

МАЛОГАБАРИТНЫЕ КЛАСТЕРЫ С СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ

Д.Б. Жаворонков, А.Н. Евдокимчиков, Н.Н. Парамонов, А.Г. Рымарчук

В связи с развитием распределенных вычислительных сетей (GRID), постоянным повышением производительности многоядерных процессоров, с распространением суперкомпьютерных технологий для выполнения вычислительных работ в исследовательских группах, отделах, на небольших предприятиях возросла потребность в разработке малогабаритных высокопроизводительных вычислительных систем кластерного типа. Поэтому в рамках программы Союзного государства «СКИФ-ГРИД» в ОАО «НИИЭВМ» совместно с ОИПИ НАН Беларуси были разработаны два кластера. Оба кластера имеют принудительную воздушную систему охлаждения. Особенностью системы охлаждения этих кластеров является то, что в качестве теплопровода для отвода тепла от процессоров были использованы тепловые трубы, разработанные и изготовленные в Институте порошковой металлургии НАН Беларуси. В качестве охлаждающих элементов использовались ребристые радиаторы, которые обдуваются вентиляторами.

Тепловые трубы (heat pipes) представляют герметичную конструкцию, содержащую пористую капиллярную структуру с паровым каналом посередине. Перенос тепла в такой конструкции осуществляется за счет энергии фазового перехода в результате движения теплоносителя в виде пара от области нагрева к области конденсации и обратно в виде жидкости по капиллярной структуре (по фитиллю).

Тепловые трубы используются в системах охлаждения вычислительных кластеров для отвода тепла от процессоров. Основными преимуществами тепловых труб как теплопроводящих устройств являются:

- высокая скорость теплопередачи, которая намного выше скорости теплопередачи алюминия, меди;
- автономность работы (отсутствие движущихся частей и как следствие высокая надежность);
- долговечность (срок службы больше 10 лет).

Трубы применяются для улучшения характеристик системы охлаждения, т.к. тепловые трубы значительно эффективнее передают тепло радиатору.

Первый кластер с тепловыми трубами был разработан и изготовлен в 2008-2009 г.г. В качестве вычислительных узлов использовались малогабаритные серверы собственной разработки ОАО «НИИЭВМ». Охлаждающие радиаторы были расположены внутри сервера. Теплопередающая пластина, установленная на каждом из процессоров сервера, соединена с охлаждающим радиатором шестью тепловыми трубами белорусского производства. Каждая труба имеет диаметр 4 мм и обеспечивает отвод тепла мощностью 17 Вт. Такой теплоотвод обеспечивает отвод тепла мощностью не более 100 Вт. Охлаждающий поток воздуха создается вытяжным вентилятором, расположенным на вентиляционной панели стойки. Мощность этого вентилятора обеспечивает охлаждение внутренних элементов платы и радиаторов нескольких серверов, установленных в стойку. Для улучшения охлаждения глубина сервера имеет меньшие размеры, чем стандартные сервера форм-фактора 1U, и соединительный монтаж перенесен с тыльной стороны сервера на переднюю.

Кластер имеет стандартную архитектуру, состоит из 10 вычислительных узлов, управляющего узла,



Рис. 1

имеет две сети: системную Infiniband с технологией DDR, вспомогательную Gigabit Ethernet. Оборудование кластера размещено в одной стойке высотой 15U с габаритами: ширина-600мм, общая высота-800мм, глубина-900мм. Пиковая производительность кластера без управляющего узла составляет 383 Гфлопс.

В 2010 году был разработан и изготовлен персональный суперкомпьютер (кластер «ПСК-СКИФ»). В этом кластере была разработана система охлаждения, использующая теплоотводящие трубы, идущие от теплопроводящих пластин, установленных на каждом процессоре, к радиаторам, расположенным за пределами сервера. Это двухуровневая система охлаждения, включающая уровень сервера и уровень стойки. На рисунке 1 представлен сервер кластера «ПСК-СКИФ».

Теплоотвод процессора представляет собой две алюминиевые пластины с запрессованными в них тепловыми трубами. Одна пластина устанавливается на процессор и крепится к системной плате. Вторая пластина устанавливается на теплоотводящую пластину системы охлаждения уровня стойки. Отвод тепла от процессора обеспечивается шестью тепловыми трубами белорусского производства диаметром 4 мм. Каждая из труб обеспечивает отвод тепла мощностью 17 Вт. Для обеспечения теплового контакта по всей поверхности теплопередающих пластин используется специальная конструкция контроля положения теплопередающей пластины сервера в соединителе.

Система охлаждения стойки состоит из двух труб, радиаторов охлаждения и четырех теплопередающих пластин, расположенных в два ряда. Трубы имеют диаметр 16 мм. Каждая труба обеспечивает теплоотвод мощностью 250 Вт. К каждой пластине одного ряда системы охлаждения стойки подключается теплопередающая пластина теплоотвода процессора одного двухпроцессорного сервера. Максимальная мощность отвода тепла системы охлаждения стойки составляет не более 500 Вт. В кластере «ПСК-СКИФ», состоящем из 10 вычислительных узлов и одного вычислительного узла, используется 6 систем охлаждения уровня стойки.

Конструкция соединения теплопередающих пластин процессора и стойки является разборной, что позволяет устанавливать и извлекать узлы из стойки. Для охлаждения радиаторов уровня стойки и внутренних элементов узлов на задней двери стойки может быть размещено до трех вентиляторов. Вентиляторы работают на вытяжку и создают охлаждающий воздушный поток, проходящий над компонентами серверов радиаторами стойки.



Рис. 2

На рисунке 2 представлен вид спереди стойки с вычислительными узлами, коммутационным оборудованием, источником бесперебойного питания кластера «ПСК-СКИФ».

На рисунке 3 представлен вид с тыльной стороны стойки кластера «ПСК-СКИФ». На задней двери стойки расположено три вентилятора, которые охлаждают радиаторы шести систем охлаждения уровня стойки.

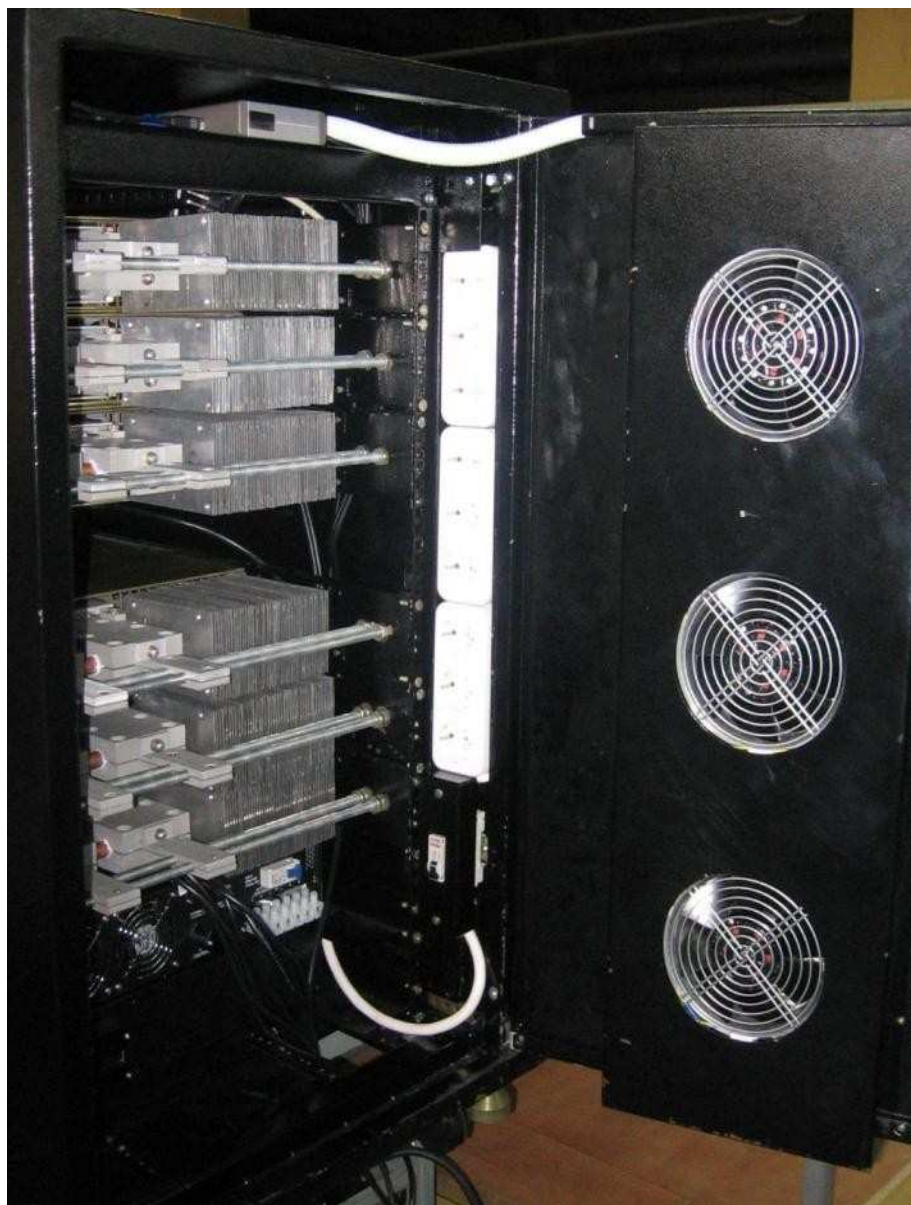


Рис. 3

Внешние связи между узлами кластера монтируются с лицевой стороны стойки кластера.

Кластер «ПСК-СКИФ» состоит из 10 вычислительных и одного управляющего узлов форм-фактора 1U. Вычислительные и управляющий узлы являются серверами разработки и производства ОАО «НИИЭВМ». Серверы построены на двухпроцессорной плате архитектуры SMP с 6-ядерными процессорами Intel Xeon L5640 (тактовая частота 2,267 ГГц). Емкость оперативной памяти составляет 24 Гбайт. На вычислительных узлах установлены накопители на жестком магнитном диске емкостью 250 Гбайт. На управляющем узле установлены два накопителя на жестком магнитном диске емкостью 500 Гбайт каждый.

Для эффективной организации вычислений на кластере имеется две внутренние выделенные сети: системная вычислительная сеть и вспомогательная сеть управления.

Системная вычислительная сеть использует технологию Infiniband QDR с пропускной способностью 40 Гбит/с.

Вспомогательная сеть Gigabit Ethernet обеспечивает связь между всеми узлами (управляющим и вычислительными) по протоколу TCP/IP, позволяет организовать выполнение параллельных программ и контролировать состояние узлов по протоколу IPMI 2.0.

Пиковая производительность кластера составляет 1,19328 Тфлопс.

Технические средства кластера располагаются в стойке 19" высотой 20U с габаритами: ширина-600мм, общая высота-1005мм, глубина-1005мм. Стойка разработана в ОАО «НИИЭВМ». Общий вес оборудования кластера составляет примерно 280 кг. Электропотребление кластера не превышает 7 кВА.

В обоих кластерах для отображения температуры внутри стойки и для управления включением/выключением вентиляторов в зависимости от температуры используется цифровые термометры с

индикацией.

Применение тепловых труб позволяет располагать радиаторы в местах корпусов серверов и стоек, удобных для воздушного охлаждения и объединять радиаторы нескольких групп компонентов. Это в свою очередь дает возможность использовать вентиляторы большего диаметра с меньшей скоростью вращения и, соответственно, меньшим уровнем шума для создания эквивалентного воздушного потока. Кроме того, уменьшается общее количество вентиляторов за счет отсутствия их в конструктиве серверов, что способствует уменьшению электропотребления на охлаждение.

Результаты проведенных экспериментов, тестирования и испытаний кластеров подтвердили работоспособность системы охлаждения на отечественных тепловых трубах и перспективность использования тепловых труб для теплопередачи в системах охлаждения кластерных конфигураций.