

Д. т. н. Е. Н. ПИСЬМЕННЫЙ, к. т. н. В. А. РОГАЧЕВ,  
А. В. БАРАНЮК, Е. В. ЦВЯЩЕНКО

Украина, г. Киев, НТУУ «Киевский политехнический институт»  
E-mail: kravetz\_kpi@ukr.net

Дата поступления в редакцию  
15.04 2005 г.

Оппонент к. т. н. А. О. КОСТИКОВ  
(Ин-т проблем машиностроения  
им. А. Н. Подгорного, г. Харьков)

## ТЕПЛОТВОДЯЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ С ПЛАСТИНЧАТО-ПРОСЕЧНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ ПРИ НИЗКОСКОРОСТНОМ ОБДУВЕ

*Приведены результаты экспериментального исследования и сравнительный анализ тепловой эффективности поверхностей в зависимости от их геометрических характеристик и направления обдува.*

Стремительные темпы развития электронно-вычислительной техники выдвигают на первое место вопросы обеспечения надежной ее работы. Конкурирующие между собой фирмы — производители микропроцессоров стремятся увеличить частоту ядра процессора, внутренний и внешний кэш и т. д. за счет увеличения плотности компоновки полупроводниковых элементов в кристалле микрочипов, что приводит к росту удельной тепловой мощности рассеяния. При этом увеличивается перегрев теплонагруженных элементов, ухудшается тепловой режим работы системы в целом.

В настоящее время широко применяются системы воздушного охлаждения микропроцессоров “кулерного” типа, сочетающие оребренную теплоотдающую поверхность и малогабаритный осевой вентилятор [1, 2]. При этом тепловая эффективность такой системы, как правило, определяется тепловой эффективностью оребренной поверхности [3].

В настоящей статье приведены результаты исследования системы охлаждения кулерного типа, содержащей новую высокоэффективную теплоотдающую поверхность с пластинчато-просечными ребрами (рис. 1).

Исследование тепловых режимов выполнено для паяных медных оребренных поверхностей при различных направлениях обдува ребер низконапорным осевым вентилятором (рис. 2). Основные геометрические характеристики теплоотдающих поверхностей приведены в таблице. Поверхности №№ 1—7 имеют различные значения относительной глубины просечки ребер  $h_p/h$  и угла поворота  $\varphi$  разрезанных частей ребер (“лепестков”) относительно набегающего потока.

Поверхность № 8 представляет собой обычную пластинчато-ребристую поверхность, служащую базовой для сравнения тепловых характеристик.

Для обдува использован вентилятор BS601012H фирмы Vi-Sonic Technology с габаритными размерами  $60 \times 60 \times 10$  мм и частотой вращения крыльчатки  $4500 \text{ мин}^{-1}$ , который закреплялся через теплоизолирующую прокладку непосредственно на оребрении.

Эксперименты выполнены в диапазоне рассеиваемой мощности  $Q=15...65$  Вт и температуры окружающей среды  $t_c=20...23^\circ\text{C}$ . Подвод теплоты к оребренной поверхности осуществлялся с помощью плотно прижатого к основанию тканого резистивного нагревателя, размеры которого совпадают с габаритными размерами основания. Толщина основания поверхностей  $\delta$  составляла 6 мм.

Измерение температурного поля основания осуществлялось медь-константановыми термопарами с диаметром проводов 0,08 мм, равномерно распределенными и зачеканенными в глухие отверстия на по-

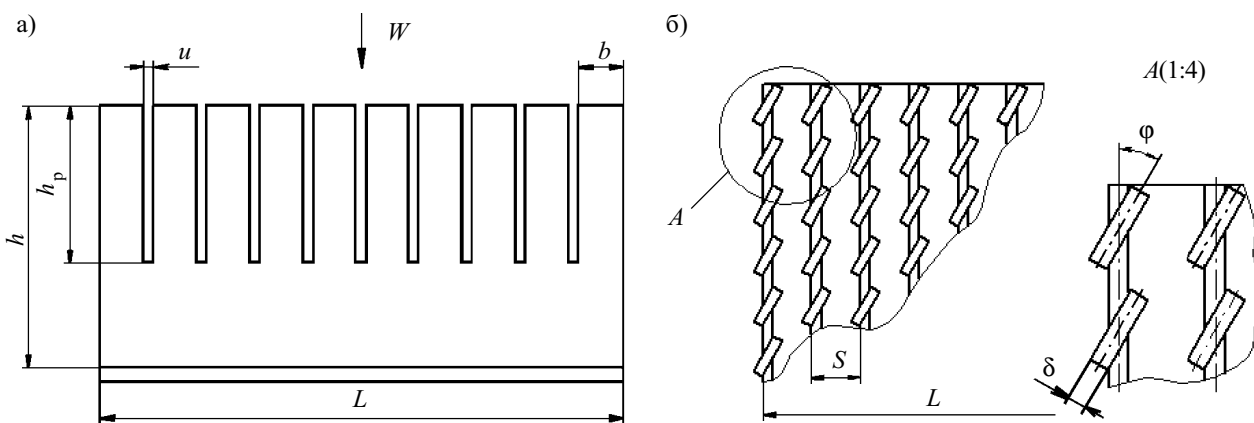


Рис. 1. Конструкция пластинчато-просечного ребра:  
а — вид сбоку; б — вид сверху

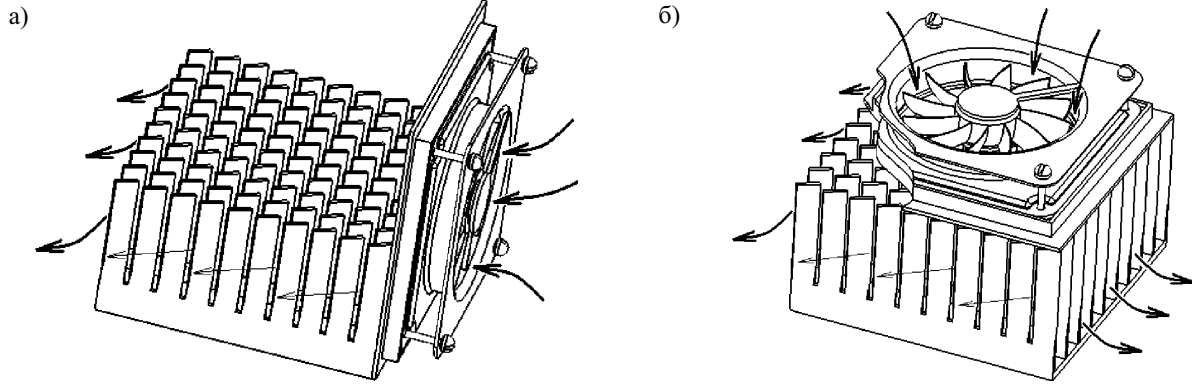


Рис. 2. Схема охлаждения с боковым (а) и верхним (б) расположением вентилятора

верхности основания. Показания термопар регистрировались цифровым многоканальным измерительным преобразователем типа Ш711/1 с выводом на цифропечатающее устройство. Питание электронагревателя осуществлялось переменным током через стабилизатор напряжения, а его мощность контролировалась ваттметром типа Д 529 класса точности 0,5. Температура окружающей среды измерялась лабораторным ртутным термометром с ценой деления шкалы 0,1 °С.

*Геометрические характеристики исследованных поверхностей*

Параметр	Номер поверхности							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$L \times L$ , мм	70×70							
$h$ , мм	35							
$S$ , мм	6,9							
$\delta$ , мм	1,4							
$h_p$ , мм	14	21	28	21	28	21	28	—
$u$ , мм	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	—
$b$ , мм	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	—
$z$	11							
$z_p$	10	10	10	10	10	10	10	—
$\varphi$ , °	0	0	0	30	30	45	45	—
$h_p/h$	0,4	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	—
$F$ , мм <sup>2</sup>	60332							

Здесь  $L$  — линейный размер основания;  $h$  — высота ребра;  $S$  — шаг между ребрами;  $\delta$  — толщина ребра;  $h_p$  — глубина просечки ребра;  $u$  — ширина разрезки;  $b$  — ширина лепестка;  $z$  — количество ребер;  $z_p$  — количество лепестков;  $F$  — площадь теплоотдающей поверхности.

Средняя температура поверхности основания  $t_{осн}$  рассчитывалась путем усреднения значений температуры  $t_i$ , измеренных на участках площадью  $F_i$  по всей поверхности основания:

$$t_{осн} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1)$$

Средний перегрев (температурный напор) основания вычислялся по соотношению

$$\Delta t = t_{осн} - t_c \quad (2)$$

Рассеиваемая теплота  $Q$  определялась как разность между электрической мощностью, подведенной к нагревателю, и тепловыми потерями (путем теплопроводности) через стенку теплоизолирующей подставки, на которой крепилась исследуемая поверхность.

По результатам экспериментов установлено, что тепловые потери в диапазоне изменения режимных параметров составляли 3...7% от подведенной мощности. Потери теплоты по термоэлектродным проводам оценивались как пренебрежимо малые и при обработке экспериментальных данных не учитывались. Максимальная относительная среднеквадратичная погрешность определения температурного напора  $\Delta t$  для рассматриваемых уровней рассеиваемой мощности не превышала 5%.

Тепловые характеристики исследованных поверхностей при верхнем и боковом обдуве воздухом представлены в виде зависимостей  $\Delta t = f(Q)$  на рис. 3. Из анализа экспериментальных данных следует, что наиболее эффективны поверхности № 4 и № 5, у которых  $\varphi = 30^\circ$ .

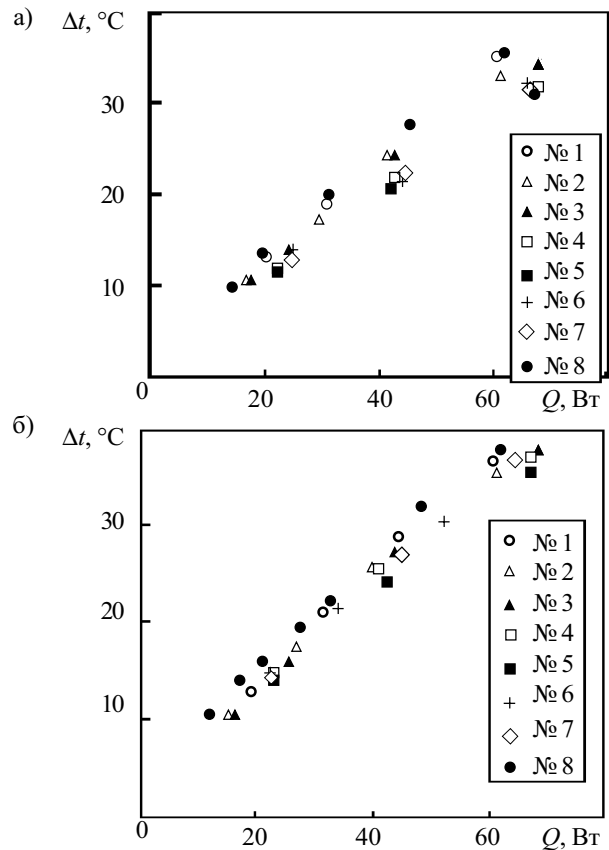


Рис. 3. Тепловые характеристики поверхностей при верхнем (а) и боковом (б) обдуве

Поверхности №№ 1—3, где поворот лепестков отсутствует ( $\varphi=0^\circ$ ), имеют тепловую эффективность в среднем на 20—25% ниже, чем поверхности №№ 4—7. Это объясняется наличием поперечной составляющей скорости омывания лепестков, повернутых относительно набегающего потока в поверхностях №№ 4—7, т. к. при поперечном омывании пластины интенсивность теплообмена выше, чем при продольном.

При незначительных мощностях рассеяния ( $Q < 20$  Вт) и температурах перегрева ( $\Delta t < 12^\circ\text{C}$ ) в границах экспериментальных погрешностей наблюдается сближение значений тепловой эффективности всех исследуемых поверхностей независимо от геометрических характеристик и формы оребрения.

При боковом обдуве наблюдается меньшее расхождение массива данных по сравнению с верхним обдувом, но самую лучшую тепловую эффективность в обоих случаях сохраняют поверхности № 4 и № 5.

Из анализа экспериментальных данных следует, что независимо от конструктивно-геометрических характеристик оребрения верхний обдув поверхностей на 20—30% эффективнее, чем боковой.

По-видимому, при верхнем подводе охлаждающего воздуха обеспечивается интенсивный теплообмен (за счет небольшой толщины пограничного слоя на ребрах и основании) и турбулизация потока. При боковом направлении обдува происходит продольное омывание ребер и основания с постепенным нарастанием пограничного слоя на них. Это приводит к ухудшению теплообмена поверхностью в целом несмотря на существование отрывных течений на лепестках ребер, интенсифицирующих теплообмен.

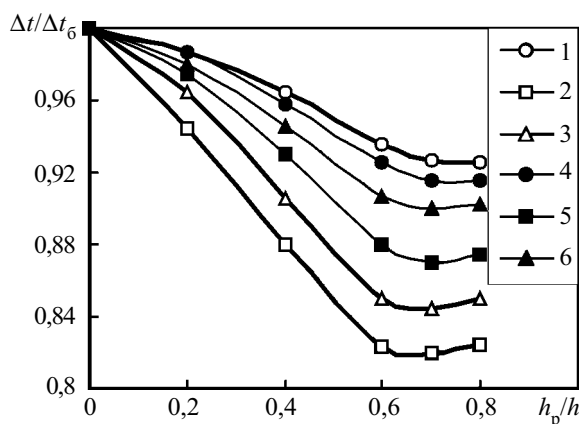


Рис. 4. Влияние глубины резетки  $h_p/h$  на относительный перегрев  $\Delta t/\Delta t_6$  при различных значениях  $\varphi$  верхний обдув: 1 —  $0^\circ$ ; 2 —  $30^\circ$ ; 3 —  $45^\circ$ ; боковой обдув: 4 —  $0^\circ$ ; 5 —  $30^\circ$ ; 6 —  $45^\circ$

С целью выявления влияния основных геометрических характеристик ребер на тепловую эффективность и установления их оптимальных значений экспериментальные данные обобщены и приведены на рис. 4 и 5 в виде графических зависимостей  $\Delta t/\Delta t_6 = f(h_p/h; \varphi)$  при  $Q=60$  Вт, ( $\Delta t_6$  — температура перегрева базовой поверхности № 8).

Приведенные на рис. 4 экспериментальные кривые носят экстремальный характер и с ростом параметра  $h_p/h$  расслаиваются. Из рисунка видно, что оптимальная относительная глубина просечки ребер находится в диапазоне 0,6—0,7 и не зависит от направления обдува и угла поворота лепестков  $\varphi$ .

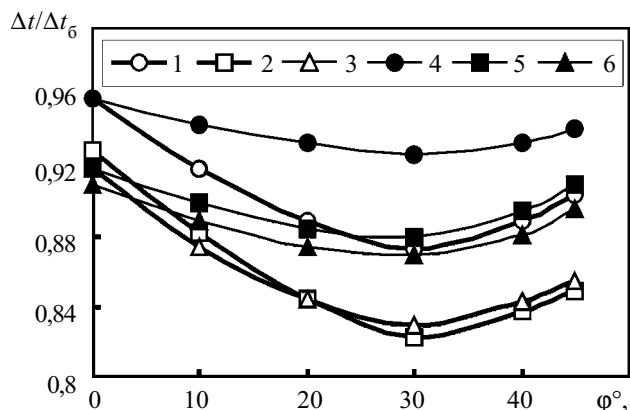


Рис. 5. Влияние угла поворота лепестков  $\varphi$  на относительный перегрев  $\Delta t/\Delta t_6$  при различных значениях  $h_p/h$  верхний обдув: 1 —  $h_p/h=0,4$ ; 2 —  $0,6$ ; 3 —  $0,8$ ; боковой обдув: 4 —  $h_p/h=0,4$ ; 5 —  $0,6$ ; 6 —  $0,8$

Наименьшие значения относительной температуры перегрева наблюдаются у поверхностей с  $\varphi=30^\circ$ , т. е. №№ 4, 5 при верхнем обдуве (кривая 2). Независимо от направления обдува у поверхностей №№ 1—3 с  $\varphi=0^\circ$  (кривые 1, 4) относительная температура перегрева самая высокая, т. е. их абсолютная температура близка к температуре базовой поверхности № 8.

Для всех приведенных на рис. 5 зависимостей  $\Delta t/\Delta t_6 = f(\varphi)$  экстремум соответствует углу  $\varphi=30^\circ$ . Наименьшую относительную температуру перегрева имеет поверхность № 4 с  $h_p/h=0,6$  при верхнем обдуве (кривая 2). Самый большой относительный перегрев наблюдается для поверхности с  $h_p/h=0,4$  при боковом обдуве (кривая 4). С увеличением угла поворота лепестков ( $\varphi > 30^\circ$ ) независимо от направления обдува и глубины просечки ребер тепловые показатели поверхностей ухудшаются и их температура перегрева повышается.

\*\*\*

Таким образом, применение просечки ребер на относительную глубину  $h_p/h=0,6...0,7$  с поворотом лепестков на угол  $\varphi=30^\circ$  приводит к повышению тепловой эффективности на 30—35% по сравнению с традиционной пластинчато-ребристой поверхностью. Исследования также показали, что верхний обдув поверхностей более эффективен, чем боковой.

Использование малогабаритных теплоотводящих поверхностей с предлагаемым просечным оребрением в системах низкоскоростного струйного обдува для различных теплонагруженных устройств может на 20—25% снизить их температуру перегрева.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Макаров С. Процессорные кулеры: летнее изобилие // Компьютерное обозрение.— 2001.— № 29.— С. 16—31.
2. Потапов М. Процессорные кулеры: не дай компьютеру “замерзнуть” // Домашний ПК.— 2002.— № 7.— С. 25—31.
3. Письменный Е. Н., Бурлей В. Д., Терех А. М. и др. Влияние резетки, поворотов и отгибки ребер на теплоаэродинамические характеристики поверхностей теплообмена // Пром. теплотехника.— 2003.— Т. 25, № 1.— С. 10—16.