

Различные подходы к жидкостному охлаждению – PRO&CONTRA

Текст С. М. Абрамов, С. А. Амелькин, А. А. Чичковский

На границе двух стихий – «газ» и «жидкость» – противостояние в некотором смысле принципиальное и непримиримое. Сравнение «газ vs. жидкость» – тема горячая, по ней тоже можно найти достаточно много статей и обзоров¹.

Спор сторонников «газа» и «жидкости» в суперкомпьютерной отрасли еще будет продолжаться. По крайней мере, еще некоторое время.

В данной статье мы сосредоточимся на обсуждении различных схем организации жидкостного охлаждения.

Существенным преимуществом всех жидкостных схем охлаждения является лучшая теплоемкость жидкостей по сравнению с воздухом (от 1500 до 4000 раз) и больший коэффициент теплоотдачи (увеличение до 100 раз). Для охлаждения одного современного процессора необходимо 1 м^3 воздуха или $0,00025 \text{ м}^3$ (250 мл) воды в минуту. На перекачивание 250 мл воды тратится намного меньше электроэнергии, чем для перекачивания 1 м^3 воздуха.

Жидкостные системы охлаждения можно разделить на **закрытые**, где нет прямого контакта между жидкостью и электронными компонентами на печатных платах, и **открытые (погружные)**, в которых жидкость непосредственно омывает электронные компоненты.

Системы жидкостного охлаждения закрытого типа

В системах закрытого типа все теплообменяющие элементы печатной платы накрываются одним или несколькими плоскими пластинами с каналом для прокачки жидкости. Так, например, в суперкомпьютере «СКИФ-Аврора» исполь-

зовался принцип «одна охлаждающая пластина на одну печатную плату», соответственно, пластина имела сложный рельеф, чтобы иметь плотный тепловой контакт с каждой микросхемой. В суперкомпьютере IBM Aquasar используется принцип «одна охлаждающая пластина на одну (горячую) микросхему». В любом случае, каналы пластин объединяются коллекторами в единый контур, соединенный с общим радиатором (или другим теплообменником), обычно расположенным за пределами корпуса и/или стойки, или даже машинного зала. С помощью насоса через пластины прокачивается теплоноситель, который отводит тепло от элементов вычислителя и рассеивает его через теплообменник. В такой системе требуется обеспечить доступ теплоносителя к каждому теплообделяющему элементу вычислителя, что означает довольно сложную «трубопроводную систему», большое количество герметичных соединений.

С другой стороны, требуется обеспечить возможность обслуживания печатных плат без серьезного демонтажа в системе охлаждения. Это означает, что соединения должны быть герметичными, но размыкаться легко и без усилий. Для этого, как правило, применяются специальные жидкостные разъемы.

В системах жидкостного охлаждения закрытого типа можно в качестве теплоносителя использовать обычную воду или растворы гликолей. Однако утечка теплоносителя может привести к большим проблемам – как минимум потребует остановки всего комплекса для проверки системы электропитания и ее просушки. Вот почему в системе управления и мониторинга таких компьютеров многочисленные внутренние датчики влажности и протечек – далеко не лишние.

Упомянем еще одну проблему систем жидкостного охлаждения закрытого типа – проблема «точки росы». Воздух ЦОД входит в контакт с пластинами охлаждения. Значит, если какие-то участки этих пластин слишком холодные, а воздух в ЦОД более теплый и не слишком сухой, то на пластинах может сконденсироваться влага. Возможные последствия, как и у протечек, рассмотрены выше. Проблема решается двумя мероприятиями: (1) переходом на охлаждение горячей водой; (2) контролем и поддержанием параметров температуры и влажности воздуха в ЦОД.

Системы жидкостного охлаждения открытого (погружного) типа

Существуют системы охлаждения, свободные от перечисленных недостатков: это открытые системы жидкостного охлаждения. В 1985 году компания Cray выпустила суперкомпьютер Cray-2, который представлял собой внушительный резервуар, заполненный теплоносителем с погруженными в него материнскими платами и блоками питания. Некоторые из тех машин по настоящее время используются в американских военных ведомствах.

Таким образом, у систем жидкостного охлаждения открытого (погружного) типа не просто более древняя история, но еще и более богатая – в смысле количества «историй успеха», количества проданных и успешно работающих реальных систем.

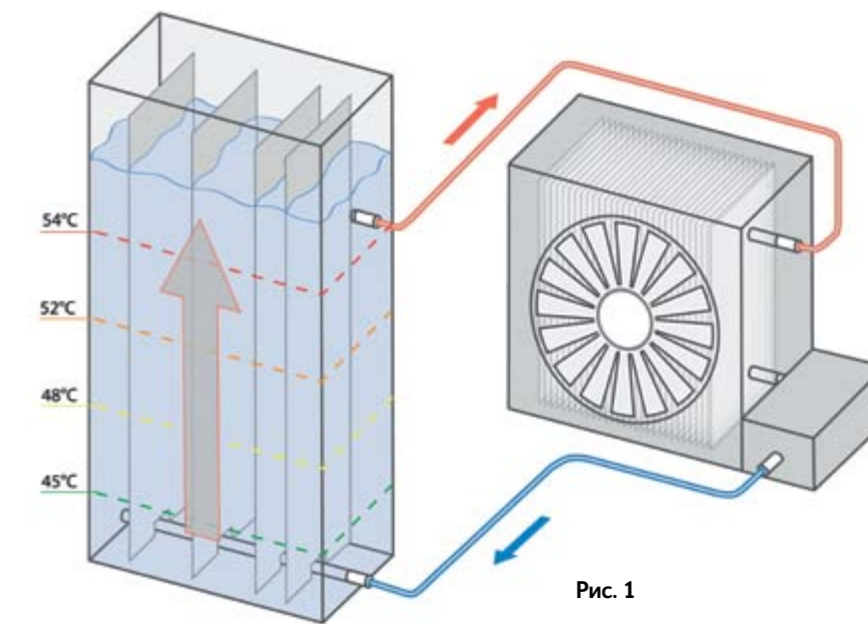
По сравнению с жидкостным охлаждением закрытого типа, в системах открытого типа радикально упрощается конструкция. По сути, в пределах одной емкости – можно для простоты исполь-

зовать привычный термин «шасси» – мы имеем дело с единым объемом жидкости, в которую погружены все печатные платы. Конструкция максимально простая и герметичная. Здесь нет сложной системы коллекторов, нет жидкостных разъемов. При изменении геометрии используемых печатных плат не надо заниматься разработкой и изготовлением охлаждающих пластин новой формы – с новым рельефом. Охлаждающих пластин просто нет.

Так как в рамках шасси нет коллекторов, то нет и проблемы расчета разных диаметров разных протоков или управления потоками жидкости в этих коллекторах. Полностью исчезает проблема «точки росы». Не надо думать о температуре, влажности, да и загрязненности (в любом смысле этого слова) окружающего воздуха. В том числе это важно для вычислительных комплексов средней производительности – за счет их герметизации можно обеспечить их использование в самых неблагоприятных условиях: производствах с агрессивными средами, существенной загрязненностью или запыленностью воздуха, низким давлением воздуха и т. п.

Из общих соображений, по сравнению с системами охлаждения закрытого типа упрощение конструкции должно повлечь и повышение надежности изделия, и уменьшение его цены. Разумеется, если используемая жидкость будет иметь разумную цену!

Развитие погружных систем охлаждения, к сожалению, было ограничено как раз высокой стоимостью теплоносителя, к которому предъявляются жесткие требования по тепло- и электропроводности. В отличие от закрытых и гибридных схем охлаждения, здесь невозможно использовать воду или растворы гликолей. Традиционно в качестве второй (и, кажется, последней) проблемы систем жидкостного охлаждения закрытого типа называют большой вес. Действительно, большая емкость, заполненная жидкостью, должна иметь солидный вес... Однако при рассмотрении системы охлаждения закрытого типа, например, с принципом «одна охлаждающая пластина на одну печатную плату», мы увидим шасси с плотно упакованными модулями. И практически все пространство, не занятое печатными платами и микросхемами, будет заполнено металлическими охлаждающими пластинами. А металл заведомо тяжелее жидкости такого же



объема. Поэтому проблема оптимизации веса систем с жидкостным охлаждением закрытого типа – это вопрос качественной инженерной проработки решения.

Таким образом, системы охлаждения открытого (погружного) типа представляются весьма перспективной областью разработки. Неудивительно, что в течение уже более 20 лет ведущие производители вычислительной техники – IBM, HP, Google, Intel и др. – проводят работы по созданию погружных систем охлаждения. Результаты этих работ защищены рядом патентов, что говорит о том, что этот путь развития систем охлаждения представляется одним из перспективных.

В России этой темой занимаются ИПС РАН и компания «Сторус». Технологические мы систему охлаждения рассматриваем как совокупность двух подсистем (рис. 1):

- подсистемы утилизации тепла, обеспечивающей отвод тепла в окружающую среду (нагрев воздуха, воды, отвод тепла излучением, на рис. справа);
- подсистема охлаждения узлов вычислителя (материнских плат, дисковых накопителей, блоков питания) и контроллер автоматического управления системой охлаждения (на рис. слева).

Подсистема утилизации тепла позволяет поддерживать оптимальный режим работы в зависимости от вычислительной нагрузки и состояния окружающей среды. Обе подсистемы могут быть выполнены как набор модулей, что по-

зволяет формировать вычислительный комплекс для любых условий эксплуатации – например, при существенных колебаниях температуры среды, когда требуется либо отводить тепло от вычислительной подсистемы, либо, наоборот, подогревать ее.

Для высокопроизводительных вычислительных систем такой способ охлаждения позволяет:

- полностью убрать какие-либо особые требования на температуру, влажность и загрязненность воздуха ЦОД;
- обеспечить наиболее плотную упаковку компонентов, включая как материнские платы, так и блоки питания и жесткие SSD-диски;
- существенно упростить всю систему охлаждения, повысить ее надежность;
- по сравнению с воздушным охлаждением: обеспечить более комфортные условия работы в помещении ЦОД за счет снижения шума и повышения температуры воздуха, сократить площадь, занимаемую вычислительной системой (отказ от горячих/холодных коридоров и внутрирядовых кондиционеров).

Таким образом, системы охлаждения погружного типа представляются нам наиболее универсальными, свободными от многих недостатков как воздушных, так и систем жидкостного охлаждения закрытого типа. Среди прочего, такой вывод базируется на нашем опыте создания реальных систем всех трех типов – и многочисленных систем с воздушным охлаждением, и систем с жидкостным: как закрытого типа («СКИФ-Аврора»), так и погружных. ■

¹ Например, статья И. Обухова «Водяное охлаждение компьютеров: очередной фальстарт?»