

Адиабатика и свободное охлаждение в ЦОД: природа помогает ЭКОНОМИТЬ

Игорь КИРИЛЛОВ

Применение системы свободного охлаждения стало стандартом де-факто во всех современных реализациях ЦОД. Этому немало способствуют и последние разработки производителей, поднявшие фрикулинг на новый уровень эффективности, благодаря чему удается достичь удивительных показателей PUE — 1,2–1,1 и даже немного ниже.



Все нормальные дата-центры стремятся к энергоэффективности! Этой фразой вполне можно охарактеризовать нынешнее положение дел в отрасли ЦОД, где оплата потребленной электроэнергии является основной статьей операционных расходов. Экономить здесь можно по-разному, и в идеальном случае подход должен быть комплексным, включающим не только инженерную инфраструктуру, но и сами вычислительные системы, оптимизированное ПО и даже бизнес-модель предоставления услуг.

Но это слишком обширная тема для одной статьи. Здесь же мы рассмотрим лишь один источник повышения энергоэффективности, а именно системы охлаждения, которые, как известно, являются самыми «прожорливыми» потребителями в инженерной инфраструктуре ЦОД. Как показывает мировая практика, лучше всего сэкономить на охлаждении помогают системы фрикулинга, использующие наружный воздух или воду для отведения (прямо или косвенно) излишнего тепла от оборудования дата-центра. Но каждая технология имеет свои нюансы, и не всегда то, что идеально подходит в условиях крупных реализаций, будет актуальным для небольших проектов.

Взять у природы лучшее

Идея охлаждать оборудование дата-центра уличным воздухом или водой натуральных водоемов кажется вполне естественной. Действительно, скажем, в наших широтах сильная жара бывает не так уж и часто, большую часть года температура окружающей среды не превышает тех самых 22–27 °С, рекомендуемых ASHRAE для охлаждения ИТ-оборудования в ЦОД. То есть вполне логично было бы охлаждать «начинку» дата-центра непосредственно уличным воздухом. Так родились концепции прямого и непрямого фрикулинга — свободного охлаждения наружным воздухом.

Прежде чем рассмотреть нюансы каждого из этих подходов, напомним, что идея фрикулинга уже давно и успешно используется в чиллерах. Если позволяет уличная температура, холодильная машина использует для охлаждения воды внешнюю сухую градирню, а не фреоновый контур. Разница в том, что в первом случае работают только вентиляторы и насосы, а во втором — еще и компрессоры, значительно увеличивающие энергопотребление системы охлаждения. Сам чиллер с фрикулингом стоит естественно дороже,

чем обычная система, поскольку он содержит дополнительные элементы для обеспечения охлаждения наружным воздухом. Но зато при грамотном проектировании схемы охлаждения и наличии умеренного климата такой подход позволяет значительно сократить затраты на электроэнергию.

При этом концепция охлаждения уличным воздухом непосредственно оборудования дата-центра также именуется фрикулингом. В случае прямого фрикулинга воздух с улицы подается непосредственно в серверный зал. Но перед этим он проходит подготовку в специальной камере, где очищается, увлажняется либо осушается до нужного уровня. Если же на улице слишком холодно, то к поступающему потоку примешивается нагретый воздух, который забирается из горячего коридора серверного зала. Непрямой фрикулинг 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, требуются специальные, довольно дорогие фильтры,

Высокоэффективные кондиционеры для машинных залов Uniflair LE IDAV

Кондиционеры для точного управления микроклиматом в критически важных приложениях



Компания Schneider Electric, мировой эксперт в управлении энергией и автоматизации, представляет **Uniflair LE IDAV** – передовую систему прецизионного кондиционирования с компрессорами с переменной скоростью вращения. Это позволяет управлять, с высокой точностью, производительностью кондиционеров при технологических условиях с переменным во времени тепловыделением.

К таким условиям можно отнести ЦОДы, у которых рост количества ИТ-оборудования происходит постепенно, и различные производства, где теплопритоки зависят от объема выпускаемой продукции и требуется безошибочное поддержание уровня влажности и температурного режима.

Серия **Uniflair LE IDAV** позволяет очень точно выдерживать заданные параметры кондиционирования воздуха, при частичных нагрузках на кондиционер, обеспечивая при этом минимальное потребление электроэнергии, по сравнению с кондиционерами, реализованными на компрессорах с постоянной скоростью вращения.

В данное семейство входят модели, в которых используется **тандем из компрессора с постоянной скоростью вращения и компрессора с переменной скоростью вращения**, что значительно оптимизирует стоимость решения в сравнении с более дорогим компрессором большой мощности с переменной скоростью вращения, уменьшая при этом эксплуатационные расходы Заказчика.



Узнайте больше о предложении Schneider Electric по кондиционерам для машинных залов.

Зайдите на www.SEreply.com и введите промо код **64145P**

schneider-electric.com

Life Is On

Schneider
Electric

которые время от времени надо чистить или вообще заменить. Чем более грязный воздух в регионе, тем меньший экономический эффект будет достигнут от применения прямого фрикулинга. Кроме того, влажность наружного воздуха в морозные дни может быть недостаточной, а в теплые и дождливые — чрезмерной, значит, потребуется дополнительная энергия на его увлажнение или осушение. Непрямой фрикулинг не требует особой регулировки влажности, но его КПД, как правило, немного ниже, чем у систем с прямой подачей уличного воздуха.

Кроме того, фрикулинг может осуществляться не только с помощью уличного воздуха, но и за счет естественных водных ресурсов. Так, теплообменник системы охлаждения дата-центра может быть погружен в природный водоем или же холодная и очищенная вода, скажем, из подземной скважины, может циркулировать по внутренней системе охлаждения ЦОД. Все упомянутые варианты фрикулинга имеют широкое распространение в мире и применяются в зависимости от условий окружающей среды. Но по числу реализаций лидирует все же свободное охлаждение с помощью воздуха.

Популярности фрикулинга способствует и постепенное расширение допустимого температурного диапазона для ИТ-оборудования, благодаря чему охлаждение наружным воздухом можно использовать большое количество дней в году и в более широких географических пределах. Например, согласно рекомендациям ASHRAE от 2008 года, максимальная допустимая температура в холодном коридоре может достигать +27 °С. В 2011 году появились два новых класса оборудования для ЦОД — А3

и А4 с температурным диапазоном до +40 °С и +45 °С соответственно. Кроме того, на рынке уже доступно ИТ-оборудование, которое можно в штатном режиме охлаждать воздухом с температурой +35 °С. При этом уже сейчас есть серверы и СХД, допускающие нормальную работу при температуре в холодном коридоре выше 35 °С в течение нескольких часов подряд. А некоторые компании пошли еще дальше. Так, серверы дата-центра eВау построенного в пустыне Аризоны, штатно «охлаждаются» воздухом, температура которого достигает +46 °С. Тем не менее на данном этапе в мире все еще относительно мало крупных проектов, использующих для охлаждения один лишь фрикулинг. Для сглаживания температурных пиков, как правило, требуются вспомогательные системы охлаждения — компрессорные или адиабатические.

Если с первыми все более-менее ясно, то о вторых стоит сказать несколько уточняющих слов. Принцип действия адиабатической системы основан на распылении воды в виде мельчайших капель, которые, смешиваясь с горячим воздухом, охлаждают его, поскольку вода обладает высокой теплоемкостью. При этом жидкость, как правило, распыляется через специальные форсунки — либо на поверхность теплообменников (мокрые градирни), либо непосредственно в воздуховоды. Адиабатические системы охлаждения обладают отличными показателями энергоэффективности, поскольку используют относительно мало электричества, но при этом расходуют изрядное количество воды — 2 кг в расчете на 1 кВт*ч. Таким образом, например, мегаваттный ЦОД при полной нагрузке за сутки использует 48 кубометров воды. Более того, поскольку диаметр форсунок чрезвычайно мал, очень высокие

требования предъявляются к очистке распыляемой жидкости — необходимы дорогостоящие ионообменные фильтры или фильтры обратного осмоса. К тому же для эффективного адиабатического охлаждения требуются теплообменники увеличенной площади.

Теперь, после небольшого теоретического вступления рассмотрим основные решения для дата-центров, использующих фрикулинг, которые сегодня доступны на украинском рынке, а также некоторые проекты, где были реализованы такие системы.

Новое слово от Emerson Network Power

Наш обзор решений, доступных на украинском рынке, начнем с разработок, предлагаемых *Emerson Network Power*, поскольку предложения этого производителя наиболее разнообразны и включают в себя как традиционные системы, например, классические чиллеры с фрикулином, так и оригинальные ноу-хау, появившиеся в последнее время. К первым можно отнести модельный ряд НРС-S, который включает в себя холодильные машины с возможностью свободного и адиабатического охлаждения. Такие системы обеспечивают холодопроизводительность до 170–400 кВт и могут работать в режиме фрикулинга при температуре наружного воздуха до +30 °С.

Новые чиллеры семейства AFC также сочетают в себе три технологии — компрессорного, свободного и адиабатического охлаждения, при этом их оптимальная комбинация достигается благодаря работе фирменного контроллера iCOM и специального ПО, позволяющего автоматически подбирать наиболее энергоэффективный режим работы. Более того, тот же контроллер обе-



Рис. 1. Чиллеры с фрикулингом Emerson Liebert AFC на одном из ближневосточных объектов



Рис. 2. Комбинированная система охлаждения Emerson Liebert EFC: внешний вид и вариант исполнения

спечивает синхронную работу целой группы чиллеров для достижения максимального эффекта на уровне дата-центра. Преимуществом систем AFC является также возможность работы в сложных климатических условиях, например, при температуре внешнего воздуха +50 °C и выше. Из-за этой особенности чиллеры AFC особенно популярны в странах с жарким и сухим климатом, например, на Ближнем Востоке (рис. 1).

Что касается естественного охлаждения наружным воздухом, то, благодаря адиабатике, оно доступно уже при температуре окружающей среды +32 °C. Максимальная холодопроизводительность чиллеров AFC достигает 500–1450 кВт.

Но адиабатическое и свободное охлаждение используют не только чиллеры ENP. Еще одной интересной разработкой является комбинированная система Liebert EFC (рис. 2).

Агрегат холодопроизводительностью 100–350 кВт, устанавливаемый снаружи здания, сочетает в одном блоке фреоновый контур, модуль непрямого воздушного фрикулинга и адиабатическую систему, которые работают под управлением общего контроллера, выбирающего оптимальные режимы и комбинации технологий (рис. 3).

В 2015 году ENP представила на рынке новое и весьма оригинальное решение для охлаждения дата-центров под названием EconoPhase. Особенность разработки состоит в том, что она позволяет совмещать в себе преимущества жидкостной и воздушной систем кондиционирования, а также эффективно использовать фрикулинг. EconoPhase представляет собой специальный компактный модуль, оснащенный насосом и трубами, который включается во фреоновый контур системы охлаждения ЦОД. Особенность решения заключается в режимах работы.

Если температура наружного воздуха относительно высока — более 15–25 °C (в зависимости от определенных условий), работает классическая компрессорная схема. Когда температура на улице снижается, начинает работать режим экономайзера (частичного фрикулинга), при котором отключается один компрессор кондиционера и включается насос блока EconoPhase для перекачки жидкого фреона по контуру. Если же наружный воздух остывает до 10–20 °C или ниже, то фрикулинг используется на полную мощность — компрессоры отключаются,

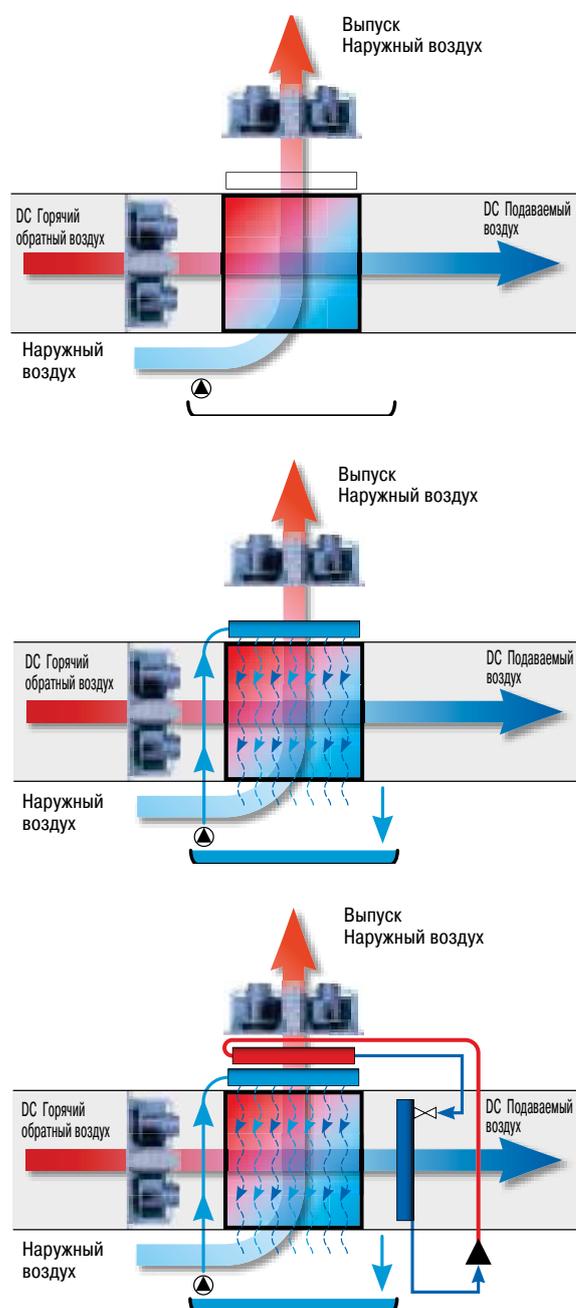


Рис. 3. Схема различных режимов работы системы охлаждения Emerson Liebert EFC

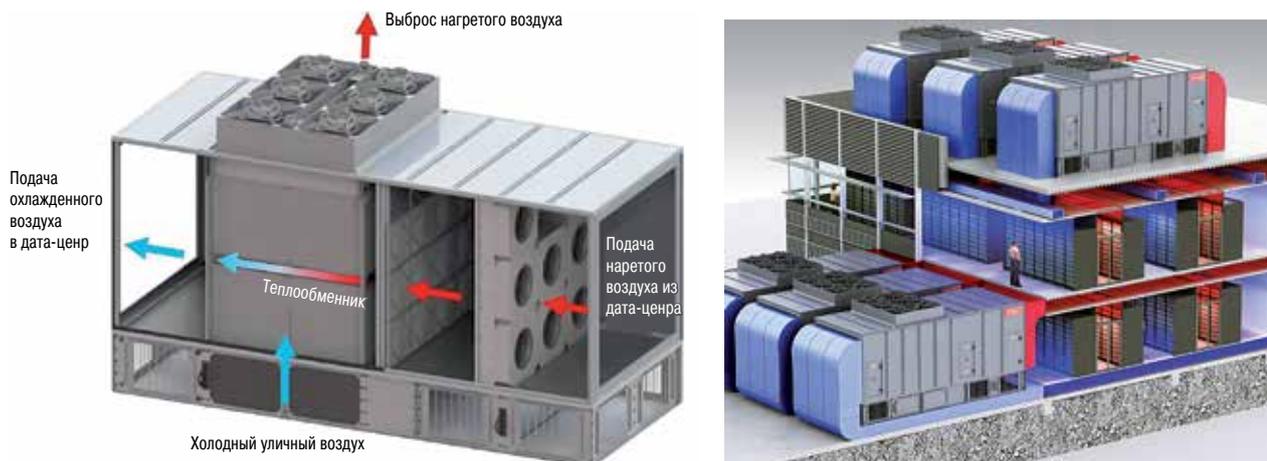


Рис. 4. Комбинированная система охлаждения Stulz IceCE — варианты исполнения (слева) и схема работы в режиме фрикулинга

работают только насосы EconoPhase и вентиляторы внешнего и внутреннего блоков кондиционера, поскольку в этом случае для эффективного охлаждения достаточно, чтобы в системе циркулировал только жидкий фреон. Важнейшей частью решения является фирменная система автоматического управления, которая благодаря контроллерам, датчикам и специальному ПО анализирует различные параметры и подбирает оптимальный режим охлаждения дата-центра в каждый момент времени. Решение работает в сочетании с фреоновыми кондиционерами Liebert PDX холодопроизводительностью 80–120 кВт.

Еще одним «умным» решением в области фрикулинга является комплексная система прямого охлаждения наружным воздухом Liebert Air Economizer. Ключевая особенность разработки в том, что она способна автоматически поддерживать температуру и влажность в соответствии с параметрами, заданными для дата-центра. В составе решения — датчики температуры нагнетаемого и возвратного воздуха, внешней температуры и влажности, а также устройства, обеспечивающие правильную работу заслонок, установленных в коробе над блоком охлаждения для смешивания внешнего и возвратного воздушных потоков.

Если наружные температура и влажность находятся в допустимых пределах, блок управления iCOM прекращает работу компрессоров и запускает режим свободного охлаждения. Возможен также вариант работы только на компрессорах или в смешанном режиме — все зависит от климатической

ситуации. Подобное решение, кстати, уже реализовано в первом модульном ЦОД Республики Молдова.

Что касается проектов, то в мире реализовано большое число внедрений с использованием систем охлаждения Emerson, использующих фрикулинг и адиабатику. Крупные проекты есть в Греции, Турции, Соединенном Королевстве, Нидерландах, в странах бывшего СССР и т.д. Что касается Украины, то здесь также есть реализации, правда, немного. Например, коммерческий дата-центр United DC уже несколько лет успешно использует систему прямого фрикулинга с кондиционерами Emerson и в прошлом году даже запустил второй модуль.

Schneider Electric, Stulz, HiRef

Компания *Schneider Electric*, как один из лидеров мирового рынка инженерной инфраструктуры для ЦОД, активно использует фрикулинг и адиабатику в собственных решениях. В портфеле компании это направление представлено целой серией продуктов. В их числе чиллеры семейства VCEF холодопроизводительностью от 300 до 1200 кВт, оснащенные турбовинтовыми компрессорами, а также модели серий BREC/F и VCEC/F (от 350 до 1350 кВт) с адиабатическими модулями, что позволяет повысить эффективность их использования и расширить допустимый диапазон рабочих температур. Подобные системы находят широкое применение во всем мире. В Украине также реализован ряд проектов, где использованы чиллеры с фрикулингом семейства SE Uniflair. Такие системы использу-

ет коммерческий ЦОД «Парковый», корпоративные дата-центры «МТС» (Vodafone) и «ПриватБанк». Суммарная холодопроизводительность только этих трех проектов превышает 6 МВт.

Кроме того, в портфолио SE уже более пяти лет присутствуют комплексные системы охлаждения Ecobreeze, о которых не раз было рассказано на страницах «СИБ». Напомним лишь, что данное решение представляет собой единый блок, объединяющий внутри себя фреоновый контур, систему непрямого фрикулинга и адиабатического орошения теплообменника. Все это в сочетании с фирменными контроллерами и ПО позволяет подбирать наиболее энергоэффективный режим охлаждения для дата-центра в зависимости от условий окружающей среды. Ecobreeze является модульной системой, устанавливаемой снаружи здания. Каждый блок обеспечивает отвод до 50 кВт тепла, до восьми таких модулей могут объединяться в общую систему охлаждения холодопроизводительностью до 400 кВт.

Как уже было отмечено, в работе систем с фрикулингом ключевую роль играет специализированное программное обеспечение. В этом направлении Schneider Electric также давно и успешно ведет разработки. Наиболее свежим результатом стало появление специального решения под названием Optimized Management Interface (OMI), которое позволяет оптимизировать работу системы охлаждения ЦОД. ПО позволяет управлять всеми устройствами охлаждения SE в дата-центре (чиллерами, адиабатическими модулями, межрядными

и зальными кондиционерами), координируя между собой их работу для достижения максимальной эффективности в рамках комплекса.

Решения с фрикулингом имеются и у других мировых производителей. Например, свободное охлаждение наружным воздухом поддерживают почти все чиллеры для наружной установки производства *Stulz*. Речь идет о моделях CyberCool серий Outdoor, XT CEO, XT CFO, XT CGO. Холодопроизводительность наиболее мощных машин (XT CGO 14102 A) достигает 1411 кВт. Также интересным решением для дата-центров является флагманский прецизионный кондиционер CyberAir3, оснащенный модулем прямого фрикулинга с технологией DFC (Dynamic Free Cooling). Особенность решения состоит в том, что благодаря фирменным контроллерам и специальному ПО кондиционер способен динамически переключаться между различными режимами работы, выбирая наиболее подходящий — исходя из параметров температуры и влажности окружающего воздуха.



Рис. 5. Дата-центр компании Yahoo, принцип охлаждения которого позаимствован у обычного американского курятника

Если уличный воздух слишком горячий для фрикулинга (свыше 25 °С), то кондиционер работает полностью на компрессорном охлаждении. По мере снижения температуры в диапазоне 25–18 °С включается смешанный режим, комбинирующий прямую подачу охлажденного воздуха (через специальную смесительную камеру) в зал и компрессорное охлаждение. Если «за бортом» будет 18 °С и ниже, то система полностью перейдет на внешний воздух — это самый экономичный режим. Причем

в случае, когда уличный воздушный поток окажется слишком холодным, система начнет примешивать к нему нагретый воздух из дата-центра, добиваясь оптимальной температуры. Благодаря технологии DFC все эти процессы происходят автоматически. Холодопроизводительность кондиционеров CyberAir3 колеблется в пределах от 18 до 245 кВт, в зависимости от модели.

Еще одной интересной разработкой *Stulz*, использующей свободное охлаждение, является система

Liebert PDX с EconoPhase

Лучший продукт для охлаждения датацентров - 2016



Первый в мире

ФРЕОНОВЫЙ ФРИКУЛИНГ

безкомпрессорная
циркуляция фреона



БЦ "ПРАГА" | 02090, г. Киев, ул. В.Сосюры, 6
тел/факс. +380442517823 | office@alphagrissin.com.ua
www.alphagrissin.com.ua

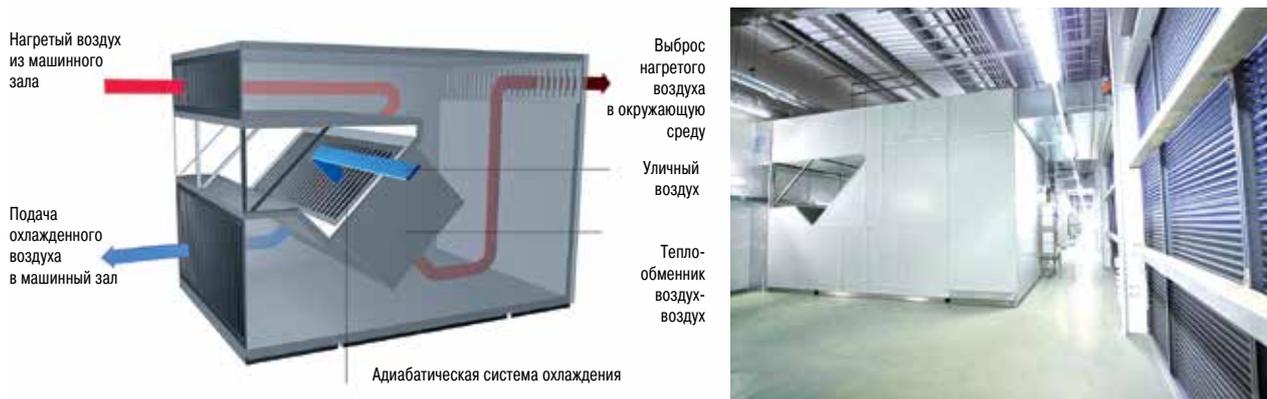


Рис. 6. Система непрямого фрикулинга Excool: схема работы и внешний вид работающего модуля

IeCE (Indirect Evaporative Cooling Equipment), представленная на рынке в 2015 году. По аналогии с вышеописанной системой Schneider Electric EcoVreeze решение представляет собой модуль прецизионного кондиционирования для внешней установки, сочетающий в себе возможности фрикулинга, адиабатического и чиллерного охлаждения (рис. 4).

Если тепловая нагрузка невелика, применяется режим непрямого фрикулинга. По мере роста тепловыделения оборудования в дата-центре подключается адиабатическая система, и теплообменник орошается мелкодисперсной водой. В самом высоконагруженном режиме могут подключаться холодильные машины, позволяющие отвести максимальное количество тепла с помощью чиллерной воды. Холодопроизводительность одного модуля Stulz IeCE достигает 200–285 кВт. Он может быть установлен как на крыше дата-центра, так и с внешней стороны стены машинного зала. Каждое устройство оснащается фирменным контроллером Stulz E² с программным обеспечением собственной разработки.

Из компаний, представленных на украинском рынке и предлагающих системы охлаждения с фрикулингом для дата-центров, стоит отметить также итальянского производителя **HiRef**. Компания предлагает широкий модельный ряд холодильных машин серий LCC F, LEW, LSC F, LCE F холодопроизводительностью от 45 до 1200 кВт, а также несколько семейств прецизионных кондиционеров — NRG, TREF, JREF (R), которые могут оснащаться модулями прямого свободного охлаждения;

холодильная мощность отдельных моделей может достигать 236 кВт.

Фрикулинг в мире

Системы кондиционирования, использующие адиабатику или фрикулинг, очень популярны в мире. За последние 7–8 лет, похоже, ни один новый крупный проект по созданию дата-центра не обходился, в той или иной степени, без свободного охлаждения. Это неудивительно, если учесть тот факт, что подобные решения способны обеспечить показатель PUE на уровне 1,2–1,1 и даже меньше, в то время как в среднем по миру он равен 1,7, а, например, для стран ЕС — 1,55. Кроме того, в экономически развитых странах сегодня наблюдается тенденция к ощутимому укрупнению дата-центров, а чем больше проект, тем, как правило, более эффективной будет для него система свободного охлаждения. Фрикулинг активно используют такие гиганты отрасли, как **Facebook, Google, Hewlett-Packard, Yahoo, Rackspace, Equinix, Microsoft** и многие другие.

В качестве иллюстрации рассмотрим несколько показательных мировых проектов, использующих прямой и непрямой метод свободного охлаждения.

Так, один из дата-центров HP, расположенный в английском городе Биллингем недалеко от побережья Северного моря, очень эффективно использует местную розу ветров. В местности, где расположен ЦОД, большую часть года дуют сильные ветры с моря, а средний температурный максимум для самых жарких месяцев не превышает 20 °С, к тому же минусовые температуры здесь бывают нечасто. Поэтому дата-центр был спроектирован и построен

таким образом, чтобы относительно холодный ветер прямоотком задувал непосредственно в воздуховоды здания, внутри которого предусмотрена сеть распределения воздушного потока. Основные и весьма незначительные (относительно масштабов комплекса) затраты электроэнергии в этом случае приходятся лишь на вентиляторы. Вода для увлажнения воздуха, если оно требуется, может быть получена из дождевой влаги, которая собирается в специальные резервуары на крыше здания. Для достижения максимальной энергоэффективности и автономности рядом со зданием дата-центра построена собственная ВЭС, обеспечивающая комплекс дешевой электроэнергией.

Как ни странно, в освоении фрикулинга помогает и опыт прошлых поколений. Так, американская компания Yahoo еще в 2010 году построила недалеко от города Локпорт (штат Нью-Йорк) дата-центр, принцип охлаждения которого был позаимствован у обычного американского курятника (рис. 5).

Комплекс состоит из нескольких отдельных зданий полезной площадью примерно по 600 кв. м каждое. Их боковые стены имеют специальные жалюзи. Через них осуществляется подача уличного воздуха в серверный зал. Нагретый воздух собирается в горячем коридоре и выводится в окружающую среду через крышу. Место расположения дата-центра выбрано неслучайно. Местный климат как нельзя лучше способствует применению фрикулинга, который здесь можно использовать более 350 дней в году. Если все же становится слишком жарко, подключается испарительное охлаждение, а чиллеры и компрессорные кондиционеры не используются

вовсе. Как результат, PUE комплекса держится на уровне 1,1 уже более пяти лет. Удачный опыт был распространен и на другие комплексы интернет-гиганта. Целая группа таких ЦОД-«курятников» общей полезной площадью около 30 тыс. кв. м была построена около города Куинси (штат Вашингтон, США) в 2013–2015 годах.

Один из крупнейших дата-центров мира из числа использующих прямой фрикулинг был создан компанией Microsoft в Дублине. Площадь комплекса составляет более 50 тыс. кв. м, и почти круглый год оборудование, размещенное в его недрах, охлаждается уличным воздухом, чему весьма способствует ирландский климат — температура здесь почти никогда не поднимается выше 25–27 °С и редко опускается ниже нуля. В дата-центре Microsoft используются специальные вентиляторы, расположенные на крыше, они забирают холодный воздух с улицы и подают его в серверные залы через фильтры тонкой очистки. В свою очередь, нагретый воздух выбрасывается из горячего изолированного коридора за фальшпотолок, а затем — в окружающую среду. Для подстраховки в ЦОД имеются фреоновые кондиционеры, которые, впрочем, почти никогда не используются. Кроме того, серверы дата-центра могут работать при температуре холодного коридора до +35 °С (притом, что температурный максимум в регионе составляет +31 °С). В результате среднегодовой PUE за последние шесть лет был равен здесь 1,17.

Крупные дата-центры, использующие прямое охлаждение наружным воздухом, имеются даже в жаркой Австралии. Так, компания Global Switch построила в Сиднее ЦОД мощностью 65 МВт и полезной площадью более 24 тыс. кв. м, в котором активно используется прямой фрикулинг, что позволило добиться PUE на уровне 1,35, а также получить международный «экологический» сертификат LEED Gold.

Известный китайский производитель микроэлектроники Foxconn, построивший свой дата-центр в округе Гуян, для обеспечения свободного охлаждения расположил его в особом туннеле, выходы которого сориентированы с учетом розы ветров. Благодаря такой инженерной хитро-

сти свободное охлаждение может использоваться здесь круглый год. В результате удалось добиться показателя PUE 1,1.

Можно приводить еще много подобных примеров — прямой фрикулинг очень популярен в мире, но есть и негативный опыт. В том же Китае есть немало промышленных регионов, где наблюдается крайне высокая концентрация загрязнения воздуха. В то же время там строится множество дата-центров. Как показали наблюдения и опыт эксплуатации, химические соединения (такие как диоксид серы или оксид азота), находящиеся в атмосфере промышленных городов КНР, особенно в сочетании с теплым влажным климатом, способствуют ускоренной коррозии ИТ-оборудования в дата-центрах. Поэтому прямой фрикулинг в этом случае противопоказан. Можно, конечно, использовать фильтры тонкой очистки, но расходы на их замену нивелируют весь экономический эффект.

Непрямой фрикулинг также очень популярен в развитых странах. Особенно славится такими проектами пригород Лондона, где расположено множество крупных дата-центров, принадлежащих мировым компаниям. Так, в 2015 году здесь открылся новый комплекс компании Rackspace, охлаждаемый с помощью системы непрямого фрикулинга, разработанной компанией Excool. Особые охлаждающие блоки расположены на крыше здания. С помощью системы воздухопроводов из герметичного горячего коридора на них подается нагретый воздух, который проходит через теплообменник, обдуваемый наружным холодным воздухом (рис. 6). Но при этом потоки не смешиваются, а перенос тепла осуществляется через стенки теплообменника по принципу рекуператора.

Благодаря такому подходу удается избежать попадания в зал дата-центра пыли и других загрязнений без использования фильтров очистки воздуха. Отметим, что модули Excool снабжены также адиабатической системой охлаждения, для нужд которой используется дождевая вода. PUE в этом случае достигает 1,15.

Компания Virtus в 2014 году также разместила крупный дата-центр в пригороде Лондона и по аналогии с Rackspace использовала здесь реше-

ния Excool, в результате PUE составил 1,2. Но в этом случае стоит учесть, что внутри комплекса имеются особо нагруженные стойки, рассчитанные на 40 кВт ИТ-нагрузки каждая. Общая мощность дата-центра — 11 МВт, полезная площадь — свыше 6 тыс. кв. м. Еще более масштабный комплекс площадью 8 тыс. кв. м, использующий непрямой фрикулинг, разместил в пригороде Лондона и крупнейший мировой оператор коммерческих дата-центров Equinix.

До сих пор мы упоминали только воздушный фрикулинг. Тем не менее существует немало проектов, где свободное охлаждение обеспечивается за счет естественных водоемов. Например, Google построил один из своих дата-центров в городе Хамина (Финляндия). Комплекс размещен в здании бывшей бумажной фабрики, а для охлаждения здесь используются воды Финского залива, куда были помещены специальные теплообменники. Таким образом, ЦОД Google работает в роли водонагревателя, а Финский залив выполняет функцию чиллера. Еще один крупный оператор ЦОД — Interxion — построил в шведской столице Стокгольме два дата-центра мощностью около 2 МВт каждый, которые используют для охлаждения воды Балтийского моря. По словам представителей компании, здесь удалось достичь PUE менее чем 1,1.

Использование фрикулинга сегодня стало фактически стандартом для современных, особенно вновь построенных дата-центров. Без того или иного вида свободного охлаждения не обходится ни один крупный проект. Но следует помнить, что фрикулинг — это не панацея и не гарантия энергоэффективности, а всего лишь один из дополнительных инструментов, расширяющих возможности ЦОД. Без грамотного проектирования всей системы охлаждения и всестороннего изучения условий, в которых предстоит работать дата-центру, фрикулинг вряд ли покажет все свои возможности. В то же время, как было показано на примере мировых внедрений, взвешенный и сбалансированный подход позволяет добиться очень хороших результатов.

Игорь КИРИЛЛОВ, **СИБ**