

## СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВИЧНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ВОДЯНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

В настоящее время широкое распространение получили персональные компьютеры (ПК). Это связано с расширением круга выполняемых с их помощью задач и необходимостью значительного ускорения процесса выполнения этих задач с применением ПК. К задачам относятся различные вычисления (в порядке уменьшения сложности и времени выполнения): прогнозирование погоды, расчеты различных процессов (выгорание топлива тепловыделяющих элементов ядерных энергетических установок, температурные поля объектов в нестационарных процессах и др.), а также работа ПК в качестве систем управления, обработка видео и аудио информации и др. Для решения таких задач необходимо выполнить большое количество операций. Основная часть операций (вычислений) выполняется центральным процессором (ЦП). Во время работы ЦП выделяет тепловую энергию [1]. Современные ЦП при пиковых нагрузках вычислениями выделяют 80-100 Вт тепловой энергии. При превышении определенной температуры ЦП начинает выполнять операции с большим количеством ошибок, что является недопустимым при выполнении различных сложных задач, решение которых может занимать большое количество времени и получение ошибки при расчетах приведет к необходимости проведения этих расчетов повторно. Для предотвращения этого необходимо обеспечить работу ЦП в допустимом температурном режиме (обычно он указывается производителем ЦП в технической документации). Стандартное значение температуры ЦП, выше которого последний работает с большим количеством ошибок – 75°C.

Для решения задачи обеспечения нормального температурного режима работы ЦП используют различные системы охлаждения (СО). В настоящее время существуют различные СО ЦП. Они разделяются по виду используемого теплоносителя:

- водяные СО;

- водяные СО;
- испарительно-конденсационные СО (фреоны).

Вышеуказанные СО различаются по конструкции. Наиболее распространенными являются воздушные СО, состоящие из радиатора 1, устанавливаемого непосредственно на ЦП, и вентилятора 2, создающего принудительную циркуляцию воздуха [2] (рис.1).

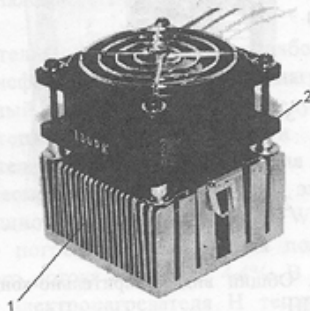


Рис. 1. Общий вид воздушной СО ЦП

Водяные СО состоят из первичного теплообменника, устанавливаемого на ЦП, помпы, обеспечивающей принудительную циркуляцию теплоносителя в СО, вторичного теплообменника, обеспечивающего охлаждение теплоносителя, соединительных трубок. Общий вид ПК с водяной СО показан на рис. 2.

Испарительно-конденсационная СО ЦП (использующая фреон в качестве теплоносителя) состоит из компрессора, создающего принудительное движение теплоносителя, испарителя, устанавливаемого непосредственно на ЦП, конденсатора, предназначенного для охлаждения теплоносителя, вентиляторов, обеспечивающих охлаждение конденсатора и циркуляцию охлаждающего воздуха внутри корпуса ПК, соединительных теплоизолированных трубок. СО такого типа всегда закрытые [4] – рис. 3.



Рис.2. Общий вид водяной СО ЦП [3]

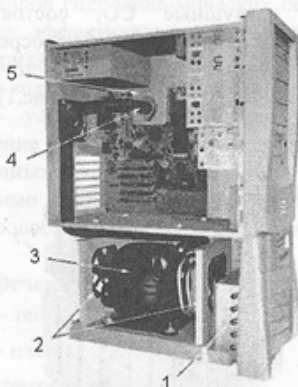


Рис.3. Общий вид испарительно-конденсационной СО ЦП

1 - конденсатор; 2 - вентиляторы; 3 - компрессор; 4 - соединительные теплоизолированные трубки; 5 - испаритель.

Другие СО относятся к исследовательскому классу и не предназначены для продолжительного применения (например, охлаждение ЦП с помощью жидкого азота).

Задача обеспечения нормального функционирования ПК сводится к правильному выбору СО. Последнее же возможно лишь при детальном исследовании выбранной СО в лабораторных условиях с использованием имитатора тепловыделения ЦП.

Для получения эффективной СО необходимо исследовать теплопередающие способности водяных СО с различными первичными теплообменниками. В силу ряда причин:

- низкая эффективность (коэффициент теплоотдачи от ребер радиатора воздушной СО к воздуху значительно ниже, чем в водяной СО от ребер первичного теплообменника к воде);

- акустические шумы (для повышения эффективности воздушных СО применяются высокооборотные вентиляторы, которые при работе создают акустические шумы. Уровень звукового давления современных воздушных СО достигает 40-43 дБ. Например, Thermaltake Volcano 7 Cu+);

- большой вес (чтобы увеличить эффективность воздушных СО производители увеличивают площадь поверхности теплообмена, а это, в свою очередь, приводит к увеличению веса. Допустимый вес воздушной СО обусловлен механизмом ее крепления к материнской плате ПК и составляет 450 г. Вес многих современных воздушных СО превышает это значение и достигает 800-850 г. Например, Zalman 6500B-Cu весит 898 г.);

- высокая инерционность (в случае, когда не предпринимаются специальные меры по организации циркуляции воздуха через системный блок ПК воздух внутри него постепенно нагревается и достигает температуры 45-50°C. Так как забор воздуха СО происходит из внутреннего пространства системного блока ПК, то после длительного периода работы при большой вычислительной нагрузке охлаждение ЦП требует значительного промежутка времени – более одного часа);

Модернизировать воздушные СО целесообразно только для применения в портативных ПК (этот способ оправдывает себя в силу применения гибкой системы энергопотребления ЦП портативных систем).

Для исследования теплопередающих характеристик водяной СО была создана экспериментальная установка, упрощенная схема которой показана на рис. 4.

Экспериментальная установка состоит из исследуемого первичного теплообменника Т, электронагревателя Н, радиатора Р, бака с теплоносителем Б, помпы П и гибких соединительных трубок СТ. Исследуемый первичный теплообменник и нагреватель закрепляются с помощью стягивающих зажимов на штативе. Радиатор Р располагается рядом с баком для теплоносителя и помпой возле штатива.

Имитация тепловыделения ЦП осуществляется электронагревателем, созданным по схеме теплового клина. Площадь контактной поверхности нагревателя составляет 113 мм<sup>2</sup> (окружность диаметром 12 мм). Столь малая площадь обусловлена необходимостью моделировать охлаждение ЦП, выпускаемых компанией Advanced Micro Devices (AMD), не

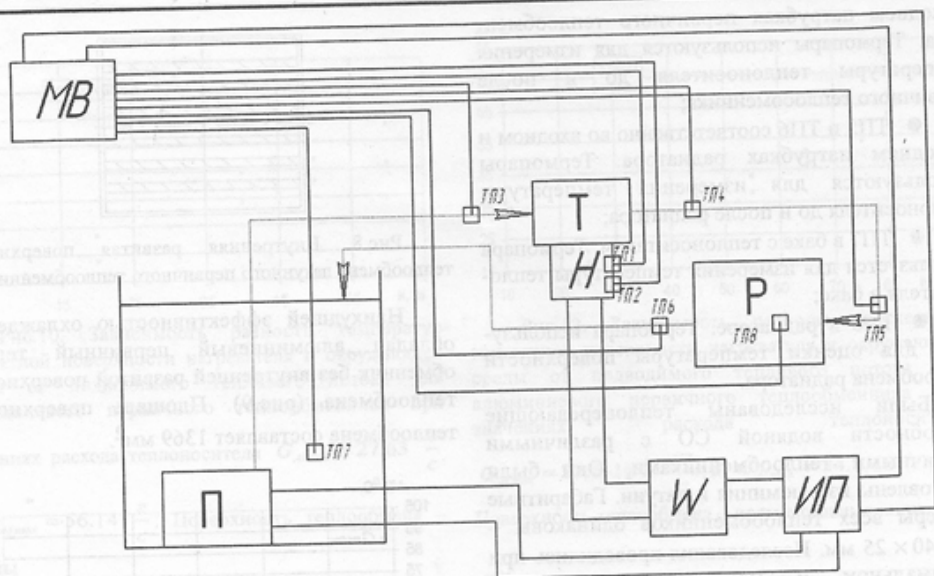


Рис. 4. Упрощенная схема экспериментальной установки

имеющих (в отличие от ЦП компании Intel) защитно-теплораспределяющих (integrated heat spreader) устройств над кристаллом ЦП, увеличивающих площадь контактной площадки. На рис.5 приведено сравнение размеров площадок теплосъема современных процессоров компании Intel и AMD. Слева от процессора Intel Pentium 4 (посередине) находится элемент питания типа ААА.

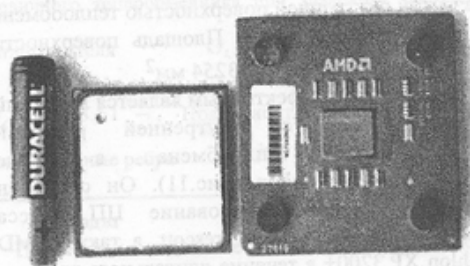


Рис.5. Сравнение размеров площадок теплосъема процессоров Intel Pentium 4 (Northwood) и AMD Duron (Palomino)

Прокачка теплоносителя через СО осуществляется помпой центробежного типа. Электрическая мощность помпы составляет 4,2 Вт (это значение сопоставимо с электрической мощностью современных вентиляторов воздушных СО, которое составляет 2-2,5 Вт).

Регулирование мощности, подаваемой на

нагреватель, осуществляется лабораторным автотрансформатором ИП. Так как нагреватель и первичный теплообменник исследуемой СО были теплоизолированы, потери тепла от нагревателя составили менее 5%. Для измерения потребляемой электронагревателем электрической мощности служит ваттметр W. Относительная погрешность измерения подводимого теплового потока составила 4,4%. В результате работы электронагревателя Н теплоноситель, прокачиваемый помпой П через первичный теплообменник Т, нагревается и, проходя через радиатор Р и охлаждаясь, возвращается в бак Б.

Для контроля температур теплоносителя в характерных точках экспериментальной установки были использованы хромель-копелевые термопары. Все термопары с помощью разъемов подключены к вторичному прибору (цифровой прибор А565) с автоматической компенсацией температуры холодных спаев. Относительная погрешность определения температуры составила 4,1%. Термопары установлены в следующих участках экспериментальной установки:

- ТП1 и ТП2 в корпусе электронагревателя на расстоянии 3,85 мм друг от друга. ТП1 расположена ближе к контактной площадке и располагается на расстоянии 0,5 мм от нее. Термопары используются для фиксации подводимого к первичному теплообменнику теплового потока, а термопара ТП1 используется и для оценки температуры, которую имел бы ЦП;

- ТП3 и ТП4 соответственно во входном и

выходном патрубках первичного теплообменника. Термопары используются для измерения температуры теплоносителя до и после первичного теплообменника;

- ТП5 и ТП6 соответственно во входном и выходном патрубках радиатора. Термопары используются для измерения температуры теплоносителя до и после радиатора;

- ТП7 в баке с теплоносителем. Термопара используется для измерения температуры теплоносителя в баке;

- ТП8 в радиаторе. Термопара используется для оценки температуры поверхности теплообмена радиатора.

Были исследованы теплопередающие способности водяной СО с различными первичными теплообменниками. Они были изготовлены из алюминия и латуни. Габаритные размеры всех теплообменников одинаковы –  $40 \times 40 \times 25$  мм. Исследования проводились при минимальном и максимальном расходах теплоносителя. Алюминиевые теплообменники: без внутренней развитой поверхности теплообмена, с внутренней развитой поверхностью теплообмена в виде прямоугольных шипов (64 шипа  $2 \times 2 \times 10$  мм – рис.6), с внутренней развитой поверхностью теплообмена в виде ребер (рис.7). Латунный теплообменник имел внутреннюю развитую поверхность теплообмена в виде прямоугольных ребер (6 ребер – рис.8).

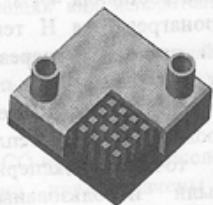


Рис.6. Общий вид алюминиевого первичного теплообменника с внутренней развитой поверхностью теплообмена в виде прямоугольных шипов

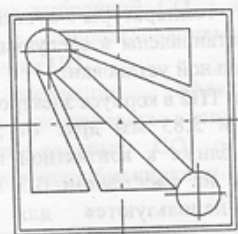


Рис.7. Внутренняя развитая поверхность теплообмена алюминиевого первичного теплообменника

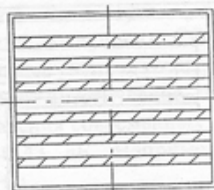


Рис.8. Внутренняя развитая поверхность теплообмена латунного первичного теплообменника

Наихудшей эффективностью охлаждения обладал алюминиевый первичный теплообменник без внутренней развитой поверхности теплообмена (рис.9). Площадь поверхности теплообмена составляет  $1369 \text{ мм}^2$ .

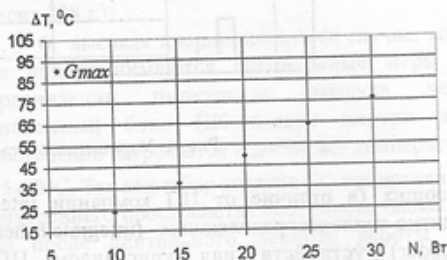


Рис.9. Зависимость разности температур контактной поверхности нагревателя и окружающей среды от подводимого теплового потока для алюминиевого первичного теплообменника без внутренней развитой поверхности теплообмена

Значительно более эффективным является алюминиевый первичный теплообменник с развитой внутренней поверхностью теплообмена в виде ребер (рис. 10). Площадь поверхности теплообмена составляет  $3254 \text{ мм}^2$ .

Еще более эффективным является латунный теплообменник с внутренней развитой поверхностью теплообмена в виде прямоугольных ребер (рис.11). Он способен обеспечить функционирование ЦП класса Pentium 4 Northwood и Prescott, а также AMD Athlon XP 3200+ в течение длительного времени при максимальной нагрузке вычислениями. Площадь поверхности теплообмена составляет  $4587 \text{ мм}^2$ .

Наиболее эффективным является алюминиевый первичный теплообменник с внутренней развитой поверхностью теплообмена в виде прямоугольных шипов. Зависимость температуры в плоскости контакта нагревателя и первичного теплообменника от подводимого теплового потока для данного теплообменника приведена на рис.12. Площадь поверхности теплообмена составляет  $5885 \text{ мм}^2$ .



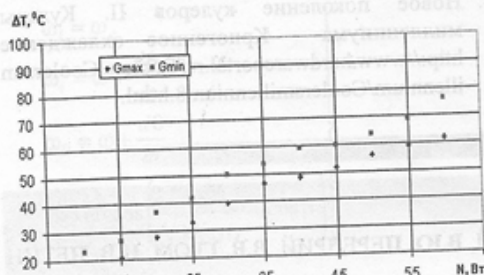


Рис.10. Зависимость разности температур контактной поверхности нагревателя и окружающей среды от подводимого теплового потока для алюминиевого первичного теплообменника при значениях расхода теплоносителя  $G_{Al\min} = 27.63 \frac{з}{с}$  и  $G_{Al\max} = 56.14 \frac{з}{с}$ . Поверхность теплообмена – каналы

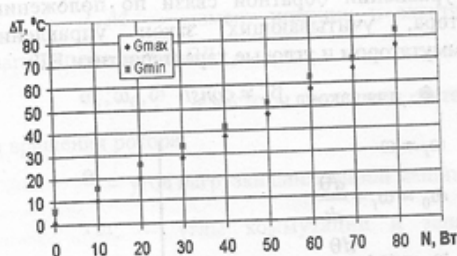


Рис.11. Зависимость разности температур контактной поверхности нагревателя и окружающей среды от подводимого теплового потока для латунного первичного теплообменника при значениях расхода теплоносителя  $G_{L\min} = 25.31 \frac{з}{с}$  и  $G_{L\max} = 48.61 \frac{з}{с}$ . Поверхность теплообмена – прямоугольные ребра

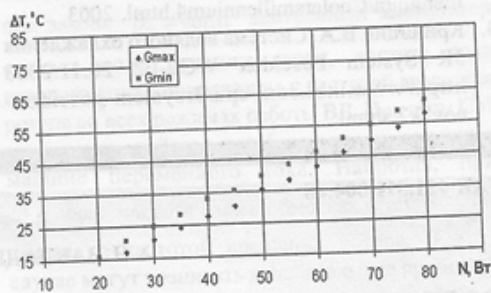


Рис.12. Зависимость разности температур контактной поверхности нагревателя и окружающей среды от подводимого теплового потока для алюминиевого первичного теплообменника при значениях расхода теплоносителя  $G_{Al\min} = 27.6 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{с}$  и  $G_{Al\max} = 54.8 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{с}$ . Поверхность теплообмена – прямоугольные шипы

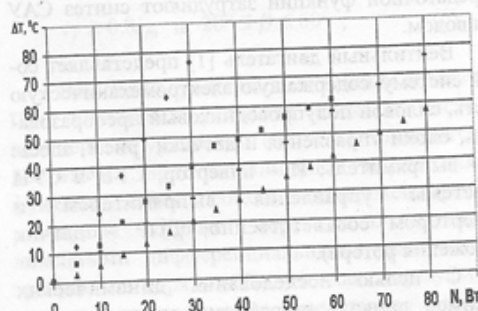


Рис.13. Сравнение теплопередающих характеристик СО с различными видами первичных теплообменников и максимальном значении расхода теплоносителя:  
1 – алюминий, без развитой внутренней поверхности теплоотдачи;  
2 – алюминий, ребра;  
3 – латунь, ребра;  
4 – алюминий, шипы.

## Выводы

- Полученные данные свидетельствуют о превосходстве по эффективности водяных СО над воздушными системами. Водяные СО могут обеспечить работу современных ЦП в указанном их производителем температурном диапазоне в течение длительного периода времени при максимальной загрузке вычислениями.
- Обнаружено влияние площади теплообменной поверхности первичных теплообменников и материала, из которого они изготовлены, на теплопередающую способность СО (алюминиевый теплообменник с ребрами и меньшей площадью чем латунный имеет сходные теплопередающие характеристики).
- Дальнейшая работа по улучшению эффективности работы первичных теплообменников будет направлена на оптимизацию формы внутренней теплоотдающей поверхности теплообменников.

## Литература

- Федасюк Д.В. Методи та засоби теплового проектування мікроелектронних пристроїв. - Львів: Вид-во ДУ "Львівська політехніка", 1999. - 228с.
- Новое поколение кулеров II. Кулеры миллениума - Медные всадники силикона <http://www.hardwareportal.ru/Coolers/Coolers.m>

illennium/Coolersmillennium4.html, 2003

3. Криницин В.А. Система водяного охладження 3R System Poseidon WCL-02 28.11.2003  
<http://www.ixbt.com/cpu/3rsystem-poseidon-nov2k2.shtml>

4. Новое поколение кулеров II. Кулеры миллениума - Криогенное охлаждение  
<http://www.hardwareportal.ru/Coolers/Coolers.millennium/Coolersmillennium8.html>.