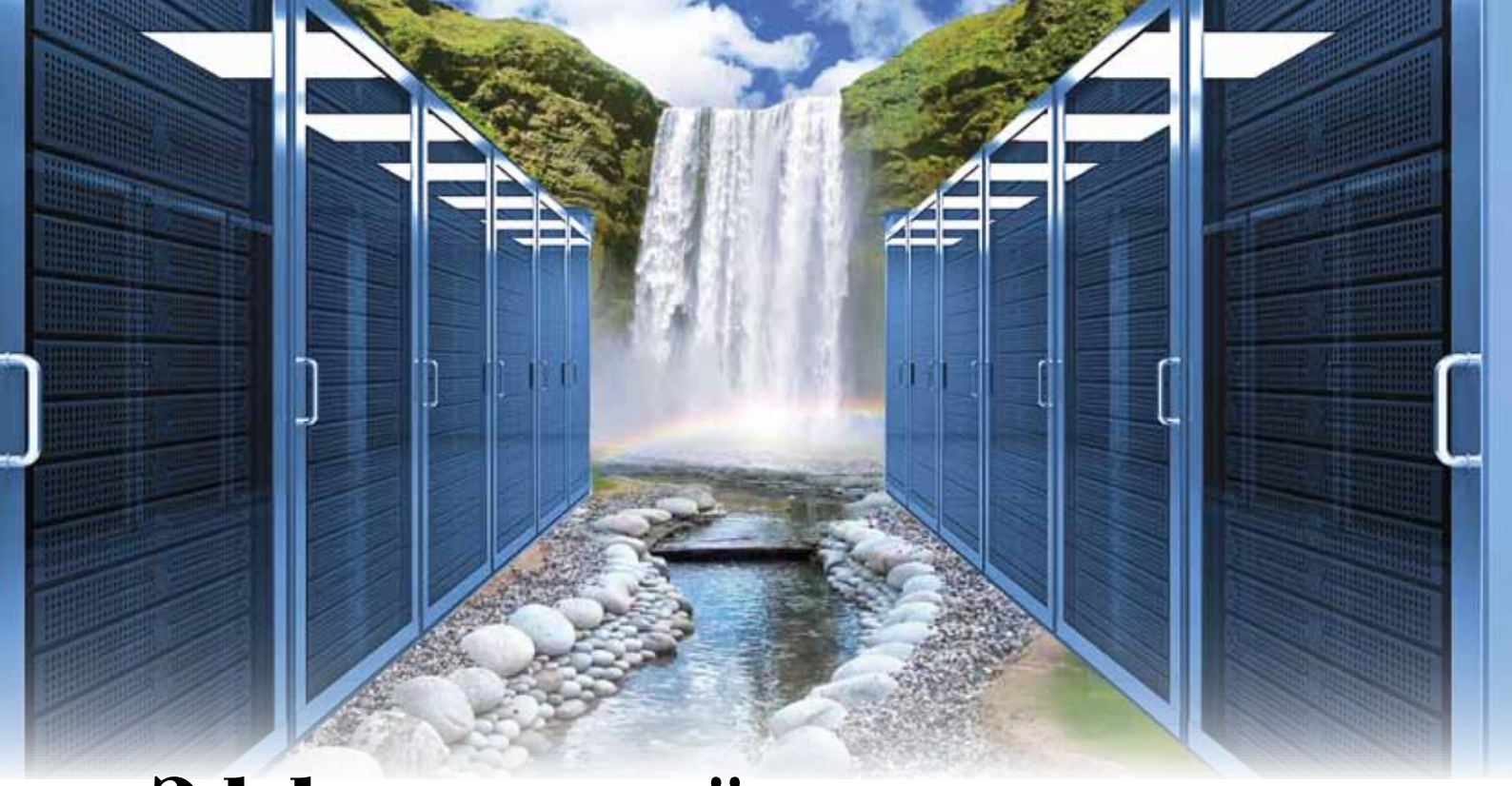

Эффективный дата-центр — о PUE и не только

Игорь КИРИЛЛОВ,
Константин КОВАЛЕНКО

Коэффициент энергоэффективности — один из важнейших показателей ЦОД — создает многочисленные спекуляции вокруг этого понятия. Как отличить правду от вымысла и что действительно позволяет снизить энергопотребление дата-центра?

Оплата электроэнергии составляет львиную долю расходов современного дата-центра. В большинстве случаев они достигают 80–90% от общих эксплуатационных затрат на содержание комплекса. Неудивительно, что в этом свете понятие ***энергоэффективности*** выходит на первый план для «ЦОДовладельцев».

Именно для первой приближенной оценки этого фактора организацией Green Grid в 2007 году был предложен коэффициент PUE (Power Usage Efficient), который из-за своей простоты и наглядности оказался настолько популярным, что вскоре, можно сказать, начал жить собственной жизнью, превратившись в некий международный эталон. Затем он был поднят на щит производителями оборудования для ЦОД и владельцами дата-центров по всему миру. «Погоня за PUE» стимулировала появление многочисленных спекуляций вокруг данного термина. В то же время реальная картина далеко не всегда соответствует декларируемым показателям.

Важный момент

Почему именно PUE так будоражит умы нынешних «ЦОДостроителей»? Все просто. Согласно статистике, стоимость электроэнергии составляет 80% (и более) всех эксплуатационных затрат дата-центра. Остальные проценты приходятся на сервисное обслуживание оборудования, расход воды (увлажнение, особенно в случае адиабатического охлаждения), зарплату персонала. Поэтому владельцам ЦОД важно понимать, какая часть электроэнергии расходуется с пользой для дела (на ИТ-оборудование), а какая — необходимый «балласт», который требуется для поддержания инженерной инфраструктуры. Именно на этот вопрос и позволяет ответить коэффициент PUE, который, как известно, равен частному от деления общей мощности комплекса на потребление ИТ-нагрузки. Понятно, что даже по своему определению он должен быть больше единицы, но некоторые хитрецы умудряются обосновать PUE, равный 1 (об этом немного позже).

www.gigacenter.com.ua

GIGACENTER

D A T A C E N T E R

TIER 3

2 MW

RACKS 300

Самые энергоэффективные мировые дата-центры показывают среднегодовой коэффициент в диапазоне 1,2–1,1. Хотя есть и уникальные решения с PUE 1,06 и даже меньше, но это пока единичные реализации, вроде комплексов Facebook или Google. Среднемировой показатель, по данным Uptime Institute, в 2014 году был равен 1,7, что лучше, чем в 2011-м, но хуже, чем в 2013 году (**рис. 1**).

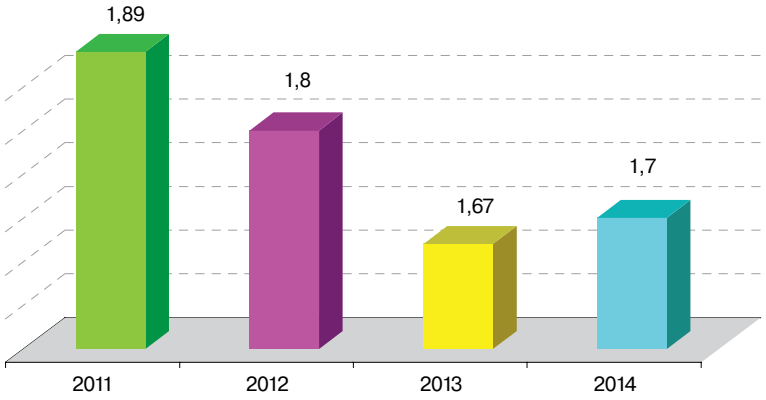

Рис. 1. Среднемировой показатель PUE в 2011–2014 годах по данным Uptime Institute

В нашей стране очень хорошим считается показатель 1,35 — его способны продемонстрировать лишь единицы дата-центров. Реальный коэффициент для большинства украинских ЦОД (неважно, корпоративных или коммерческих) находится в диапазоне 1,6–2,5. Отметим, что здесь и далее речь идет именно о среднегодовых показателях, ибо срез за более короткий период времени плохо отражает реальную ситуацию, учитывая сезонные и суточные колебания нагрузки. Также сложно подсчитать реальный коэффициент для слабо загруженных объектов, поскольку в этом случае инженерная инфраструктура будет по определению чрезмерно избыточной, а значит, энергоэффективность останется на невысоком уровне.

Кстати, стоит отметить, что низкий PUE — это не всегда оправдано с экономической точки зрения. Затраты на получение рекордного коэффициента, скажем 1,2 или даже 1,1, могут оказаться столь высокими, что достижение этого показателя уже не будет иметь смысла. Так, Uptime Institute периодически демонстрирует эмпирически полученный график зависимости совокупной стоимости владения (TCO) от коэффициента PUE (**рис. 2**).

Как видим, при PUE<1,2 затраты существенно возрастают, равно как и срок окупаемости. Но если на отрезке PUE>1,6 TCO увеличивается за счет операционных затрат, то при PUE<1,2 львиная доля расходов приходится уже на затраты капитальные. Именно по этой причине очень часто PUE дата-центра определяется не столько возможностями технологий, сколько сроком окупаемости, требованиями инвестиционного комитета компании и т.д.

В целом же популярность PUE объясняется его простотой и наглядностью. Хотя на практике подсчитать реальный показатель очень непросто, но заявления о достижении низкого коэффициента являются серьезным маркетинговым преимуществом. По естественным причинам владельцы дата-центров хотят достичь наименьшего PUE, это позволяет производителям оборудования широко использовать манипуляции с этим коэффициентом в рекламных целях. Ведь энергоэффективные решения всегда стоят дороже «обычных». Однако стоит учитывать, что достижение низкого PUE зависит не от какой-то одной системы, а от целого ряда факторов, которые мы рассмотрим в следующем разделе.

На практике же сам подход к вычислению PUE может отличаться. Например, «создатель» этого коэффициента Green Grid подразумевает отношение общего потребления на «счетчике» внутри дата-центра к показателю потребляемой мощности ИТ-оборудования. В то же время, скажем, Google использует параллельно два коэффициента,

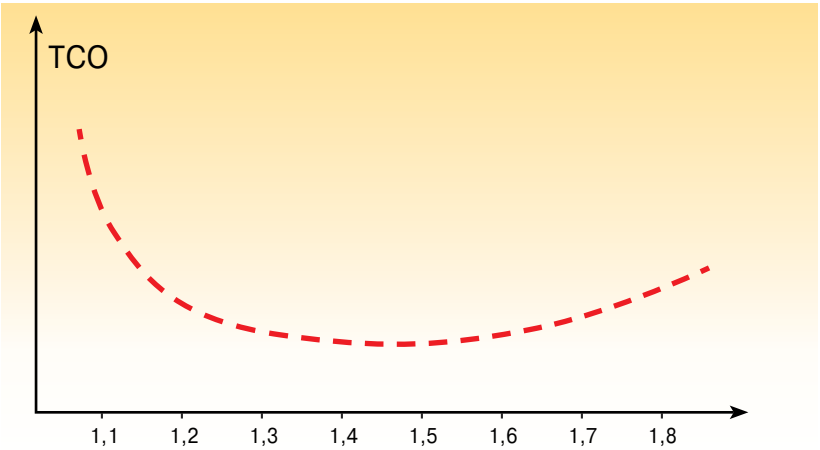

Рис. 2. Зависимость совокупной стоимости владения (TCO) дата-центра от коэффициента PUE по данным Uptime Institute

А в это время в Швейцарии...

R&M
Convincing cabling solutions

В ноябре 2014 года швейцарский оператор Green.ch открыл вторую очередь своего дата-центра на западе Цюриха (в районе Лупфиг). Благодаря проекту расширения данный ЦОД стал крупнейшим коммерческим объектом в стране. Green Datacenter Zurich-West – первый в мире ЦОД, реализованный с применением систем постоянного тока мощностью 20 МВт на площади 10 тыс. кв. м. Общая сумма планируемых инвестиций составляет 120 миллионов швейцарских франков. Проект реализован при участии компании «Райхле и Де-Массари» (R&M). Объект был построен за шестнадцать месяцев и успешно прошел сертификацию Uptime Institute на соответствие уровню надежности Tier III, а также сертификацию SQS и IQNet ISO-27001 и ISO-50007. Одним из преимуществ нового дата-центра является PUE – 1,19. К тому же, учитывая, что Green.ch является владельцем четырех центров обработки, объект планируется сертифицировать на соответствие требованиям Uptime Institute Tier IV.

помещая в числитель в первом случае потребляемую мощность на входе трансформатора, а во втором — на выходе (а точнее, на ГРЩ — главном распределительном щите ЦОД).

Некоторые компании в ряде случаев указывают «сезонный» PUE (например, за осенний или весенний период, когда дата-центр полностью охлаждается за счет фрикулинга), демонстрируя наиболее выгодные соотношения.

Если на площадку заходят два и больше энерговводов, то, как правило, хороший электрик распределяет их таким образом, что от каждого питается только часть ИТ-нагрузки и часть инженерных подсистем. При этом от одного ввода может питаться, скажем, 80% серверов и 20% кондиционеров, а от второго наоборот. Несложно представить, что если подсчитать PUE только на одном «нужном» вводе, то показатель энергоэффективности будет просто сказочным.

Другая крайность — недогрузка дата-центра на первом этапе эксплуатации. Предположим, комплекс рассчитан на 1 МВт, но сейчас ИТ-нагрузка не превышает 0,1 МВт. Поскольку некоторые подсистемы, к примеру, кондиционеры, не предназначены для работы ниже определенного минимального уровня мощности, на первом этапе уровень потребления может оказаться чрезмерным. В итоге даже самый грамотно спроектированный ЦОД покажет очень высокий PUE.

Можно подумать, что манипуляция с этим коэффициентом — особенность постсоветских стран. Однако на Западе дело обстоит не лучше. И желающих побороться за звание самого «зеленого» и энергоэффективного дата-центра более чем хватает. Например, в начале прошлого года директор британской компании NGD (Next Generation Data) заявил, что построенный ими дата-центр демонстрирует PUE, равный единице! Детальное исследование вопроса показало, что речь в данном случае идет о некой подтасовке фактов. Дело в том, что данный ЦОД общей площадью 70 тыс. кв. м (самый крупный в Европе на данный момент) использует параллельно два источника электроэнергии. Один из них — электрический ввод 35 кВ от местной ГЭС — питает только ИТ-нагрузку, инженерные же подсистемы получают электроэнергию от солнечных батарей, размещенных на крыше комплекса. По заявлениям представителей компании, альтернативная энергетика обеспечивает до миллиона киловатт-часов в год, что полностью покрывает потребности «не-ИТ» части. Однако если считать в данном случае PUE по методике Green Grid, то он все равно будет крайне привлекательным — около 1,18.

Как улучшить ~~карму~~ PUE

Рассмотрев в общих чертах основные понятия, методы оценки и фальсификации коэффициента энергоэффектив-

ности, поговорим о современных подходах, которые сегодня применяются для его реального улучшения, а также о том, какие решения будут использоваться в ближайшем будущем.

Самой энергозатратной частью инфраструктуры дата-центра является подсистема охлаждения. Согласно данным ASHRAE, на нее приходится до 40% (иногда больше) всей потребляемой мощности комплекса. Поэтому неудивительно, что больше всего можно сэкономить именно здесь. В любом случае выбор того или иного решения, а также его внедрение и оптимизация — это, в первую очередь, вопрос грамотного проектирования и реализации в условиях конкретного проекта. Что удачно вписывается в дизайн одного дата-центра, в другом может оказаться неприменимо. Тем не менее основные пути уменьшения PUE можно рассмотреть в рамках этой небольшой статьи.

Наиболее эффективным способом экономии на энергопотреблении инженерной инфраструктуры дата-центра сегодня можно назвать фрикулинг — охлаждение наружным воздухом. Дело в том, что до 80% энергозатрат в системе кондиционирования приходится на работу компрессоров, прокачивающих хладагент в замкнутом контуре и обеспечивающих холодильный цикл. Использование фрикулинга позволяет переложить задачу теплообмена лишь на вентиляторы, которые потребляют электроэнергии в разы меньше. Если же эти вентиляторы будут оснащены энергосберегающими EC-двигателями с переменной скоростью вращения, тогда затраты сокращаются еще больше.

В случае использования фрикулинга возможны две принципиальные схемы. Первая — в помещение дата-центра холодный наружный воздух подается непосредственно, точнее — проходя через специальную камеру, где он обычно фильтруется, увлажняется или осушается, а если он слишком уж холодный, то смешивается с частью воздуха, нагретого ИТ-оборудованием. Тогда речь идет о прямом фрикулинге.

Непрямая схема подразумевает, что наружным воздухом охлаждается промежуточный теплообменник, который, в свою очередь, отводит тепло, выделяемое ИТ-оборудованием дата-центра.

Обе схемы имеют свои преимущества и недостатки. В первом случае высоки требования к очистке поступающего воздуха — обслуживание специальных фильтров выливается в отдельную статью расходов. И хотя на PUE такое решение влияет очень позитивно, возрастают общие эксплуатационные расходы. Кроме того, в холодное время года поддержание заданной влажности поступающего уличного воздуха, который, как известно, очень сухой в морозные дни, также требует значительного расхода электроэнергии. При повышенной влажности, напротив, требуется дополнительное осушение.

Вместе с тем непрямой фрикулинг, хотя имеет более низкий КПД, не требует таких расходов на увлажнение. Поэтому выбор конкретного решения зависит от погодных условий в регионе. Для нашей страны в принципе подходят оба варианта. В украинских дата-центрах фрикулинг может использоваться большую часть года, обеспечивая существенную экономию электроэнергии. Но технология имеет ограничения по температуре внешнего воздуха. Если она выше +22–24 °C, придется использовать адиабатическое охлаждение (распылять мелкодисперсную воду вокруг теплообменника), тогда диапазон расширяется до +30–40 °C, но требуется дополнительный расход воды. Приблизительные расчеты показывают, что на каждый отведенный кВт*ч потребуется около 2 кг жидкости.

Отметим также, что эффективность распыления воды форсунками адиабатической системы (и, соответственно, расхода воды) тем больше, чем выше в контуре давление жидкости. Но при этом повышаются также требования к очистке этой воды. Эффективность решения тем ощутимее, чем более эффективно построена система адиабатического увлажнения, что описывается коэффициентом WUE (water use efficiency). Но возвращаясь к вопросу прямого фрикулинга, если окружающая температура потенциально может подняться еще выше — без традиционных кондиционеров с компрессорами (или чиллерного контура) не обойтись

Кроме того, прямой фрикулинг подразумевает, что каналы, подающие (отводящие) воздух в помещение дата-центра, будут весьма габаритными, а вся система довольно громоздкой, что является очевидным недостатком в условиях ограниченного пространства. В этом случае большое значение приобретают конфигурация и протяженность воздуховодов. Их сечение и количество поворотов на пути воздуха существенно влияют на эффективность охлаждения, точнее — на уровень необходимой мощности вентиляторов. Неправильный расчет способен нивелировать весь положительный эффект от внедрения энергосберегающих технологий. Как показывает практика, рост мощности вентиляторов вдвое увеличивает воздушный поток во столько

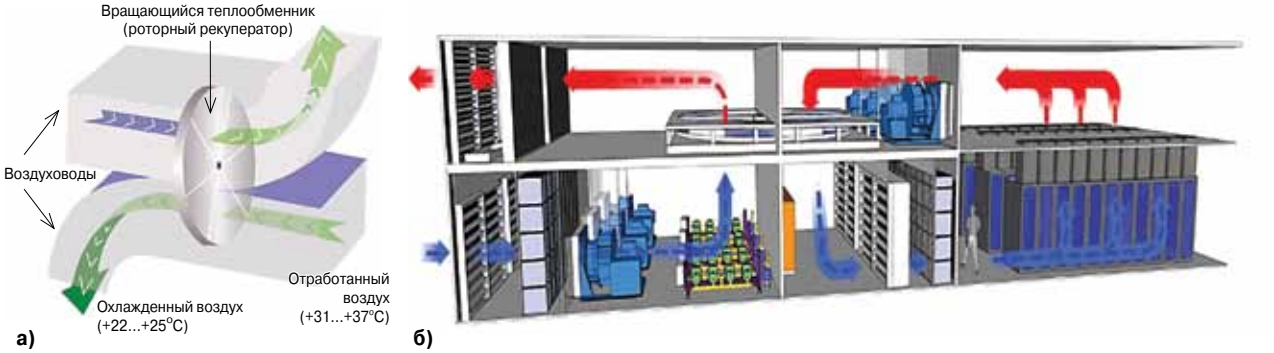

Рис. 3. Схема охлаждения типа «Киото-кулинг»: охлаждающий модуль (а) и его место в инженерной системе дата-центра (б)

же, но их энергопотребление возрастает уже в восемь раз!

В целом же, по данным многих авторитетных организаций, свободное охлаждение с экономической точки зрения оправдано главным образом в регионах, находящихся выше 50° северной широты (Киев, например, расположен именно в этой зоне).

В последнее время модной темой стало обсуждение ИТ-оборудования, позволяющего использовать на входе повышенную температуру воздуха. Если традиционный диапазон, рекомендуемый ASHRAE, составляет +18–27 °C при 40% влажности, то в 2011 году в список были добавлены особые типы систем, для которых температура входящего воздуха может достигать +40–45 °C. Казалось бы, хороший вариант, и для охлаждения можно использовать наружный воздух круглый год в большинстве регионов мира. Но очевидным минусом подобных решений является использование гораздо более мощных встроенных вентиляторов, чем в традиционном ИТ-оборудовании. К чему это ведет — уже было сказано. И не стоит забывать, что работая более интенсивно, сами вентиляторы начинают выделять больше тепла, которое также надо отводить.

Кстати, интересным моментом является эффективность работы вентиляторов в зависимости от высоты над уровнем моря — чем выше, тем больше она падает. Скажем, на высоте 1000 м производительность вентиляторов составляет 93% от номинала, а на 3000 м падение эффективности составляет почти 20%.

Вообще, оптимизация воздушных потоков в помещении дата-центра — отдельная статья улучшения PUE. Значительно помогает здесь изоляция холодного или горячего коридора, использование межрядных кондиционеров, наличие специальных заглушек в неиспользуемых частях серверных шкафов, высокая степень перфорации шкафных дверей, правильно подобранные плитки фальшпола и целый ряд других факторов.

О том, как правильно организовать распределение воздуха под фальшполом и как подобрать его оптимальную высоту, написаны целые книги, тем не менее простая рекомендация: не захламлять это пространство, несмотря на свою очевидность, выполняется далеко не всегда. Нередко путь холодному воздуху преграждают целые конструкции из монтажных коробов, пучков кабеля и вообще посторонних предметов. Как следствие, эффективность охлаждения, а соответственно и PUE дата-центра, существенно снижается.

Возвращаясь к теме свободного охлаждения, надо сказать, что оно может использоваться также и в чиллерной схеме. В этом случае, если позволяют погодные условия, внешний фреоновый контур холодильной машины «отдыхает», а теплообмен осуществляется посредством сухой градирни. Последняя представляет собой пластинчатый теплообменник с вентиляторами, через него с помощью насосов прокачивается водно-гликолевый раствор внутреннего контура охлаждения (который и обеспечивает отвод тепла от ИТ-оборудования). Такой тип фрикулинга также позволяет существенно экономить электроэнергию.

Раз уж мы затронули жидкостное охлаждение, следует напомнить, что на энергоэффективность здесь весьма значительно влияют протяженность и конфигурация водно-гликолевых трасс, а также состав раствора хладагента. Чем меньше воды — тем хуже теплоемкость, а значит, насосам системы придется работать более интенсивно для поддержания нужного уровня температуры. При этом недостаток этилен- или пропиленгликоля чреват замораживанием раствора зимой во внешних трубках чиллера. Так что и здесь требуется баланс, учет региональных метеоусловий и грамотный подбор конфигурации решения.

Кстати, для охлаждения воды вполне возможно использовать

земные недра. На Западе такие проекты весьма актуальны, чего не скажешь о нашей стране, да и всей территории бывшего СССР. Речь идет, например, о технологии прокачки воды через специальную скважину глубиной до 90 метров. Поскольку в этом слое земли температура невысокая, прогоняя через нее воду можно охладить жидкость до +12–15 °С, что вполне соответствует привычной чиллерной воде. При этом для охлаждения фактически используется только небольшой насос, качающий воду. Есть также технологии использования специальных подземных резервуаров со льдом, которые выполняют роль аккумуляторов холода.

Еще один интересный вариант непрямого фрикулинга — т.н. «Киото-кулинг» (Kyoto Cooling), где роль промежуточного теплообменника выполняет специальный роторный блок (**рис. 3**).

Несколько лет назад решение считалось очень перспективным. Немногочисленные практические реализации позволяли достичь PUE не выше 1,2. Недавно такое решение было создано компанией «Аякс Инжиниринг» для дата-центра «Яндекс» в России. Весьма вялое распространение такой, казалось бы, эффективной системы объясняется ее недостатками, в числе которых — сложность в построении, настройке, управлении, зависимость от интегратора (поскольку решение штучное). Кроме того, все равно требуется наличие традиционных систем охлаждения для сглаживания пиков внешних температур.

Впрочем, это общий недостаток систем фрикулинга — необходимость наличия гарантированной охлаждающей системы на случай, если погода преподнесет сюрпризы. Известен случай, когда в одном из крупных зарубежных дата-центров после трех лет успешной экспериментальной эксплуатации без традиционного водяного охлаждения при «удачном» стечении обстоятельств возник сильный туман, который начал конденсироваться внутри помещения, образуя подобие дождя. Это привело к аварийной остановке дата-центра. Наличие традиционной чиллерной или фреоновой системы охлаждения позволило бы избежать описанной неприятности. Хотя она и потребовалась бы всего один раз за много лет. Избыточно? Безусловно! Такова цена высокой надежности.

Вместе с тем не стоит забывать о том, что само помещение дата-центра осуществляет теплообмен. Соответственно, плохо изолированные стены и перекрытия могут стать источником несанкционированного нагрева машинного зала, например, если это длинная стена, выходящая на солнечную сторону, или тонкая крыша, покрытая черным рубероидом. Поэтому при расчете теплового баланса в ЦОД стоит обязательно учитывать сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, так как часть тепла передается или принимается извне, что снижает эффективность охлаждения.

Вторым после охлаждения источником улучшения PUE является система электропитания, но основной метод оптимизации — использование устройств с высоким КПД на всем «пути следования» электрического тока. Это касается главным образом ИБП и трансформаторов. Но повысить PUE могут даже электрические кабели — чем выше их качество, больше сечение, тем ниже сопротивление и, соответственно, меньше потери. Следует уделять внимание также электрическим соединениям, которые могут быть источниками паразитных тепловыделений (поэтому и регламентируется периодическое сервисное обслуживание щитов, а также проверка их тепловизором).

Экзотика? Будущее!

Пионерами в освоении самых передовых технологий для ЦОД традиционно являются крупные ИТ-компании (***Google***, ***Microsoft***, ***Facebook*** и другие), а также суперкомпьютерные центры. Но то, что сегодня считается высокотехнологичной экзотикой, через несколько лет может перекочевать в обычные дата-центры. В общих чертах, если рассматривать инженерную инфраструктуру самых передовых комплексов, то можно выделить ряд характерных особенностей, главной из которых является использование «зеленых» технологий для охлаждения и электропитания. В частности, активно применяется ветровая и солнечная энергетика. Правда, в этом случае сам ЦОД располагается где-то в безлюдной местности с наиболее подходящими метеоусловиями. Все перечисленные ниже проекты за счет использования уникальных на сегодняшний день технологий обеспечивают PUE не более 1,15, а зачастую и гораздо ниже.

Для охлаждения активно используется прямой фрикулинг. Например, Google один из своих ЦОД, размещенных в пустыне, охлаждает довольно горячим внешним воздухом. Чтобы это не стало проблемой, используется ИТ-оборудование с расширенным температурным диапазоном и мощными вентиляторами. Рост энергопотребления в этом случае, очевидно, не слишком беспокоит владельцев, ибо электропитание обеспечивается за счет «дармовой»

а)

б)

Рис. 4. Дата-центр Verne Global, размещенный в Рейкьявике: вид сверху (а) и одна из его энергетических установок на гейзере (б)

солнечной энергии. Правда, по последней информации, на площадке все-таки пришлось установить фреоновую систему охлаждения, поскольку окружающая температура в пустыне несколько раз поднималась выше самых смелых ожиданий. PUE такого решения ниже 1,1. Но ориентировочная стоимость одного крупного дата-центра Google составляет от нескольких сотен миллионов долларов до $1 млрд. Здесь очевиден еще один нюанс «зеленых» технологий — они стоят весьма недешево.

Солнечные батареи используются и в дата-центре ***Apple***, который размещен в Северной Калифорнии (США). Их общая площадь составляет 400 тыс. кв. м, что обеспечивает до 42 млн. кВт*ч электроэнергии в год. Однако это все равно лишь 60% потребностей ЦОД, остальное покрывается за счет специальной электростанции, работающей на биотопливе. Передовые дата-центры также активно используют биогаз, получаемый за счет разложения органических отходов. «ЦОД на метане», который вырабатывается из коровьего навоза, активно использует Microsoft. Боле того, один из дата-центров компании расположен возле станции водоочистки, что позволяет получать биогаз на основе скапливающихся там отходов.

Рекордсменом по охлаждению горячим воздухом можно, наверное, считать дата-центр eBay, где на оборудование подается воздух с температурой +46 °C. Для этого используется жидкостная система отвода тепла, «холодная» вода в которой имеет температуру почти +30 °C (в обычных дата-центрах этот показатель, как правило, не превышает +12–15 °C). Это уникальное решение даже по мировым меркам, но оно работает, обеспечивая PUE 1,05.

Другая крайность — создание ЦОД на далеком севере, где для охлаждения может использоваться вода из природных источников. По такому пути пошла компания Facebook, построив один из своих дата-центров вблизи Полярного круга, на территории Швеции вблизи Ботнического залива. Рядом с комплексом протекает река Луле, где установлена небольшая ГЭС, что позволяет обеспечивать комплекс дешевой электроэнергией. С другой стороны, холодная проточная вода используется для циркуляции в жидкостной системе охлаждения. Таким образом, можно обойтись без чиллеров. Также для кондиционирования ЦОД используется холодный наружный воздух. Среднегодовая температура в регионе составляет всего +1 °C. Свой северный ЦОД, размещенный в Финляндии, имеет и Google. Здесь также используется холодная вода из Финского залива. При этом здание, где размещен комплекс, ранее принадлежало бумажной фабрике, а ведь при производстве бумаги используется много чистой воды. Это и натолкнуло инженеров компании на мысль разместить там ЦОД. Правда, сделка обошлась недешево — за одни только помещения было заплачено $350 млн.

Дата-центр Verne Global размещен в столице Исландии Рейкьявике (**рис. 4**). Большая часть его отдана для нужд компании BMW. Выбор места обусловлен не только наличием холодной воды и воздуха. Здесь для получения «зеленой» электроэнергии используются гейзеры. Один такой горячий источник позволяет обеспечить до 10 МВт мощности. А гейзеров в окрестностях Рейкьявика немало.

На постсоветском пространстве использование для охлаждения ЦОД естественных водоемов не получило распространения. Главным образом из-за несовершенного законодательства, которое очень усложняет процедуру получения

разрешений на пользование подобными ресурсами. Единственный комплекс, которому удалось получить все необходимые документы, строится сейчас в Иркутске (РФ), мощность дата-центра должна составить 12 МВт, а электропитание обеспечивается за счет близлежащей ГЭС.

Интересный подход использует и HP в своем дата-центре, расположенном на британском берегу Серверного моря. Здесь большую часть года дуют постоянные ветры. Поэтому комплекс был сориентирован таким образом, чтобы естественный поток воздуха задувал в систему воздуховодов. Внутри комплекса достаточно использовать лишь вентиляторы. Кроме того, ветер, благодаря ветрогенераторам, также вырабатывает электроэнергию, а дождевая влага собирается на крыше, а затем используется в системе пароувлажнения.

Но самым оригинальным можно, наверное, назвать дата-центр банка Citigroup (Citi Data Center) во Франкфурте (**рис. 5**). Вдобавок ко всевозможным «зеленым» технологиям один из фасадов здания покрыт натуральной травой, которая не только придает зданию незабываемый внешний вид, но и служит в качестве естественной изоляции помещения, а также собирает дождевую воду, которая затем используется в системе адиабатического охлаждения.

Если ЦОД, активно использующие «зеленые» технологии, можно условно отнести ко второму поколению, то на горизонте уже появилась следующая итерация энергоэффективных дата-центров. В них будет использоваться иммерсионное («погружное») охлаждение, которое по своей эффективности превосходит все имеющиеся сегодня технологии.

Рис. 5. Citi Data Center — зеленый ЦОД в прямом смысле этого слова

Идея вполне проста и логична — отводить тепло от оборудования с помощью более плотной среды, чем воздух. Доступные сегодня технологии подразумевают погружение серверов в диэлектрическую жидкость, которая циркулирует в замкнутом контуре. В качестве теплоносителя предлагается использовать особое минеральное масло. Такой подход имеет массу преимуществ. Во-первых, полностью отпадает необходимость в пароувлажнении и вентиляторах на оборудовании, автоматически решается вопрос с пылью в серверной.

Кроме того, появляется значительный резерв в работе системы охлаждения. Даже если пропало ее электропитание, теплоемкость и объем плотного теплоносителя позволит охлаждать ИТ-нагрузку еще довольно длительное время без перегрева. Поскольку охлаждающая жидкость имеет максимальную площадь соприкосновения с оборудованием, ее температура вполне может быть всего на несколько градусов ниже предельно допустимых значений для серверов. Например, +40–45 °C, то есть его не придется в дальнейшем сильно охлаждать, что существенно экономит электроэнергию. Ну и главное достоинство такого метода — рекордные показатели отвода тепла.

Первые решения для иммерсионного охлаждения показала еще в 2012 году Intel, с тех пор технология развивалась. В том же году компания Green Revolution Cooling вывела на рынок решение CarnotJet, уникальной особенностью которого является возможность использования обычных серийных 19" серверов (**рис. 6**).

Правда, их предварительно требуется подготовить — снять вентиляторы, изолировать жесткие диски, заменить термопасту. Далее серверы помещаются в специальные герметичные 42U стойки, внутри которых циркулирует фирменный хладагент GreenDEF (нетоксичное диэлектрическое минеральное масло). Вся стойка занимает примерно столько же места, сколько и обычный серверный шкаф, и весит 1,5 тонны. Правда, серверы устанавливаются в нее не горизонтально, а вертикально. При этом от каждой стойки можно отвести до 100 кВт тепла.

Однако не вполне понятно, для чего обычным серверам такая охлаждающая способность, характерная для суперкомпьютерных систем (которые, кстати, тоже имеют прямое жидкостное охлаждение, но хладагент в этом случае циркулирует по герметичным трубкам, распо-

ложенным внутри серверных узлов). Очевидно, речь идет все же о принципиальных возможностях использования технологии. Пока что, правда, иммерсионное охлаждение не приобрело большой популярности. Все же его реализация еще довольно дорога, а кроме того, сложна в построении и эксплуатации. Как ожидается, на массовом рынке подобные решения начнут приобретать популярность не ранее чем через десять лет — т.е. к 2025 году.

Впрочем, уже есть реальные внедрения подобных систем для охлаждения ИТ-оборудования, где используется иммерсионное охлаждение, к тому же с фазовым переходом «жидкость-газ». В качестве теплоносителя применяется Novec 1230. Он кипит уже при +49 °С, что позволяет значительно понизить температуру фазового перехода и увеличить эффективность охлаждения. К тому же дополнительным преимуществом подобного решения является еще и защита от возгораний.

Если не случится неожиданного технологического прорыва, перспективы технологий в сфере инженерной инфраструктуры ЦОД в целом просматриваются весьма отчетливо. По крайней мере, на ближайшие 10–15 лет. Очевидно, что инженерные системы дата-центров в своем нынешнем виде подошли к исчерпанию возможностей для дальнейшего повышения эффективности. Для большинства современных ЦОД (назовем их «первым» поколением) даже показатель PUE 1,4–1,3 является труднодостижимым. Следующую генерацию дата-центров (назовем ее «второй») будет отличать непременное использование возобновляемых источников электроэнергии, а также естественных природных ресурсов (воды и ветра) для систем охлаждения.

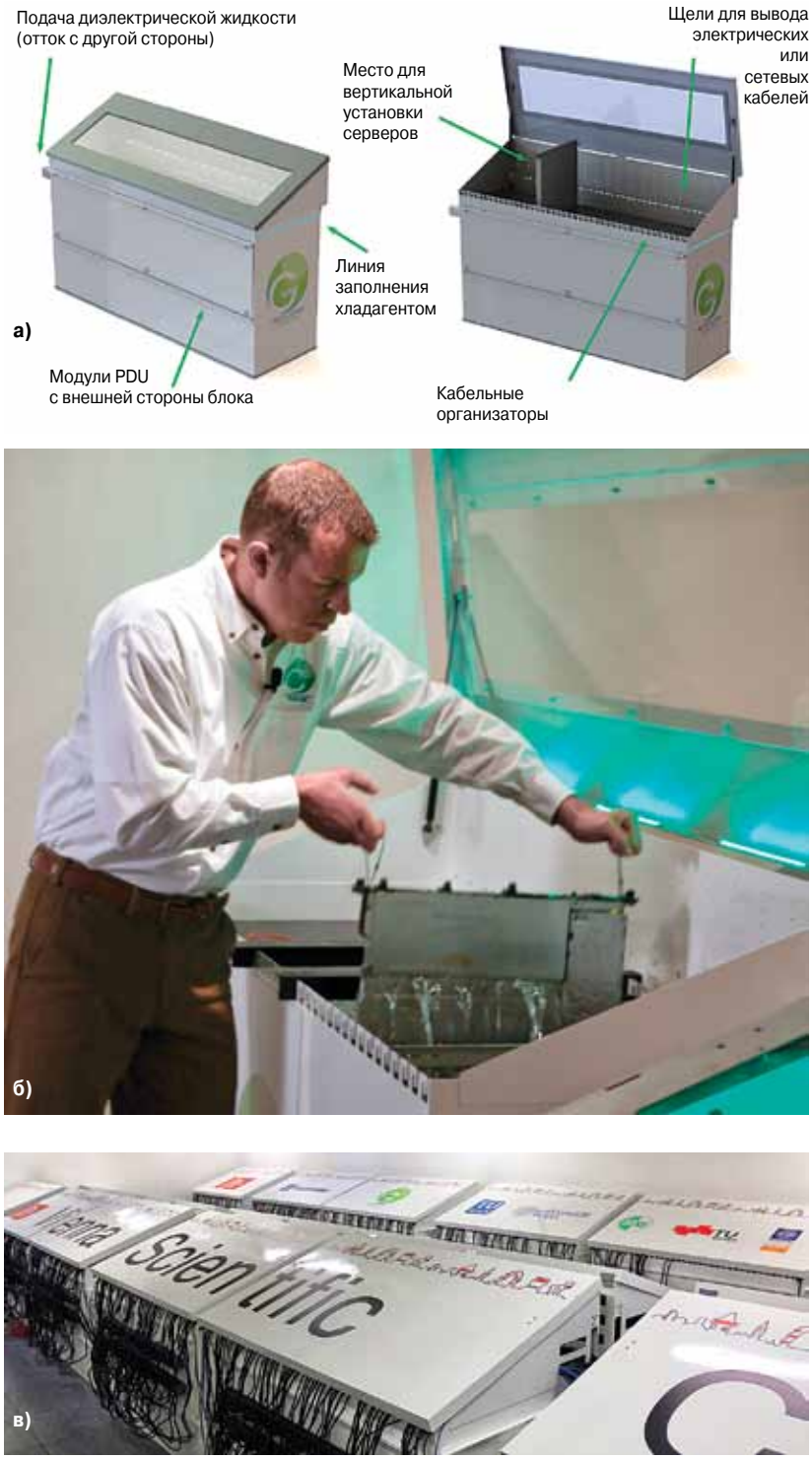

Рис.6. Система иммерсионного охлаждения серверов CarnotJet, разработанная Green Revolution Cooling: а) общая схема; б) погружение сервера; в) рабочие модули в сборе

Для таких комплексов нормальный уровень PUE — 1,2 и ниже. В дальнейшем дата-центры второго поколения будут, очевидно, дополняться иммерсионными системами, что позволит при благоприятных условиях достичь коэффициента энергоэффективности 1,05 и ниже даже для массовых внедрений. Но это пока еще вопрос среднесрочной перспективы даже для экономически развитых стран.

Игорь КИРИЛЛОВ,
Константин КОВАЛЕНКО,
СиБ