

Письменный Е.Н.¹, Бурлей В.Д.¹, Рогачев В.А.¹, Баранюк А.В.¹, Терех А.М.¹,
Полупан Г.П.², Карвахал М.И.², Сильва Ф.С.²

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический университет», Украина (1)
Национальный политехнический институт Мехико, Мексика (2)

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ С ПЛАСТИНЧАТО-ПРОСЕЧНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты экспериментального исследования новых теплоотдающих поверхностей с пластинчато-разрезным оребрением в условиях низкоскоростного воздушного обдува. Выполнен сравнительный анализ тепловой эффективности оребренных поверхностей в зависимости от их геометрических характеристик и направлений обдува.

1. ВВЕДЕНИЕ

Стремительные темпы развития электронно-вычислительной техники ставят 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 удельных тепловых мощностей рассеивания. При этом увеличиваются перегревы теплонагруженных элементов, ухудшается нормальный 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 максимальное охлаждение, обеспечиваемое с помощью такой системы, как правило, определяется тепловой эффективностью, т.е. способностью оребренной поверхности сбросить максимальную теплоту [3].

В НТУУ «КПИ» разработана и исследована система охлаждения кулерного типа, содержащая новую высокоэффективную теплоотдающую поверхность с пластинчато-просечными ребрами.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование тепловых режимов выполнено для паянных медных оребренных поверхностей (рис.1) при различных направлениях обдува ребер осевым вентилятором (рис.2 а,б). Основные

геометрические характеристики теплоотводящих поверхностей приведены в таблице. Поверхности отличаются друг от друга глубиной разрезки $h_p/h = 0,4, 0,6, 0,8$ и углом поворота разрезанных частей ребер $\varphi = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ №1-3 (см. таблицу). Поверхность № 8 представляет собой обычную пластинчато-ребристую поверхность, служащую базовой (эталонной) для сравнения с тепловыми характеристиками поверхностей №1-7 с пластинчато-разрезным оребрением. Для их обдува использован стандартный вентилятор BS601012H фирмы Bi-Sonic Technology с габаритными размерами 60x60x10 мм и частотой вращения крыльчатки 4500 оборотов/мин.

Таблица. Геометрические характеристики исследованных пластинчато-разрезных поверхностей.

Параметр	Номер поверхности							
	1	2	3	4	5	6	7	8
LxL, мм	70x70							
h, мм	35							
s, мм	6.9							
δ, мм	1.4							
h _p , мм	14	21	28	21	28	21	28	-
u, мм	1.4							
b, мм	5.7							
z	11							
z _p	10							
φ, град	0	0	0	30	30	45	45	-
F, мм ²	60332							

Закрепленный через теплоизолирующую прокладку непосредственно на оребрении, вентилятор осуществлял верхний (рис. 2, а) и боковой (рис. 2, б) подводы к ребрам и основанию охлаждающего воздуха с постоянным расходом. Эксперименты выполнены в диапазонах рассеиваемых мощностей $Q=15...65$ Вт и температур окружающей среды $t_c = 20...23$ °С. Подвод теплоты к оребренной поверхности осуществляется с помощью плотно прижатого к основанию тканого резистивного нагревателя, размеры которого совпадают с габаритными размерами основания. Толщина основания поверхностей составляла 6 мм.

Измерение температурного поля основания при различных уровнях тепловых мощностей, осуществлялось медь-константановыми термопарами диаметром проводов 0.08 мм, равномерно распределенными и зачеканенными в глухие отверстия на поверхности основания. Показания термопар регистрировались цифровым многоканальным измерительным преобразователем 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 t_c измерялась лабораторным ртутным термометром с ценой деления шкалы 0.1 °С. Средняя температура поверхности основания t_{OCH} °С рассчитывалась путем усреднения данных температурных измерений по поверхности основания с помощью соотношения:

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

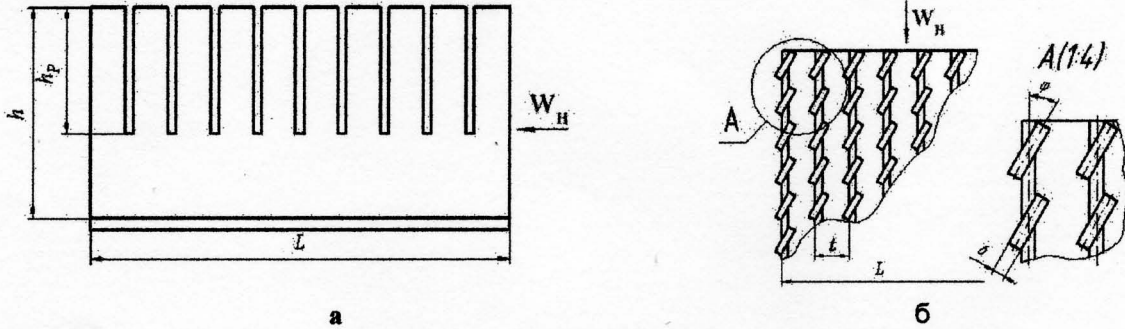


Рисунок 1 Конструкция пластинчато-просечного ребра: а – вид сбоку; б – вид сверху

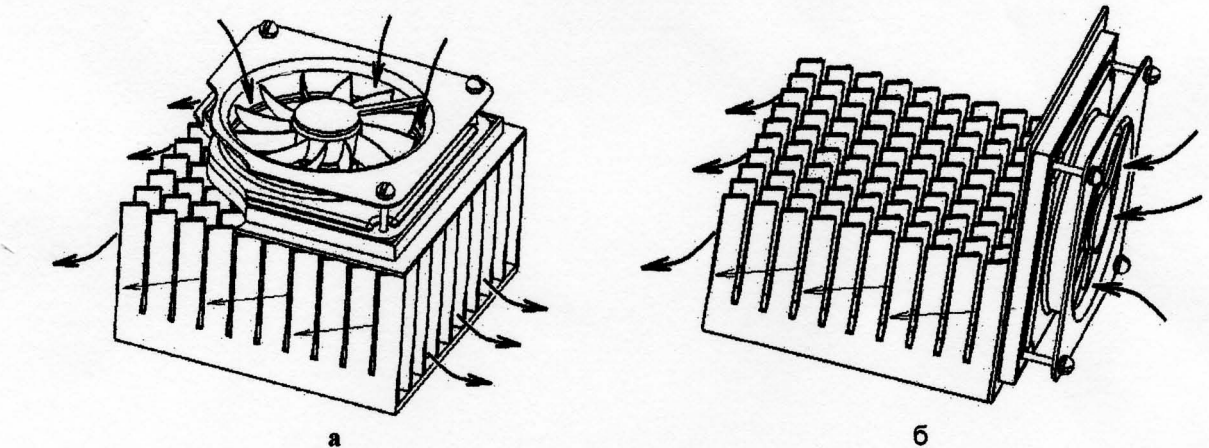


Рисунок 2 Обдув исследуемой поверхности:

а – верхнее расположение вентилятора; б – боковое расположение вентилятора,

Средний перегрев (температурный напор) основания вычислялся по соотношению:

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

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. Максимальные относительные среднеквадратичные погрешности определения температурного напора Δt для небольших уровней рассеиваемых тепловых мощностей не превышали 5%.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Тепловые характеристики исследованных поверхностей при верхнем и боковом обдувах воздухом представлены в виде графических зависимостей $\Delta t = f(Q)$. На рисунке 3 показаны зависимости $\Delta t = f(Q)$ при верхнем обдуве поверхностей. Из анализа экспериментальных

данных следует, что высокой тепловой эффективностью обладают поверхности № 4 и № 5 в которых угол поворота лепестков составляет $\varphi = 30^\circ$, а глубина просечки, соответственно, $h = 21$ мм и $h = 28$ мм.

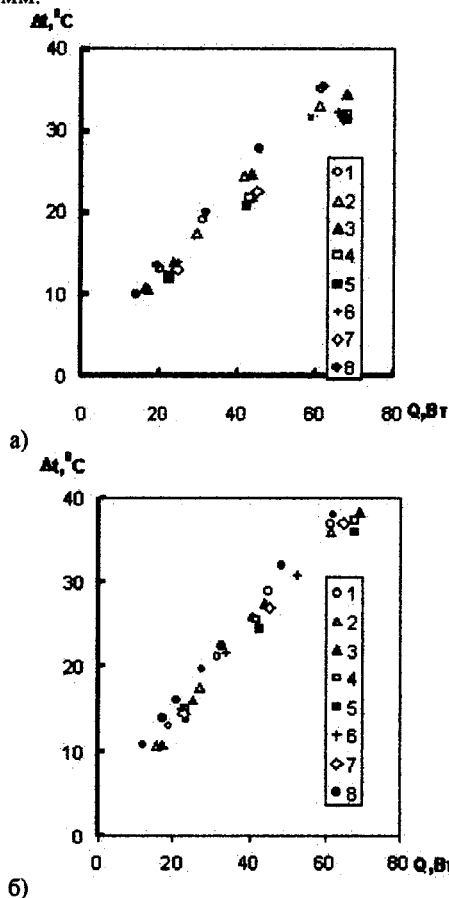


Рисунок 3 График зависимостей $\Delta t = f(Q)$ при различных направлениях обдува
а – верхнее расположение вентилятора, б – боковое расположение вентилятора

Поверхности № 1-3, где поворот лепестков отсутствует ($\varphi = 0^\circ$), как следует из рисунка 3, а, б, имеют в среднем тепловую эффективность ниже на 20-25 % по сравнению с поверхностями № 4-7. Рост тепловой эффективности поверхностей № 4-7 осуществляется за счет наличия поперечной составляющей скорости омыwania лепестков, которые повернуты относительно набегающего потока на угол 30° и 45° . Как известно, при поперечном омывании интенсивность теплообмена выше, чем при продольном омывании пластины.

При незначительных мощностях рассеяния $Q < 20$ Вт и температурах перегрева $\Delta t < 12^\circ\text{C}$ в границах экспериментальных погрешностей наблюдается сближение тепловых эффективностей для всех поверхностей, хотя они и отличаются геометрическими характеристиками и формой обрешетки.

В случае бокового обдува, на рисунке 3, б наблюдается меньшее расслоение массива данных по сравнению с верхним обдувом, а самую лучшую

тепловую эффективность в рассмотренных диапазонах изменения Q и избыточных температур Δt сохраняют поверхности № 4 и № 5.

Из анализа экспериментальных данных (рисунок 3 а, б) следует, что независимо от конструктивно-геометрических характеристик обрешетки, верхний обдув поверхностей (рисунок 3, а) эффективнее чем боковой (рисунок 3, б) на 20-30 %.

По-видимому, при верхнем подводе струи охлаждающего воздуха к поверхности возникают более благоприятные условия омыwania ребер и основания, которые обеспечивают интенсивность теплообмена за счет небольших толщин пограничного слоя и турбулизации потока. В отличие от верхнего, боковое направление обдува связано с продольным омыванием ребер и основания, при котором происходит постепенное нарастание пограничного слоя на них, что в целом приводит к ухудшению теплосброса поверхностью, не смотря на существование отрывных течений на лепестках ребер, образованных за счет их просечки и поворота (поверхности № 1-7) и в целом интенсифицирующих теплообмен.

С целью выявления влияния основных геометрических характеристик ребер на тепловую эффективность и установление их оптимальных значений экспериментальные данные обобщены в виде графических зависимостей $\Delta t/\Delta t_0 = f(h_p/h; \varphi)$ при фиксированной рассеиваемой мощности $Q = 60$ Вт.

Рисунок 4 иллюстрирует влияние относительной глубины просечки ребер h_p/h на температуру перегрева Δt исследуемой поверхности по отношению к температуре перегрева Δt_0 базовой пластинчато-ребристой поверхности № 8.

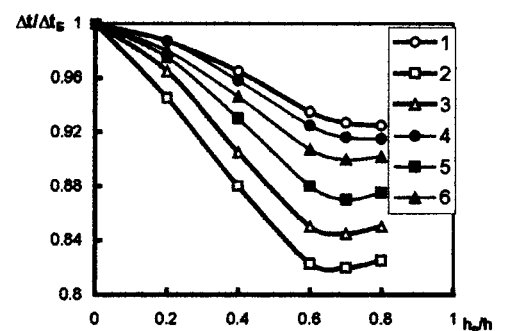


Рисунок 4 Влияние глубины разрезки h_p/h на относительный перегрев $\Delta t/\Delta t_0$
Верхний обдув: 1- $h_p/h = 0.4$; 2- $h_p/h = 0.6$; 3- $h_p/h = 0.8$.
Боковой обдув: 4- $h_p/h = 0.4$; 5- $h_p/h = 0.6$; 6- $h_p/h = 0.8$.

Приведенные экспериментальные кривые носят экстремальный характер и с ростом параметра h_p/h расслаиваются. Каждая кривая соответствует определенному направлению обдува и значению угла поворота лепестка φ . Как следует из анализа данных оптимальная относительная глубина

просечки ребер поверхности находится в диапазоне $h_p/h = 0.6-0.7$ и не зависит от направления обдува и углов поворота лепестков.

При дальнейшем возрастании h_p/h теплосброс поверхности ухудшается, а параметр $\Delta t/\Delta t_6$ увеличивается. Наименьшие относительные температуры перегрева наблюдаются у поверхностей № 4-5 (кривая 2) при верхнем обдуве и угле $\varphi = 30^\circ$. Для поверхностей № 1-3 с $\varphi = 0^\circ$ (кривые 1,4) для верхнего и бокового обдувов относительная температура перегрева самая высокая, а их абсолютный температурный уровень приближается к температуре перегрева базовой поверхности № 8.

На рисунке 5 показаны зависимости $\Delta t/\Delta t_6 = f(\varphi)$ при фиксированных значениях относительной глубины просечки $h_p/h = \text{const}$ и различных направлениях обдува поверхностей.

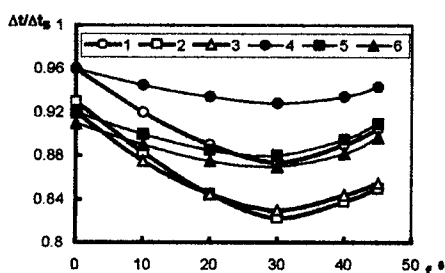


Рисунок 5 Влияние углов поворота φ на относительный перегрев $\Delta t/\Delta t_6$.

Верхний обдув: 1- $\varphi = 0^\circ$; 2- $\varphi = 30^\circ$; 3- $\varphi = 45^\circ$.
Боковой обдув: 4 - $\varphi = 0^\circ$; 5 - $\varphi = 30^\circ$; 6 - $\varphi = 45^\circ$

Для всех исследованных поверхностей экстремум на кривых соответствует углу $\varphi = 30^\circ$, а наименьшая относительная температура перегрева имеет место для поверхности № 4 (кривая 2) с $h_p/h = 0.6$ при верхнем обдуве. Самый большой относительный перегрев наблюдается для поверхности с $h_p/h = 0.4$ (кривая 4) при боковом обдуве. 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.

Анализ результатов исследований показал, что применение одновременной просечки ребер на глубину $h_p/h = 0.6 - 0.7$ и поворота лепестков на угол $\varphi = 30^\circ$ приводит к повышению тепловой эффективности на 30-35 % по сравнению с традиционной пластинчато-ребристой поверхностью, а наиболее рациональным есть верхний обдув поверхностей. Использование малогабаритных теплоотводящих поверхностей с просечным оребрением в системах низко-

скоростного струйного обдува в различных теплонагруженных устройствах может на 20 -25 % снизить температуру их перегрева.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наибольшей тепловой эффективностью обладают поверхности с поворотом лепестков $\varphi = 30^\circ, 45^\circ$ и относительной глубиной просечки $h_p/h \approx 0.6$.
2. Эксперименты подтверждают, что наиболее эффективным является верхнее размещение вентилятора.
3. Из анализа экспериментальных данных следует, что оптимальный угол поворота лепестков находится в диапазоне $\varphi = 25...35^\circ$.

Список обозначений:

b – ширина «лепестка»;
 F – площадь теплоотдающей поверхности;
 h – высота ребра;
 h_p – глубина разрезки;
 L – линейный размер основания;
 Q – рассеиваемая мощность;
 S – шаг между ребрами;
 t – температура;
 u – ширина разрезки;
 z – количество ребер;
 z_p – количество «лепестков» на одном ребре;
 δ – толщина ребра;
 φ – угол поворота;
 Δt – средний перегрев основания;
ПК – персональный компьютер;
РЭА – радиоэлектронная аппаратура.
Индексы:
осн – основание;
с – среда;
 i – величина, относящаяся к одной термопаре;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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., Рогачев В.А., Руденко А.И. Влияние разрезки, поворотов и отгибки ребер на теплоаэродинамические характеристики поверхностей теплообмена // Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25. – № 1. – С. 10 – 16.
4. Письменный Е.Н., Рогачев В.А., Босая Н.В. Исследование тепловой эффективности поверхностей с сетчато-проволочным оребрением при свободной конвекции // Труды Второй Российской национальной конференции по теплообмену. – 1998. – Т.6. – С. 181-183.