

# Охлаждение центрального процессора с использованием термоэлектрического элемента

А. И. Андреев<sup>1</sup>, А. Е. Семенов, Р. Р. Минофьев, А. А. Рыков

*Астраханский государственный технический университет*

<sup>1</sup>aresut79@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе исследовалось охлаждение центрального процессора персонального компьютера с использованием термоэлектрического элемента. В качестве объекта охлаждения были выбраны два процессора компании Intel – процессоры *core 2 duo* (2433) и *i7* (13700k OEM). В качестве системы охлаждения использовалась водяная система со встроенными элементами Пельтье в различных конфигурациях установки. Был разработан стенд, в котором при различных нагрузках измерялась температура и производительность процессора. Были получены тепловые и гидродинамические зависимости системы охлаждения. Имеется проблема неравномерности охлаждения процессора по ширине водоблока, она была детально рассмотрена и предложены пути её решения. Даны рекомендации по усовершенствованию систем охлаждения процессора по температуре охлаждения и скорости движения потока для поддержания оптимальной температуры работы процессора. Получена динамика нагрева и охлаждения процессора в режиме стресс-теста процессора при работе с максимальной производительностью. Получены экспериментальные данные при охлаждении с помощью элемента Пельтье при максимальной нагрузке на процессор. Проанализированы дальнейшие пути совершенствования систем охлаждения центрального процессора.

**Ключевые слова:** центральный процессор, охлаждение процессора, элемент Пельтье, жидкостная система охлаждения

## I. ВВЕДЕНИЕ

Постоянно большое количество пользователей компьютерной техники в частности персональных компьютеров (ПК) сталкивается с вопросом об избыточных температурах компонентов своего компьютера. Эта проблема имеет свою постоянную актуальность, так как с увеличением мощности компьютерных процессоров и других компонентов возрастает и их тепловыделение. Перегрев крайне опасен для всех частей компьютера в любое время года и является главной причиной выхода из строя и поломки ПК. Существующие на рынке системы охлаждения очень часто отстают по своей мощности от появляющихся компонентов, ярким примером этого является быстрая эволюция линейки процессоров Intel и AMD. Даже системы охлаждения от крупных компаний, например, такие как, как CoolerMaster, Data Cooler DWC-A01, Aqua Core порой не могут обеспечить нужного охлаждения. [1–4]

Самые распространённые системы охлаждения подразделяются на воздушные и водяные системы – по

способу охлаждения и виду теплоносителя. Также в последние годы появляются комбинированные системы погружного охлаждения и охлаждения на базе полупроводниковых эффектов – Пельтье. Данные эффекты описываются в ряде работ [5–9].

Анализ рынка и научно-технических решений, приведённых в ряде источников, показывает, что более сложные системы охлаждения, чем представленные выше, практически не получили своего развития в связи со сложностью аппаратуры либо ненадёжностью, о чем свидетельствуют работы Дмитриева А.В. и других авторов по данной тематике [8–9].

В связи с этим, решение проблемы перегрева является важным фактором повышения производительности ПК и малых серверов. Рассмотрение различных вариантов охлаждения и их перспективы детально показаны в работе [10]. Испытания показывают, что термическое сопротивление холодных пластин как для жидкостного охлаждения, так и для устройства с фазовым переходом может составлять 0,08–0,1 °C/Вт. Для пассивных устройств на основе тепловых труб могут быть получены значения ниже 0,1 °C/Вт для мощностей до 120–130 Вт, что соответствует тепловыделению в процессорах являющихся в данный момент одними из самых ходовых, например, в серии процессоров Intel *i7* [11] и Intel *i9* [12].

## II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований было разработано 2 стенда. Для охлаждения были выбраны схемы при прямом контакте элемента Пельтье и процессора (рис. 1а) и охлаждение теплоносителем и элементом Пельтье (рис. 1б).

В качестве элементов использовались элементы – TEC1-12706 и TEC1-12715. Анализ исследованных схем показал их недостаточную эффективность при охлаждении высокопроизводительных процессоров, так как при протекании теплоносителя через водоблок возникает неравномерность охлаждения.

При прямом контакте это сильно снижает эффективность работы Пельтье, а в схеме с теплоносителем ухудшает охлаждение, так как часть процессора охлаждается хуже. Это происходит из-за того, что теплоноситель, проходя через водоблок, нагревается и на выходе имеет более высокую температуру, что ухудшает теплообмен.

При мощности охлаждения в 120 Вт, неравномерность на процессоре при стресс-тесте режиме работы и разогреве процессора свыше 95 °C, достигает 10–18 %, в зависимости от скорости разгона процессора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям

Для детального исследования данных процессов были разработаны экспериментальные стенды, основанные на схемах охлаждения с элементами Пельтье и водяного охлаждения с элементами Пельтье приведёнными на рис. 1.

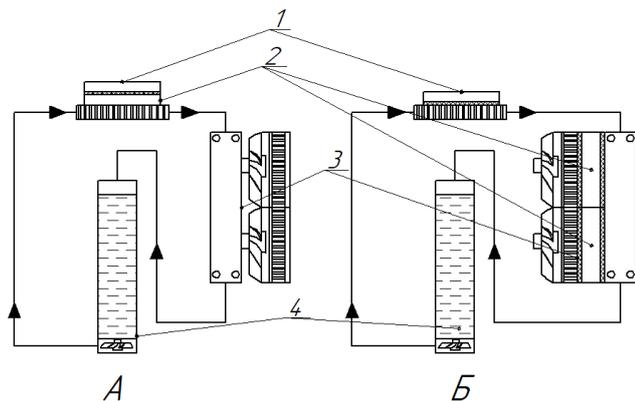


Рис. 1. Схема экспериментального охлаждения с непосредственным контактом А и через теплоноситель Б: 1 – процессор, 2 – элементы Пельтье, 3 – радиатор, 4 – помпа с ресивером

Для детального исследования данных процессов были разработаны экспериментальные стенды, основанные на схемах рис. 1. В ходе эксперимента контролировалась температура окружающей среды (от 21 °С до 30 °С). Стенд пускался в различных режимах, температура была доведена до максимальной в 60 °С для процессора *core 2 duo* и до 100 °С для процессора *i7*, которые являются предельными для данного вида процессоров. Для контроля температуры устанавливались термопары с точностью измерения 0,1 °С для контроля параметров использовался комплекс измерения В7, прошедшей поверку. Для контроля воздушного потока использовался термоанемометр DT-8880.

Также создан стенд на базе рис. 1б, где охлаждение процессора производится с помощью теплоносителя, охлажденного элементом Пельтье. Для этой цели создана более сложная конфигурация на базе трёх элементов Пельтье, объединённых в один термоэлектрический охладитель с теплообменником, суммарная мощность – 288 Вт. В данном стенде процессор был проверен в стресс-тесте, который показал, что даже при работе в стресс-тесте в течение часа система способна удерживать температуру в заданных параметрах.

На рис. 2 показана диаграмма теста загрузки процессора в программе Aida64 в режиме перегрева.

Полученные данные были обработаны для получения зависимостей для дальнейшей разработки новых систем охлаждения.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Снятые в ходе экспериментов данные с компьютера с базовым жидкостным охлаждением показывают, что наибольшая мощность охлаждения достигается в определённом интервале скоростей и температур охлаждающего теплоносителя. На рис. 3 показана трёхмерная диаграмма разностей температур на входе и выходе водоблока – лабиринта, на входе и выходе радиатора теплообменника и разности температур воздуха на входе и выходе из системного блока.

Полученные тепловые зависимости в динамике от времени ( $t$ ), сек.

$$\begin{cases} T_{\text{выход.вод}} = -2 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0283t + 33 \\ T_{\text{радиатор}} = -3 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0337t + 31.6 \\ T_{\text{вход.вод}} = -8 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0212t + 31.35 \\ T_{\text{вход.радиатор}} = -2 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.025t + 28 \\ T_{\text{воздух.вход}} = -2 \cdot 10^{-19} t^2 + 0.0079t + 26.23 \\ T_{\text{воздух.выход}} = 3 \cdot 10^{-6} t^2 + 0.0015t + 24.445 \\ Q_{\text{внутри.корпуса}} = 6 \cdot 10^{-8} t^3 + 0.0001t^2 + 0.0926t \\ Q_{\text{стенки.корпуса}} = -0.012t \end{cases} \quad (1)$$

основанные на эксперименте, показывают динамику температур при установке элемента Пельтье на процессор и демонстрируют, что наибольший теплосъём наблюдается при разности температур в 3–5 градусов.

Это показывает путь развития новой конструкции (схемы) системы охлаждения. Исследования показали, что в связи с увеличением тепловой нагрузки на процессор необходимо повышать и количество отведённой теплоты, что затруднительно в связи с малой площадью контакта процессора и водоблока.

Поэтому перспективным является понижение температуры теплоносителя и повышение мощности охлаждения.

Анализ систем с прямым контактом элемента Пельтье и процессора показал перспективность такого метода до определённых мощностей охлаждения (до 80 Вт).

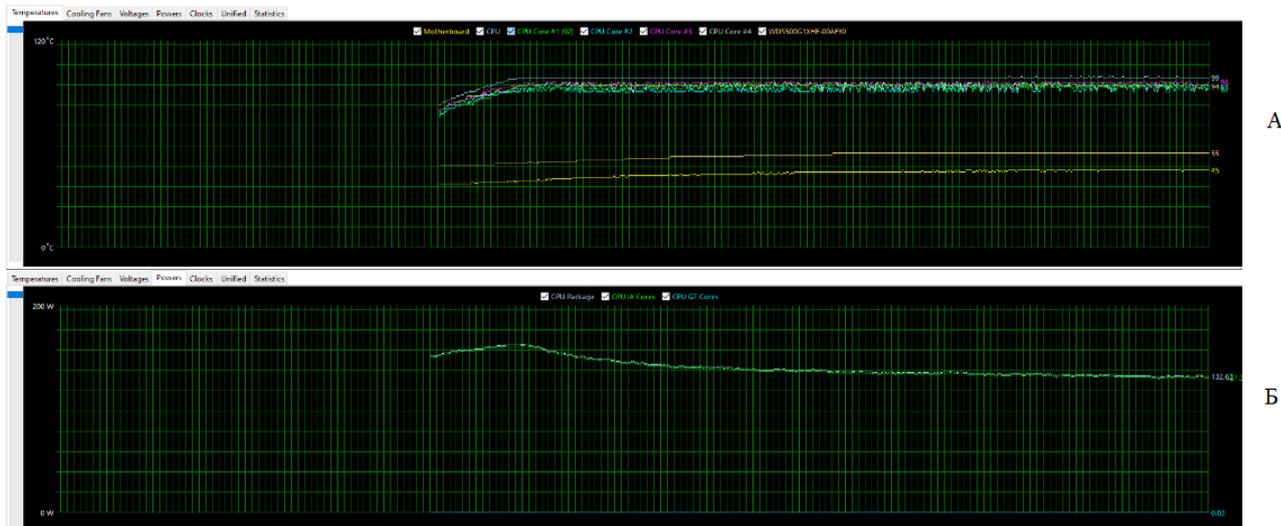


Рис. 2. Параметры работы процессора Intel i7 13700K OEM в стресс тесте в течение часа по температуре А и по электрической мощности Б

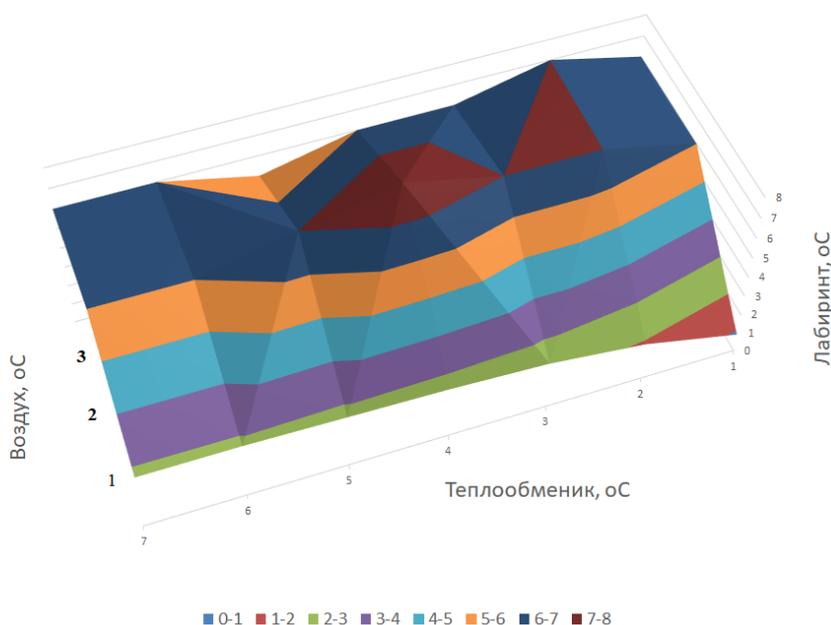


Рис. 3. Диаграмма температур между разностями температур воздуха и теплоносителя при работе на стенде с базовым охлаждением

Результаты проведенных экспериментов показаны на рис. 4. Полученные данные на прямом контакте Пельтье показывают, что необходимое понижение температуры при максимальном тепловыделении процессора в 60 Вт составляет +10 – +15 °С ниже максимальной для sup 2 duo при стрессовом режиме работы, а при тепловыделении в 200 Вт – +5 - +8 °С для процессора i7. Наблюдаемое выравнивание происходит в среднем в районе 600 секунд (10 минут) после запуска системы охлаждения.

Подобные зависимости характерны и при охлаждении теплоносителем и Пельтье, с той лишь разницей, что мощность системы охлаждения увеличивается в среднем на 300 %.

Оптимизация системы охлаждения требует дополнительного исследования по охлаждению теплоносителя на разных тепловых уровнях, что является перспективной задачей разработки систем охлаждения твердотельной электроники.

Помимо тепловых были проведены гидродинамические исследования контура водяного охлаждения.

Данные опытов показывают (рис. 5) что для стабилизации теплового режима на водяной и воздушный контуры требуется куда больше времени, чем стабилизации температуры процессора.

Построение зависимостей контура системы охлаждения ( $t$  – время работы системы)

$$\begin{cases} V = -3 \cdot 10^{-7} t + 0.0207 \\ v = -10^{-6} t + 0.0733 \\ Q_{\text{картыса}} = 10^{-9} t^3 - 8 \cdot 10^{-6} t^2 + 0.0162t \\ Q_{\text{радиатор}} = 4 \cdot 10^{-7} t^2 - 0.002t \end{cases} \quad (2)$$

показывает необходимость увеличения эффективности водоблока и увеличения скорости движения теплоносителя до 0.7 – 1,5 м/с, либо использование

раздельного охлаждения через несколько контуров жидкости.

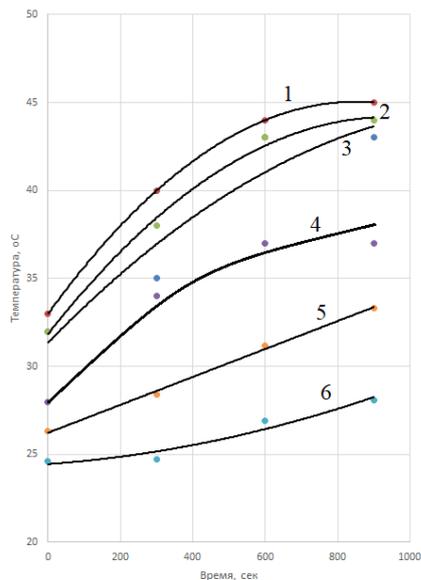


Рис. 4. Температуры в различных точках контура при охлаждении Пельтье: 1 – температура на выходе из водоблока, 2 – температура на выходе в радиатор, 3 – температура на входе в водоблок, 4 – температура на выходе из вентилятора, 5 – температура воздуха при выходе из радиатора, 6 – температура воздуха на входе в радиатор

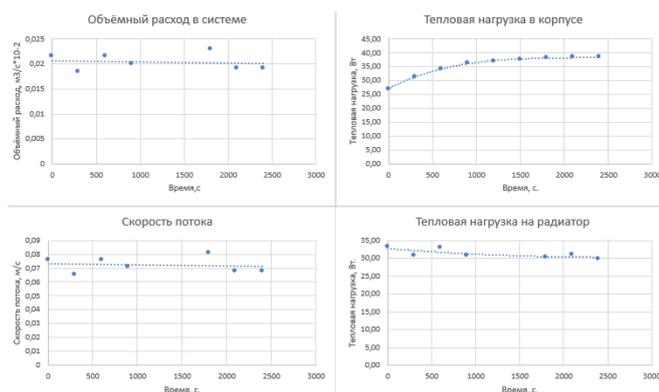


Рис. 5. Эксперименты по гидродинамике водяного контура системы охлаждения

Стоимость охлаждения Пельтье составляет в среднем 10 руб. за 1 Вт холодильной мощности, и является экономически перспективной. Обоснование экономической эффективности системы полупроводникового охлаждения компьютеров детально приведено в работе [13].

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований и опытно-конструкторской работы были получены результаты по тепловому взаимодействию микроэлектроники и термоэлектрических охладителей. Рассчитана и проанализирована на базе экспериментов схема охлаждения процессора с тепловыделением более 120 Вт. Разработано два стенда на базе процессоров Intel серии core 2 duo (2933) и i7 (13700k OEM) тепловой мощностью 60 и 120 Вт, с использованием системы водяного и комбинированного охлаждения. Проведены

исследования теплообмена между процессорами и элементами TEC1-12706, TEC1-12715.

Все данные, полученные в ходе опытов, позволяют сказать, что для увеличения эффективности охлаждения необходимо модифицировать систему теплоотвода охлаждения процессора, это может быть представлено несколькими способами. Прежде всего, за счёт увеличения объёмного расхода через водоблок и увеличения скорости движения потока воздуха через радиатор. Второй путь – это изменение теплосъёма теплоносителем, что является перспективным направлением и является целью дальнейших экспериментов в этой области.

Полученные в ходе работы данные позволяют сказать, что наиболее эффективным является охлаждение при оптимальных температурах скоростей движения теплоносителей (воды и воздуха) а также при высокой холодопроизводительности термоэлектрического элемента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ambaka P. Best am3+ CPU Cooler //Computer. 2021.
- [2] Maschi F., Alonso G. The Difficult Balance Between Modern Hardware and Conventional CPUs //Proceedings of the 19th International Workshop on Data Management on New Hardware. 2023. С. 53-62.
- [3] Tipton R.C. Power Usage Effectiveness Improvement of High-Performance Computing by Use of Organic Rankine Cycle Waste Heat Recovery: дис. Ohio University, 2023.
- [4] Rasel M.S. et al. Investigation on conjugate mixed convection through a vented chamber with heat generating and conducting rotating circular cylinders // Results in Engineering. 2023. С. 101248.
- [5] Исаев А.И., Киселев И.Г., Филатов В.В. Эффективные способы охлаждения силовых полупроводниковых приборов. Л.: Энергоиздат: Ленингр. отд-ние, 1982, 137 с.
- [6] Грищенко А.В. и др. Повышение эффективности охлаждения силовых полупроводниковых приборов // Электротехника. 2016. № 5. С. 32-36.
- [7] Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Валиев И.И. Применение термоэлектрического эффекта для увеличения интенсивности охлаждения электрооборудования // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 20. С. 70-72.
- [8] Дмитриева О.С., Мадышев И.Н. Увеличение интенсивности охлаждения электрооборудования с применением термоэлектрических модулей. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2016 г. 2016. С. 24.
- [9] Дьяченко Д.Ю., Чернов С.С. Исследование эффекта Пельтье и его практическое проведение // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс]. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section023.html>, свободный.
- [10] Sauciu I. et al. Thermal performance and key challenges for future CPU cooling technologies // International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition. 2005. Т. 42002. С. 353-364.
- [11] Travers M. CPU power consumption experiments and results analysis of Intel i7-4820K. Newcastle University, Newcastle. 2015.
- [12] Rajan S.K. et al. Integrated silicon microfluidic cooling of a high-power overclocked CPU for efficient thermal management // IEEE Access. 2022. Т. 10. С. 59259-59269.
- [13] Экономическая эффективность использования полупроводникового охлаждения компьютерной техники / О.А. Гаврилова, А.И. Андреев, А.Е. Семенов, В.А. Чанчиков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2023. № 4. С. 58-66. DOI 10.24143/2073-5537-2023-4-58-66.