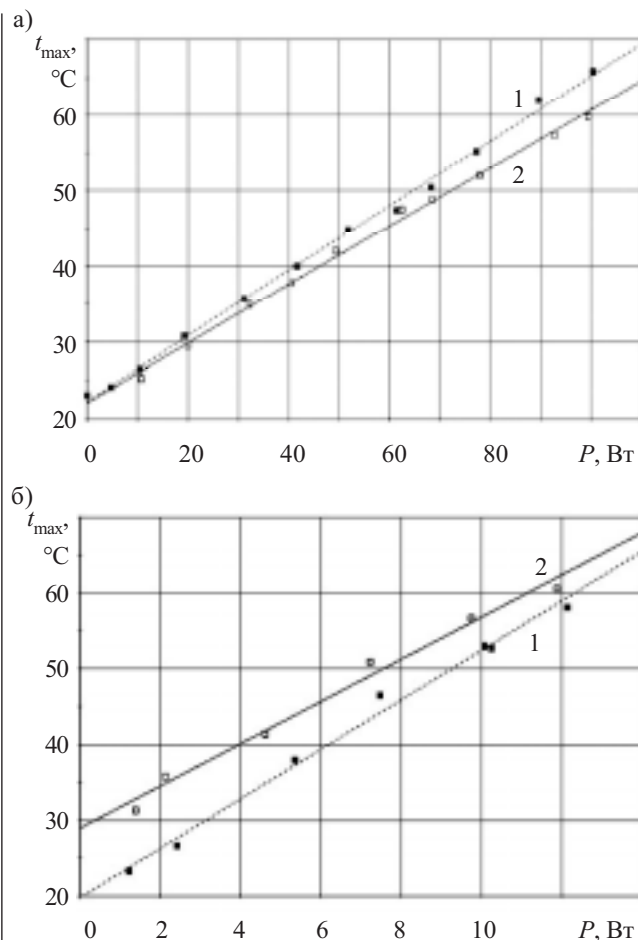


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры основания радиатора t_{\max} от мощности теплового имитатора P при вертикальной (1) и горизонтальной (2) ориентации кулера:

а — режим с включенным вентилятором; б — с выключенным вентилятором

Как видно из рис. 3, б, теплорассеивающая способность радиатора при естественной конвекции воздуха намного ниже — при P порядка 12 Вт температура основания радиатора была около 60°C.

На рис. 4 приведено распределение температуры по высоте H одного из ребер радиатора в различных режимах работы. Здесь видно, что при всех режимах, за исключением режима естественной конвекции при вертикальной ориентации кулера (рис. 4, в), температура по высоте ребра изменяется достаточно неравномерно.

Как видно из рис. 5, для основного режима работы кулера, т. е. с включенным вентилятором, перепад температуры по высоте ребра (Δt_p) линейно зависит от величины подводимого теплового потока и при значении P около 100 Вт достигает 30—35°C. Причем при вертикальной ориентации кулера значения Δt_p несколько выше, чем при горизонтальной.

Отметим, что при горизонтальном расположении кулера из трех исследованных ребер самую высокую температуру имело ребро 2 (см. вставку на рис. 5, б). Вследствие этого перепад температуры вдоль ребра 2 был ниже, чем вдоль ребер 1 и 3, а разница достигала 6°C.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ

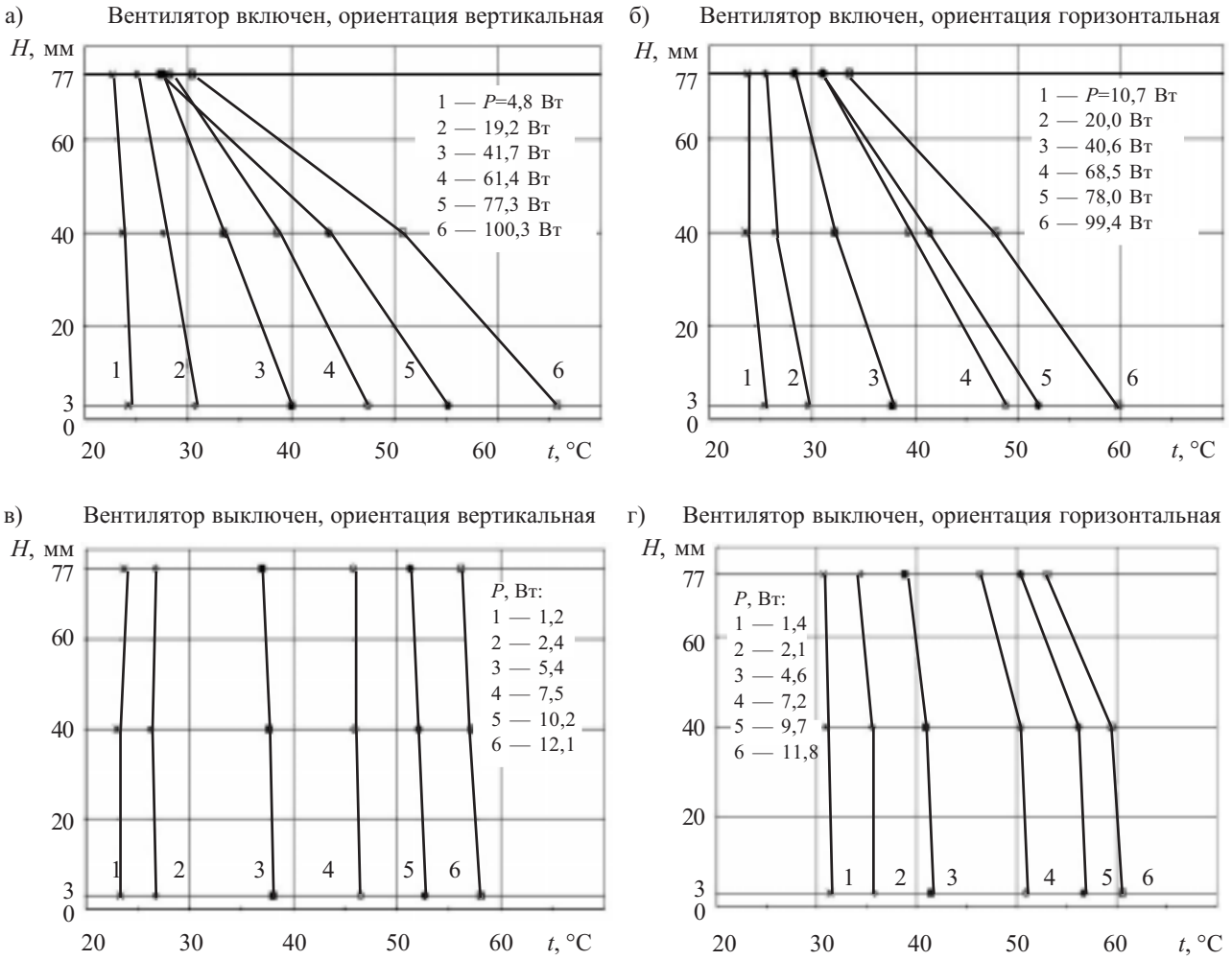


Рис. 4. Распределение температуры по высоте ребра радиатора в различных режимах работы кулера

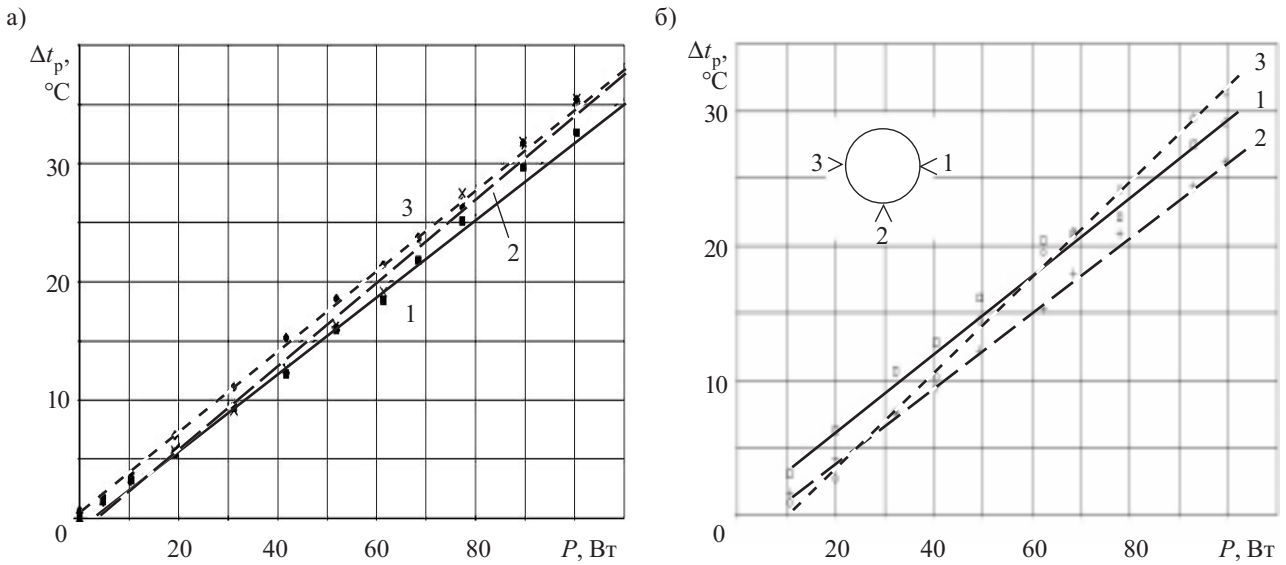


Рис. 5. Зависимость перепада температуры по высоте ребер 1, 2, 3 радиатора от тепловой мощности в режиме с включенным вентилятором:

а — вертикальная ориентация кулера; б — горизонтальная (на вставке — расположение ребер)

Полученные результаты указывают на необходимость поиска новых конструктивно-технологических решений, направленных на повышение эффективности использования площади ребер радиатора.

Одним из таких решений может быть конструктивная схема (рис. 6), предложенная в [6]. Она основана на использовании одной или нескольких тепловых труб, которые соединяют "холодные" концы ребер с основанием радиатора. Это позволяет более равномерно распределить температуру по высоте ребер и дополнительно отвести тепло от основания радиатора.

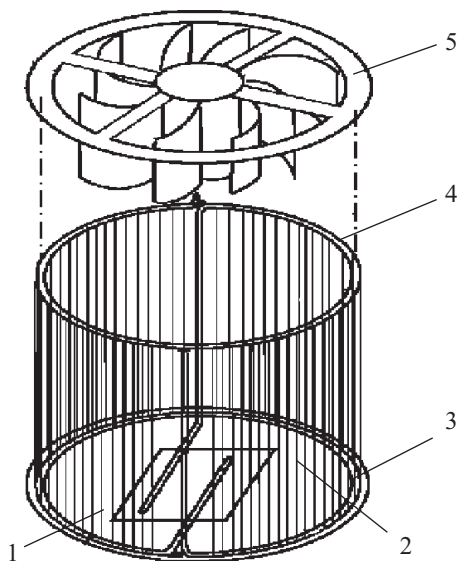


Рис. 6. Конструктивная схема кулера с тепловыми трубами: 1 — основание радиатора; 2 — ребро; 3, 4 — тепловые трубы; 5 — вентилятор

Предлагаемый кулер содержит радиатор из теплопроводного материала с основанием 1 для установки микропроцессора (рекомендованная для установки область обозначена прямоугольником). Ребра 2 радиатора могут быть выполнены в виде пластин, отрезков проволоки [7] или в виде их комбинации. Концы ребер сверху и у основания скреплены несущими элементами в виде тепловых труб 3 и 4, которые припаяны к основанию 1. (В случае использования одной тепловой трубы соединяются верхние концы ребер.) Сверху радиатора на верхнем несущем элементе 4 установлен вентилятор 5.

В других вариантах исполнения может быть несколько рядов радиаторных ребер, закрепленных несколькими несущими элементами. Нижний несущий элемент, который одновременно является основанием радиатора кулера, может быть выполнен в виде кольца или пластины из сплошного теплопроводного материала.

Принцип работы предложенного кулера заключается в следующем. Тепловая мощность, выделяемая в микропроцессоре, передается основанию, от него

— испарительным зонам тепловых труб и далее — по тепловым трубам к верхним концам ребер. Благодаря высокоэффективному замкнутому испарительно-конденсационному циклу теплоносителя в тепловых трубах [8] теплота с минимальными потерями передается от основания к нижним и верхним концам ребер, нагревая их до температуры, близкой к температуре основания.

Очевидно, что эффективность предложенного устройства будет выше, чем эффективность кулера без тепловых труб. Следовательно, при одинаковых габаритных размерах серийного кулера и кулера предложенной конструкции последний будет обеспечивать более низкую температуру микропроцессора и, соответственно, более надежную его работу. При поддержании же заданной температуры применение тепловых труб позволяет уменьшить габаритные размеры системы охлаждения.

Таким образом, исследования показали, что величина максимального перепада температуры по высоте ребра радиатора серийного кулера линейно зависит от величины подводимого теплового потока. Наибольшей величины этот перепад достигал в режиме принудительного воздушного охлаждения при вертикальной ориентации кулера — при $P=100,3$ Вт $\Delta t_p=35^\circ\text{C}$.

Для повышения эффективности кулеров для микропроцессорных устройств предлагается соединять основание радиатора с верхними ("холодными") концами ребер при помощи тепловых труб. Это позволяет дополнительно отвести тепло от основания радиатора и достичь более равномерного распределения температуры вдоль ребер.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бучма І. М. Мікропроцесорні пристрої.— Львів: НУ "Львівська політехніка", 2005.
2. Слепов Н. Новый процессор CUN ULTRASPAC T1 и серверы на его основе // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. — 2006. — № 2. — С. 48—49.
3. Золотарев С., Рыбаков А. Многоядерные компьютерные системы: от игровых приставок до серверов и суперкомпьютеров // Электронные компоненты. — 2006. — № 3. — С. 98—100.
4. Макаров С. Процессорные кулеры: летнее изобилие // Компьютерное обозрение.— 2001.— № 29. — С. 16—22.
5. Гарматюк С. Thermaltake Orb's: кулеры "от кутюр" // Компьютерное обозрение. — 2001. — № 7. — С. 36—38.
6. Пат. Украины 6152. Пристрій для охолодження / Ю. Є. Ніколаєнко, Т. Ю. Ніколаєнко. — 2005. — Бюл. № 4.
7. Хольвинская Л. М., Николаенко Т. Ю., Николаенко Ю. Е. Исследование эффективности проволочного радиатора новой конструкции // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2003. — №5. — С. 28—32.
8. Семена М. Г., Гершуни А. Н., Зарипов В. К. Тепловые трубы с металловолоконными капиллярными структурами. М.: Высшая школа, 1984.