

СИСТЕМА ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ КОМПАКТНОЙ СУПЕР-ЭВМ

С. Н. Шлыков, Н. А. Дмитриев, В. И. Игрунов, В. Н. Лаиманов, В. Н. Стрюков, А. В. Шатохин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В июле прошлого года в г. Саров в ходе визита президента РФ состоялось выездное заседание Комиссии при Президенте РФ по вопросам модернизации и технологического развития экономики. На нем было определено стратегическое направление развития суперкомпьютерных и грид-технологий. В этих рамках ВНИИЭФ занимается разработкой базового ряда супер-ЭВМ и отечественного программного обеспечения (ПО) для комплексного имитационного моделирования на супер-ЭВМ. Одним из направлений этих работ является создание компактных супер-ЭВМ (далее КС-ЭВМ). ВНИИЭФ в апреле этого года завершил разработку КС-ЭВМ производительностью 1 Тфлопс.

Были сформулированы основные требования:

- КС-ЭВМ должна быть универсальной;
- пиковая производительность 1 Тфлопс;
- скорость межпроцессорных обменов 20 Гбит/с;
- потребляемая мощность в пределах от 1,5 до 4 кВт;

- круглосуточный режим работы;
- акустический уровень шума не более 50 дБА.

Результатом разработки является полнофункциональный программно-аппаратный комплекс для высокопроизводительных вычислений на базе универсальной КС-ЭВМ, не требующей при своей эксплуатации специальных инженерных систем. В таблице приведены технические характеристики КС-ЭВМ.

В КС-ЭВМ используется три материнские платы SuperMicro H8QG6. На каждой плате установлено четыре двенадцатиядерных процессора AMD Mangy Cours. Пиковая производительность КС-ЭВМ составляет 1.1 Тфлопс. Для хранения информации на каждую материнскую плату устанавливается 2 HDD диска объемом 2 Тбайта каждый и один SSD диск объемом 60 Гбайт для операционной системы. В качестве среды межпроцессорных обменов используется DDR (QDR) Infiniband 4x с пропускной способностью 40Гбит/с. Для подключения к пользовательской сети используется Gigabit Ethernet.

Современные компьютеры становятся всё более производительными. Вместе с тем, растёт количество выделяемой теплоты различными компонентами компьютера. Высокая температура представляет реальную угрозу работоспособности компьютера. Поэтому, системам охлаждения уделяется всё больше внимания. Эти системы постоянно совершенствуются. Необходимо было выбрать, каким способом будут охлаждаться компоненты КС-ЭВМ.

Технические характеристики КС-ЭВМ

Теоретическая пиковая производительность	1.1 ТФлопс
Количество вычислительных ядер	144 шт.
Максимальный объем оперативной памяти	152 (до 1536) Гбайт
Емкость дисковой памяти	12 (до 24) Тбайт
Операционная система	Linux
Акустический уровень шума	48дБА
Габариты (В x Ш x Г)	645 x 330 x 725 мм
Вес	60 кг
Количество материнских плат и процессоров на плате	3шт./ 4шт.
Система охлаждения процессоров	Жидкостная
Система межпроцессорных обменов	InfiniBand QDR
Сеть управления и мониторинга	Ethernet
Подключение к локальной сети предприятия	Gigabit Ethernet
Система шумоподавления	Пассивная
Электропитание	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	2.43 кВт

На сегодняшний день в компьютерной индустрии существует несколько вариантов охлаждения. Рассмотрим основные систем охлаждения:

- воздушное охлаждение;
- охлаждение с применением тепловых труб;
- азотное охлаждение;
- фреоновое охлаждение;
- жидкостное охлаждение.

Каждая из представленных систем обладает своими достоинствами и недостатками.

Воздушная система охлаждения

Воздушная система охлаждения является наиболее распространенным вариантом охлаждения. На процессор устанавливается кулер – радиатор с вентилятором. Тепло от процессора передается радиатору, который охлаждается вентилятором. При таком способе охлаждения хладагентом является окружающий воздух.

Современные кулеры при работе создают шум на уровне 23 дБА. При увеличении количества кулеров в корпусе уровень шума постепенно возрастает.

Для охлаждения процессоров КС-ЭВМ потребуется 12 кулеров. Кроме процессоров необходимо охладить чипсет и оперативную память. В итоге на охлаждение КС-ЭВМ потребуется более 20 вентиляторов, чей суммарный уровень шума будет превышать 50 дБА.

Также стоит учесть, что на момент создания АПК-1, на рынке воздушного охлаждения не было кулеров для нового сокета AMD – g34.

12 ядерный процессор Magny Cours крупнее предыдущих процессоров. Кулеры, сделанные для других сокетов, не закрывают процессор полностью.

Охлаждение с применением тепловых труб

Тепловая труба представляет собой пассивное герметичное двухфазное теплопередающее устройство, работающее по принципу замкнутого испарительно-конденсационного цикла и способное передавать большие количества тепла при минимальном температурном перепаде.

Тепловая труба в общем случае состоит из трех секций или зон: зона испарения (1), адиабатическая зона (2) и зона конденсации (3) (рис. 1).

Тепло подводится к зоне испарения (1), вследствие чего рабочая жидкость, находящаяся в равновесии с паром, испаряется. Под действием перепада давления между «горячей» зоной испарения и «холодной» зоной конденсации пар перетекает в зону конденсации (3) и здесь конденсируется. При фазовом переходе жидкость поглощает или, соответственно, выделяет скрытую теплоту испарения. По капиллярной структуре жидкость возвращается из зоны испарения в зону конденсации под действием капиллярных сил.

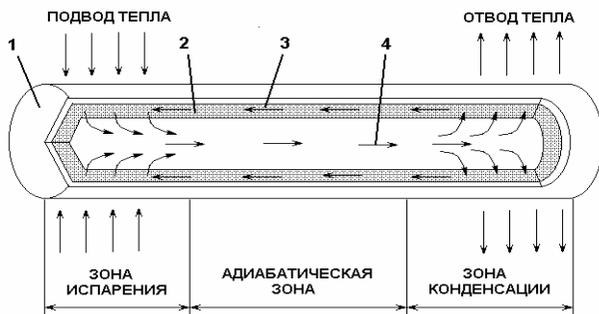


Рис. 1. Схема работы тепловой трубы: 1 – корпус ТТ, 2 – капиллярная структура, 3 – жидкий теплоноситель, 4 – пар

В настоящий момент нами прорабатывается вариант применения тепловых труб в системе охлаждения КС-ЭВМ. На рис. 2 представлен эскиз возможной системы охлаждения. Тепловые трубки отводят радиаторы в свободную зону корпуса, где происходит охлаждение воздушным потоком.

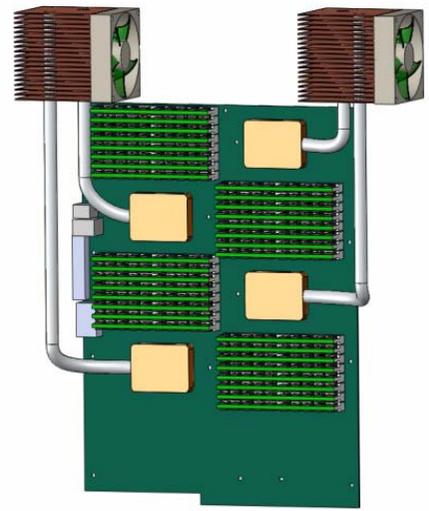


Рис. 2. Система охлаждения с применением тепловых труб

Азотное охлаждение

Азотное охлаждение нашло применение в области экстремальных разгонов компьютеров. Системы охлаждения, в которых в качестве хладагента используется азот или гелий, позволяет получать отрицательные температуры на процессорах, тем самым дает возможность разгонять их до очень больших частот без риска перегрева. Применение их в системе охлаждения КС-ЭВМ невозможно по ряду причин, в частности из-за необходимости постоянного пополнения системы азотом, который в течение работы выкипает (невозможно сделать такую систему охлаждения компактной – емкость с хладагентом должна быть высокой). Так же емкость с жидким азотом должна находиться над процессором, следовательно, материнские платы должны располагаться горизонтально. На рис. 3 показана медная емкость с жидким азотом установленная непосредственно над процессором.



Рис. 3. Азотное охлаждение процессора

Фреоновое охлаждение

Образование холода происходит вследствие циркуляции фреона по контуру. Из компрессора хладагент в газообразном состоянии попадает в конденсатор. Там он превращается в жидкость, после чего проходит через фильтр-осушитель в капилляр, который ведет к испарителю, который устанавливается на элемент требующий охлаждения. На этом пути, из-за низкого давления, фреон начинает кипеть при минусовой температуре и по обратной линии попадает в компрессор уже в газообразном состоянии. На рис. 4 показан цикл работы фреонового охлаждения.



Рис. 4. Фреоноевое охлаждение

Система фреонового охлаждения на основе фазового перехода также широко применяется в области экстремального охлаждения разогнанных процессоров. Ее применение в охлаждении КС-ЭВМ не целесообразно: высокая стоимость, большой вес (более 18 кг), занимает много места.

Система жидкостного охлаждения

Для решения поставленной задачи – сделать КС-ЭВМ малозумной, было принято решение использовать жидкостную систему охлаждения.

С ростом мощности вычислительных систем на рынке появилось большое количество систем жидкостного охлаждения. Существуют как готовые решения систем жидкостного охлаждения, так и набор комплектующих, из которых можно самостоятельно собрать собственную систему охлаждения. На рис. 5 показан цикл работы жидкостного охлаждения.

Помпа прокачивает воду, которая последовательно проходит все элементы цикла охлаждения по соединительным трубкам. Затем вода попадает в радиатор, где происходит охлаждение. Для улучшения охлаждения на радиатор устанавливается 120мм малозумный вентилятор. После радиатора вода попадает в расширительный бак и цикл повторяется. Система жидкостного охлаждения обладает низким уровнем шума так как использует малозумные вентиляторы для охлаждения радиатора и помпы для прокачки воды.

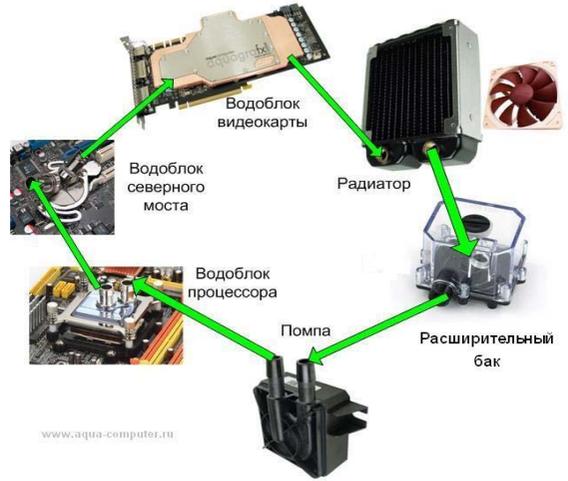


Рис. 5. Цикл работы жидкостного охлаждения

Для охлаждения КС-ЭВМ специалистами ВНИИЭФ была реализованная конструкция одноконтурной системы охлаждения, позволяющая обеспечить отвод тепла от 12 процессорных элементов. На рис. 6 представлен цикл жидкостного охлаждения КС-ЭВМ.

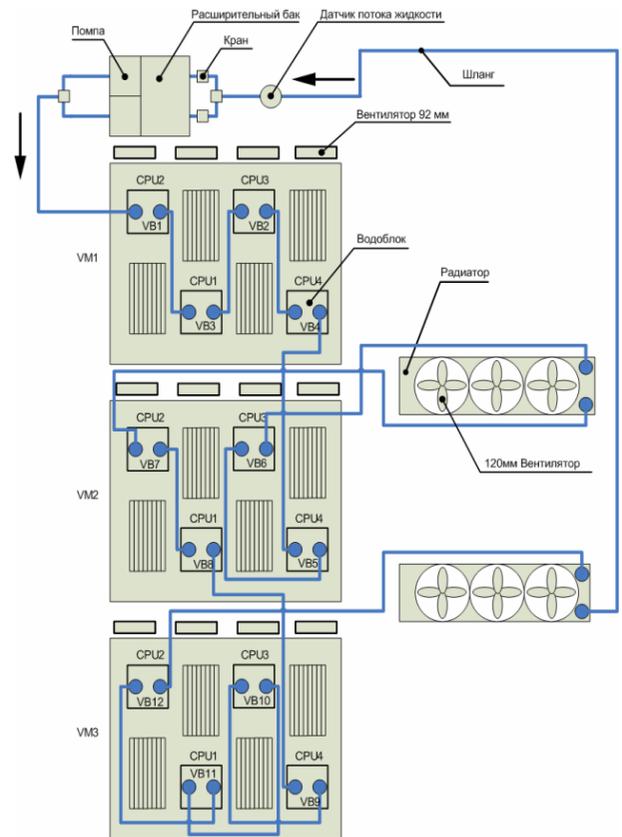


Рис. 6. Цикл жидкостного охлаждения КС-ЭВМ

Расширительный бак Acrylic Dual (рис. 7) от фирмы XSPC позволяет устанавливать две помпы Laing ddc непосредственно снизу резервуара. Для этого у помпы нужно снять крышку.



Рис. 7. Расширительный бак Acrylic Dual



Рис. 8. Помпа Laing ddc

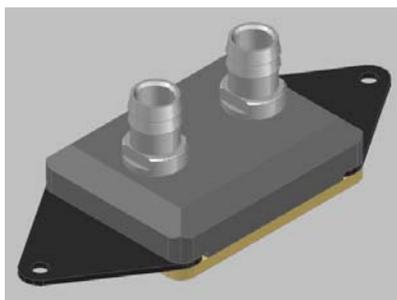


Рис. 9. Водоблоки Promodz g34



Рис. 10. Радиатор Black Ice 360

Помпа Laing ddc (рис. 8) разработана специально для использования в системах жидкостного охлаждения: малошумная (15 дБ), компактная, допустимый диапазон напряжения от 6 до 12 В, мощность 600 л/ч, наработка на отказ 50000 часов. В системе охлаждения КС-ЭВМ установлено две помпы. В случае поломки одной система мониторинга автоматически задействует запасную. В штатном режиме работы система мониторинга каждые пять часов переключает помпы для равномерного изнашивания.

Вода по соединительным трубкам поступает на водоблоки (рис. 9), которые устанавливаются на процессорах. Так как готовых водоблоков для сокета g34 на момент разработки АПК-1 не было, фирма Promodz по нашему заказу изготовила собственные водоблоки.

Для охлаждения оперативной памяти и чипсета материнской платы установлены четыре 92 мм вентилятора, которые выдувают нагретый воздух из корпуса.

После прохождения первых шести водоблоков нагретая вода попадает в радиатор (рис. 10), где происходит охлаждения. Для улучшения охлаждения на радиаторы установлены малошумные 120 мм вентиляторы.

Затем вода проходит остальные шесть водоблоков и попадает на второй радиатор. Перед тем, как вода попадает обратно в резервуар и повторит цикл, она проходит через датчик потока воды (рис. 11). Если датчик не фиксирует движение жидкости (число оборотов = 0), то система мониторинга автоматически отключает систему.



Рис. 11. Датчик потока воды

Испытание системы охлаждения КС-ЭВМ

Проверка работы системы жидкостного охлаждения проводилась при температуре окружающей среды 30 °С. Измерения температуры проводились с помощью системы мониторинга КС-ЭВМ.

При полностью включенной системе без нагрузки на процессоры температура находится в диапазоне 29–33 °С, температура чипсета – 36 °С (рис. 12).

Максимальная нагрузка КС-ЭВМ была достигнута при проведении теста Linpack, в ходе которого процессоры нагрелись до 55°С градусов, а чипсет – до 40°С (рис. 13). Данные тестирования показали, что система охлаждения работает исправно и способна эффективно охлаждать КС-ЭВМ.

Улучшение системы охлаждения КС-ЭВМ

Для улучшения работы системы жидкостного охлаждения КС-ЭВМ и повышения надежности планируется заменить соединительные трубки на металлический каркас рис. 14. Для стабилизации давления внутри системы будет установлена мембрана.



Рис. 12. Температура КС-ЭВМ без нагрузки



Рис. 13. Температура КС-ЭВМ во время теста Linpack

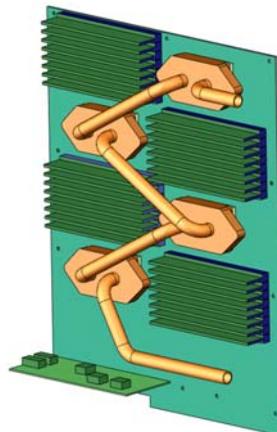


Рис. 14. Эскиз металлического каркаса