

Замещать новыми технологиями, а не повторять



Сергей БЕЛИК

независимый эксперт

bsv17@list.ru
+7 916 260 9113

Вопреки расхожему мнению, российские компании создали немало оригинальных технологических разработок, успешно апробированных и иллюстрирующих, что в самых быстрорастущих направлениях отрасли ЦОД и у нас есть что предложить. И не только для внутреннего использования, но и на экспорт. Чем большим будет объем реализаций, тем более качественными станут и сами решения — это уже общее правило развития технологий. Наши разработчики сегодня могут

Импортозамещение — термин, который ассоциируется с организацией производства в нашей стране оборудования, ранее закупаемого за рубежом. Но ключевое в этом слове — «замещение». Этот термин подразумевает в том числе и применение технически новых продуктов-«заменителей», имеющих такой же функционал, но обладающих большей эффективностью.

расширить рынок сбыта за счет предложения технологических «заменителей», превосходящих по комплексу параметров лучшие мировые образцы.

Российские разработки вполне конкурентны

Для начала стоит определиться с основными направлениями развития отрасли ЦОД. Прежде всего, это сокращение потребления энергии на охлаждение. Повторение производства чиллеров и кондиционеров из основных узлов, изготавливаемых

за рубежом, ни при каких условиях не позволяет решить эту задачу. В лучшем случае можно приблизиться к техническим характеристикам импортных разработок.

Лидеры мирового ИТ-рынка ищут способы, как снизить потребление энергии на охлаждение, иногда экспериментируя с совсем неочевидными технологиями. Например, Microsoft испытывает экспериментальный ЦОД, погруженный в океан ниже температурного клина, где температура воды всегда достаточно низкая. Google

планирует разместить дата-центр на судне и использовать для охлаждения забортную воду, поднимаемую с глубины. Но с учетом экономических показателей основными направлениями развития на этом пути являются постепенный переход к технологиям охлаждения ИТ-оборудования жидкостью и прямое охлаждение уличным воздухом.

В России — прежде всего за счет природной изобилия и дефицита бюджетов на эксперименты и исследования — уже найдены простые решения сложных технических задач в указанных областях и апробированы конструкторские решения, позволяющие реализовать эффективные и недорогие системы охлаждения на основе двух вышеупомянутых подходов. То есть в самой динамично изменяющейся подсистеме ЦОД нам есть что предложить даже зарубежным заказчикам.

Целесообразно не повторять производство чиллеров и кондиционеров, которые все равно не решают ключевую задачу кардинального сокращения непродуктивного энергопотребления, а использовать продукты-«заменители», которые решают ту же функциональную задачу (охлаждение

ИТ-оборудования), но превосходят существующие за рубежом решения.

Прямое охлаждение наружным воздухом

Итак, **прямой фрикулинг (fresh air cooling)**. Принцип работы здесь простой: не нужно охлаждать воздух, который забрал тепло ИТ-оборудования, — он удаляется за пределы машинного зала, а на вход ИТ-оборудования непрерывно поступает новый поток холодного воздуха с улицы. Как очистить его от пыли, тополиного пуха и прочих загрязнителей, мы рассматривали в одной из предыдущих публикаций («ЦОДы РФ», № 24/25, стр. 41–44, статья «**Универсальный ЦОД с прямым охлаждением уличным воздухом**»). Описанное техническое решение — использование системы двухуровневой фильтрации на основе мембран из ретикулированного пенополиуретана — было проверено эксплуатацией на нескольких объектах в течение трех лет. В том числе в районах, где температура окружающего воздуха опускалась до -37°C . И никаких сбоев не было.

Тем не менее в случае прямого охлаждения поступление на вход ИТ-оборудования воздуха с температурой

-10°C и ниже потенциально приводит к сокращению срока службы ИТ-систем и появлению «плавающих» сбоев. К тому же большая часть пластиковых компонентов ИТ-оборудования не рассчитана на работу при отрицательных температурах. Оптические коннекторы, соединители шлейфов, разъемы питания и плат расширения — все эти элементы имеют пластиковые детали с определенным коэффициентом термической деформации. Расстояние между контактами может быть меньше миллиметра, металлические контактные группы имеют свой коэффициент расширения. Коннекторы «играют», если температура отрицательная. В результате — сбои передачи данных и нарушение питания, а в худшем случае — выход из строя серверов и прочих систем. То есть ключевая задача при создании решений, работающих по принципу свободного охлаждения, — это обеспечение стабильной положительной температуры воздуха на входе в ИТ-оборудование, даже когда «за бортом» мороз.

Но западные разработки, использующие принципы fresh air cooling, практически все размещены в зонах с мягким климатом, где не бывает сильных морозов. А оборотная





сторона такого размещения — летняя жара. Чтобы охладить серверы в период высоких температур, требуются дополнительные модули — адiabатические, фреоновые, водяные. Это приводит к общему удорожанию системы охлаждения, росту потребления энергии, а также к ограничениям по моделям ИТ-оборудования, которое можно размещать в таком ЦОДе. Приходится использовать дорогостоящие серверы, рассчитанные на работу при +40 °С, отказываться от размещения некоторых типов вычислительного оборудования и т. д. Решение, позволяющее снять эти ограничения, есть: можно, например, размещать такие ЦОДы в зоне умеренного климата и обеспечивать положительную температуру в холодном коридоре в мороз. Последняя задача решается в ряде патентов, например **US 9,769,953 B2** или **US 8,659,895 B1**. Однако все это сложные решения, требующие дополнительных датчиков, исполнительных устройств, а иногда и вмешательства в схемотехнику серверов.

Все можно сделать гораздо проще. В большинстве типов современного ИТ-оборудования уже есть датчики температуры, а также интеллектуальный интерфейс управления платформой (Intelligent Platform Management Interface, IPMI). То есть современный сервер сам подскажет, какая температура внутри его корпуса. Также

он потенциально может управлять вентиляторами, питанием и прочими встроенными инженерными устройствами. Используя программируемый микроконтроллер BMC (Baseboard Management Controller) — ядро, на основе которого и реализована IPMI, можно настроить алгоритмы, по которым сервер будет снижать скорость ротации внутренних вентиляторов и при определенных условиях вращать их в обратную сторону. Прелесть в том, что такой метод не требует никаких дополнительных устройств в инженерной инфраструктуре ЦОДа. Что в результате?

Когда на улице, скажем, -40 °С, все входные клапаны ЦОДа, использующего прямой фрикулинг, закрыты,

Это позволяет выровнять градиент температур, смешивая уличный воздух с нагретым непосредственно перед серверами, благодаря чему можно обеспечить постоянную положительную температуру в холодном коридоре. Такой алгоритм может быть реализован как для определенного участка дата-центра, так и для всех серверов в машинном зале с общей системой управления инженерной инфраструктурой ЦОДа.

Последний вариант предпочтительнее, поскольку в таком случае обратное вращение вентиляторов будет включаться по внешней команде и именно там, где выявлено снижение температуры в холодном коридоре ЦОДа. Причем особенности работы

Можно настроить алгоритмы, по которым сервер будет снижать скорость ротации внутренних вентиляторов.

но через щели холодный воздух продолжает поступать в машинный зал. В этом режиме встроенные вентиляторы начнут вращаться в обратном направлении, нагнетая нагретый воздух из горячего коридора в холодный.

IPMI позволяют использовать для подмеса горячего воздуха вентиляторы тех серверов, которые в данный момент времени не особенно нагружены. Таким образом, использование такого подхода дает возможность размещать

ЦОДы с прямым воздушным охлаждением даже в прохладном климате и, кроме того, позволяет снизить общую стоимость системы охлаждения и потребление энергии. Также в таких дата-центрах можно размещать любые типы ИТ-оборудования.

На практике такое решение проверено в самом неблагоприятном случае — для специальных вычислительных устройств, в которых классического ВМС вообще не было, а встроенное ПО контроллера было закрытым, так как производитель не предоставил исходных кодов. Российским разработчикам пришлось создать дополнительный программный блок, который «перехватывал» измеренную температуру на низком уровне и преобразовывал команды управления вентиляторами.

(джамперов) в нужной последовательности, для того чтобы можно было полностью управлять встроенными ЕС-вентиляторами. Аналогично была решена еще одна проблема, которая проявилась в процессе эксплуатации. Обратное давление воздуха в горячем коридоре в некоторых режимах фактически останавливало относительно слабые вентиляторы в блоках питания, что вызывало «стоячую волну» и перегрев. Но решение здесь также имеется. Внешней командой можно просто отключить питание вентиляторов, и они только за счет внешнего давления будут раскручиваться в обратном направлении.

Движения воздуха из горячего коридора в холодный было достаточно для охлаждения блоков питания, многие из которых могут работать

вычислительного оборудования, позволяет на несколько десятых сократить PUE ЦОДа, а оно при использовании прямого воздушного охлаждения и так низкое. Описанный подход — это не теоретическое допущение. Автор статьи непосредственно принимал участие в создании решения такого типа. В итоге система безостановочно проработала несколько лет. Подобный подход может быть востребован на иностранных рынках как недорогой и эффективный метод охлаждения оборудования ЦОДов.

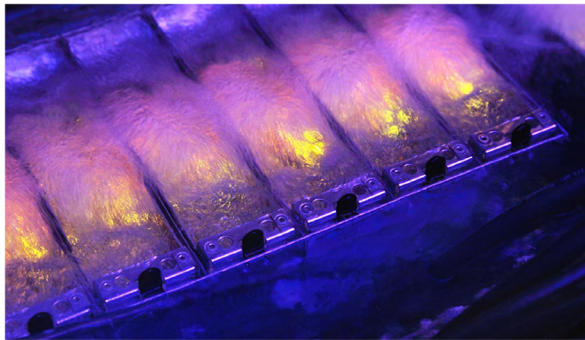
Прямое охлаждение ИТ-оборудования жидкостью

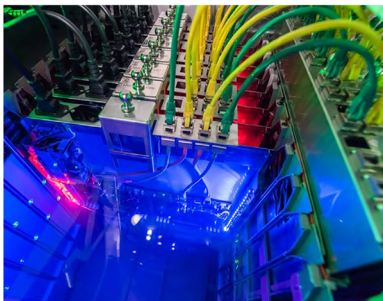
Прямое охлаждение наружным воздухом при всей своей эффективности имеет ограничение: даже в самых благоприятных условиях с помощью этой технологии не получится отвести больше 50-60 кВт тепла от одного ИТ-шкафа. К тому же такие системы требуют постоянного обслуживания. Периодически необходимо менять или промывать воздушные фильтры, ремонтировать или заменять двигатели вентиляторов и т. д. В то же время прямое жидкостное (иммерсионное, «погружное») охлаждение хотя и обходится несколько дороже, но при этом позволяет отводить 400 кВт и более в расчете на единицу площади, занимаемую

Решение позволяет на несколько десятых сократить PUE ЦОДа.

В некоторых случаях может потребоваться модификация платы управления, но, как правило, такие доработки заключаются в установке перемычек

при температурах вплоть до +60 °С. Это решение, реализация которого в большинстве случаев требует программирования и мелких доработок





одним ИТ-шкафом, к тому же она практически не требует обслуживания.

Еще одним потенциальным преимуществом иммерсионных систем охлаждения является возможность увеличить производительность (срастить) некоторых типов вычислительных систем и обеспечить эффективный теплоотвод от микропроцессоров с малыми линейными размерами и высокой тепловой нагрузкой. Именно эти преимущества делают иммерсионную технологию одной из самых востребованных

в современных ЦОДах. Особенно в тех из них, которые ориентированы на поддержку систем, работающих с задачами по глубокому машинному обучению, построению сложных математических моделей и другим, где предполагается использование специализированных микропроцессоров (ASIC).

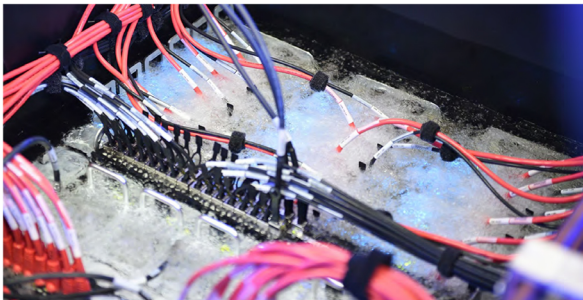
Однако пока подобные технологии охлаждения не получили широкого распространения. На одной из последних выставок CeBIT

демонстрировалось подобное решение, разработанное одной из ведущих японских корпораций. Создатели с нескрываемой гордостью рассказывали, каких показателей энергетической эффективности они добились, что эта система позволила на 10% увеличить вычислительную мощность серверов, а срок жизни ИТ-оборудования при таком охлаждении, по их расчетам, увеличивается минимум вдвое. И тут же, рядом с прозрачным «аквариумом», в котором работали серверные платы (с них даже не удалили радиаторы), на полу лежал целый ворох тряпок, впитывавших жидкий теплоноситель, который стекал по всем выходящим из емкости кабелям.

Видимые невооруженным взглядом «детские болезни» японской иммерсионной системы, связанные с гипертекучестью теплоносителей, показательны и подтверждают, что ее создатели находятся на ранних стадиях разработки.

Российские разработчики устранили подобные недостатки в конце первого десятилетия XXI века и ушли гораздо дальше, успешно решив еще десятки технических задач и применяя нетривиальные инженерные решения. Вычислительные блоки — танки (от англ. tank) — с погруженными вычислительными устройствами самых разных типов работают у нас в стране в суперкомпьютерных центрах, университетах и силовых ведомствах уже десятилетие. Наши системы функционируют в условиях Арктики и в пустыне, где





температура воздуха выше +50 °С. Это подтверждает существование технологическое преимущество отечественных разработок перед иностранными в одном из самых перспективных направлений развития ЦОД.

Даже если иностранцы начнут догонять российских разработчиков, они вряд ли смогут сделать системы дешевле, чем у нас, поскольку минеральное масло, исполняющее роль теплоносителя в отечественных разработках, примерно в 10 раз дешевле импортных аналогов. Статистически подтвержденные расходы на эксплуатацию российских решений гораздо меньше, чем для любой другой системы охлаждения. К тому же система полностью замкнута, загрязнений нет, ИТ-оборудование находится в оптимальных условиях тепловода и практически не выходит из строя.

Что еще примечательно, такие системы могут работать в обычном ЦОДе: нет каких-то особых требований к оборудованию помещения. Минимальные параметры — наличие ровной площадки с наветсом, который будет защищать от осадков и на котором будут размещаться драйкулеры, а энергосистему несложно разместить рядом в контейнере или климатическом шкафу. Это тщательно проработанное решение, проверенное многолетней успешной эксплуатацией, заметно дешевле любых иностранных аналогов, и его уже сейчас вполне можно экспортировать.

Жидкостная система охлаждения с фазовым переходом

Наибольший отвод тепла с единицы площади микропроцессора достигается при кипении теплоносителя. Эффективность отвода тепла в таком случае может быть на три порядка выше, чем в случае с погружением системных плат в специальную жидкость. В таких условиях можно эффективно охлаждать миниатюрные специализированные процессоры, например, используемые на видеокартах, или тензорные чипы (Tensor Processor Unit), линейные размеры которых могут быть в 10 раз меньше, чем у кристалла.

В специальных вычислителях с воздушным охлаждением, собираемых на основе таких микропроцессоров, система управления принудительно ограничивает вычислительную мощность, поскольку воздух отвести объем вырабатываемого тепла физически невозможно. То есть такие микропроцессоры используются не на полную мощность, а на 60 или 70% от номинальной производительности. Погружая системные платы таких вычислителей в жидкий теплоноситель, который закипает при допустимых на поверхности корпуса температурах (например, при +70 °С), можно обеспечить наилучшие показатели производительности за счет эффективного съема тепла. Таких систем

жидкостного тепловода с фазовым переходом в мире создано и испытано множество, но все они обладают существенными недостатками.

В основном проблемы связаны с необходимостью поддержания высокого давления в закрытом контейнере, где размещается ИТ-оборудование, а применяемые фторсодержащие производные насыщенных углеводородов (фреоны) ядовиты при переходе в газообразное состояние, к тому же системы выходят из состояния теплового баланса при значительном изменении температуры окружающей среды. В России на простейшем уровне испытано простое решение, в котором не нужна специальная емкость для высокого давления. Суть в том, что емкость с кипящим фреоном — это фактически выходной каскад обычного кондиционера прямого испарения с относительно низким давлением. Соединяя контейнер (танк) с пассивным бескомпрессорным конденсаторным блоком, получаем наружный контур фреонового кондиционера без компрессора.

При балансировке давлений реализуется режим, при котором газообразный фреон полностью конденсируется. Управление скоростью вентилятора драйкулера реализуется по обратной связи от датчика в жидкостной магистрали. В такой системе требуются теплообменники с большой площадью радиатора. Но при этом энергетическая



эффективность системы может быть меньше 1, если при расчетах учитывать потребление вентиляторов, использующихся внутри ИТ-устройств для воздушного охлаждения.

Так, на прототипе охлаждаемые воздушные устройства потребляли 100 кВт (включая примерно 3,7 кВт, которые требовались встроенным вентилято-

преимуществом использования такой системы охлаждения будет возможность увеличения вычислительной производительности устройств, что в свою очередь может привести к интересному парадоксу.

Если учесть, что вычислительную мощность можно увеличить на 25–30% и, соответственно, отказаться от при-

Вычислительную мощность можно увеличить на 25–30% и, соответственно, отказаться от приобретения дополнительных вычислительных узлов.

рам), а среднегодовое (расчетное) потребление емкостей с кипящим фреоном составило 98 кВт, и внутренние вентиляторы уже были не нужны. При этом в обоих случаях количество микропроцессоров было равным.

Прототип испытывался в прохладном климате, и конденсация фреона с температурой +70 °С практически не требовала включения вентиляторов драйкулеров. Дополнительным

обретения дополнительных вычислительных узлов, то экономленные средства с избытком перекроют стоимость системы охлаждения, которую, таким образом, заказчик получает «бесплатно». То есть пользователь получит фиксированную вычислительную мощность вместе с системой охлаждения за меньшую цену, чем пришлось бы отдать за аналогичное ИТ-оборудование с воздушным охлаждением.

Объем публикации не позволяет развернуто описать множество оригинальных российских технологических разработок в других подсистемах, составляющих инженерную инфраструктуру ЦОДа. Например, быстроедействующие высокоскоростные АВР (БАВР), рассчитанные на напряжение 6–20 кВ. Они позволяют реализовать переключение на резервный фидер электропитания при стоимости устройства на порядок ниже, чем классический АВР на 0,4 кВ, поскольку в них коммутуются токи в 30 раз меньше, чем в АВР одинаковой мощности. Или шкафные высокоскоростные АВР, в которых реализована схема быстрого переключения без разрыва синусоиды на твердотельных силовых ключах. После оперативного переключения в нуле тока схема позволяет перейти на работу на традиционных контакторах, что сводит практически к нулю их собственное энергопотребление. Западные аналоги на порядок дороже, к тому же они не работают с постоянным током.

Именно такое импортозамещение, когда решается задача не повторения, а замены (что, собственно, и заложено в самом термине), рано или поздно начнет массово распространяться и вытеснять не самые прогрессивные и дорогие западные разработки «российской сборки». Процесс пойдет быстрее, если появится ощутимый внутренний спрос. Больше ничего и не нужно — все остальное приложится. В любом случае, когда накопится критическая масса успешно реализованных проектов, подтвердивших свою эффективность и экономичность на практике, экспорт технологий начнет расти. Таковы законы рынка. Иностранцы коммерческие заказчики найдут способ, как купить российские разработки даже в условиях ограничений, если оборудование или решение позволяет вдвое сэкономить или обеспечить уникальные технические параметры. ■

Если вы хотите оставить комментарий к статье, воспользуйтесь данным QR-кодом.

