



Новая технология чиллеров с воздушным охлаждением для повышения надежности ЦОД

Ch. Casey, Johnson Controls (Milwaukee)

K. Fransen, Johnson Controls (Milwaukee), член ASHRAE

Ускоренное внедрение искусственного интеллекта привело к резкому росту спроса на мощности центров обработки данных (ЦОД), который по прогнозам устроится к 2030 году. Увеличение рабочих нагрузок означает, что ЦОД переходят к высокопроизводительным вычислительным стойкам с плотностью размещения оборудования, которая часто достигает 50 кВт на стойку. Чтобы идти в ногу со временем, владельцы ЦОД должны оптимизировать доступное пространство, создавая объекты с более высокой плотностью размещения оборудования, что сопряжено с уникальным набором проблем, когда речь идет о достижении операционной эффективности и надежности. Чиллеры с воздушным охлаждением на базе компрессоров с магнитными подшипниками могут повысить энергоэффективность, улучшить эффективность водопотребления и обеспечить высокую надежность в ЦОД высокой плотности как в настоящее время, так и в перспективе.

Учитывая, что около 40 % энергопотребления ЦОД приходится на охлаждение, оптимизация климатических систем является логичным первым шагом к удовлетворению эксплуатационных требований при минимизации воздействия на окружающую среду. Чиллеры с воздушным охлаждением на базе компрессоров с магнитными подшипниками, специально разработанные для нужд ЦОД с высокой плотностью размещения оборудования, могут стать жизнеспособным решением для повышения энергоэффективности и снижения водопотребления, даже с учетом будущего повышения рабочих температур в залах обработки данных.

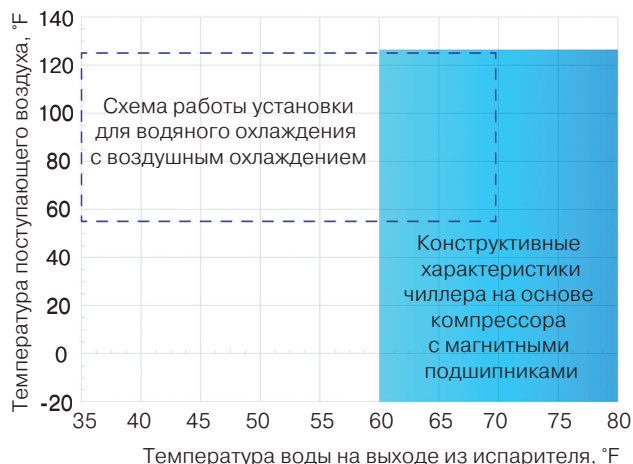
Повышение энергоэффективности

Энергоэффективность ЦОД должна обеспечиваться при обязательном сохранении требуемого уровня надежности и времени безотказной работы. Современные передовые чиллеры с воздушным охлаждением используют компрессоры с магнитными подшипниками и высокоэффективные вентиляторы для обеспечения максимальной эффективности.

Например, при проведении ежегодного анализа энергопотребления с использованием данных производителей, сертифицированных Институтом кондиционирования, отопления и охлаждения (AHRI), можно увидеть, что при сравнении чиллеров с воздушным охлаждением на магнитных подшипниках с чиллерами устаревшего поколения производительность (кВт/т) при полной нагрузке увеличивается на 15–20 %.

Кроме того, чиллеры с воздушным охлаждением на базе компрессоров с магнитными подшипниками позволяют дополнительно снижать энергопотребление за счет повышения температуры охлажденной воды (т. к. чиллер может работать при более высоких температурах охлажденной воды, превышающих нормативные). Это снижает нагрузку на компрессор, уменьшает энергопотребление и увеличивает холодопроизводительность.

Повышение температур охлажденной воды также обеспечивает возможности для дальнейшего развития. По мере того как рабочие диапазоны температуры серверов продолжают расширяться, требования к температуре подаваемой охлажденной воды также будут изменяться. Например, за последние пять лет температура охлажденной воды увеличилась с 60 °F (16 °C) до 70 °F (21 °C).



■ Рис. 1. Технология чиллеров с воздушным охлаждением развилась до такой степени, что теперь позволяет получать более высокие температуры охлажденной воды, сопоставимые с рабочими характеристиками чиллеров с водяным охлаждением.

Чиллеры на основе безмасляного компрессора с магнитными подшипниками обладают устойчивостью к росту температур охлажденной воды и расширяют диапазон рабочих температур, что позволяет повысить эффективность системы (рис. 1).

Эффективность водопотребления

Помимо энергоэффективности важно учитывать воздействие на окружающую среду, оказываемое ЦОД. Рациональное использование воды является критически важным фактором, влияющим на проектирование систем ОВК, особенно в засушливых регионах. Один ЦОД может использовать до 5 млн галлонов (18,9 млн л) питьевой воды в день.

Испарительное охлаждение представляет собой эффективный метод отвода теплоты, но также требует учитывать доступность воды как ресурса и объемы водопотребления, тогда как чиллеры с воздушным охлаждением являются «безводной» системой охлаждения. Кроме того, воздушные чиллеры с функцией быстрого запуска позволяют дополнительно уменьшить размер резервуара для хранения охлажденной воды и объем контура водопотребления, необходимый для обеспечения тепловой инерции. Некоторые реализации быстрого запуска позволяют перезапускать чиллеры в течение 30–45 с после восстановления электропитания. По сравнению с типовым чиллером с водяным охлаждением чиллер с воздушным охлаждением



и функцией быстрого запуска может в некоторых случаях сократить общее время перезапуска системы на три-четыре минуты, что особенно важно для объектов с повышенными требованиями к надежности.

Декарбонизация

В условиях глобального курса на декарбонизацию ЦОД все большее значение приобретает выбор хладагентов и архитектуры холодильных систем. Международная практика – от реализации Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу до региональных нормативов – направлена на поэтапное ограничение применения хладагентов с высоким потенциалом глобального потепления (GWP). В результате формируется устойчивая тенденция к переходу на решения с пониженным углеродным следом.

На этом фоне выбор хладагента перестает быть исключительно технической задачей и становится частью стратегии устойчивого развития ЦОД. Оптимальное решение должно учитывать не только энергетическую эффективность и стоимость эксплуатации, но и вклад в совокупные выбросы парниковых газов на протяжении всего жизненного цикла оборудования.

Сегодня рынок хладагентов переживает очевидный сдвиг: от привычных, но «тяжелых» с точки зрения экологии решений – к более безопасным и низкоуглеродным альтернативам. Если еще недавно стандартом считались HFC-хладагенты (гидрофторуглеродные хладагенты), например R-134a или R-404A с очень высоким потенциалом глобального потепления, то теперь они постепенно уступают место новым поколениям.

Промежуточный этап – это смеси с пониженным GWP, такие как R-513A, R-448A и R-449A. Они позволяют снизить воздействие на климат без

радикальной перестройки систем, но все же остаются компромиссным решением.

Главный вектор развития сегодня – хладагенты класса HFO (гидрофторированные олефины). Такие решения, как R-1234ze и R-1233zd, практически не влияют на глобальное потепление (низкий GWP) и становятся базой для современных энергоэффективных систем. Их уже активно применяют в высокотехнологичных объектах, включая ЦОД.

Отдельного внимания заслуживают природные хладагенты. Углекислый газ (R-744), аммиак (R-717) и даже вода (R-718) демонстрируют нулевой или близкий к нулю углеродный след. Однако их применение требует более сложных инженерных решений – например, работы при высоком давлении или повышенных требований к безопасности.

Интерес к углеводородам – таким как пропан (R-290) и пропилен (R-1270) – также растет благодаря их крайне низкому GWP. Но здесь ключевым фактором остается горючесть, что ограничивает область применения.

Помимо прямых выбросов (Score 1) значительную роль играет и так называемый «встроенный» углерод, связанный с производством, транспортировкой и монтажом оборудования. Современные холодильные машины на базе безмасляных компрессоров с магнитными подшипниками позволяют снизить оба этих компонента. Так, применение хладагента R-1234ze с GWP менее единицы в составе воздушных чиллеров дает возможность сократить выбросы CO₂ до 40 % за жизненный цикл по сравнению с решениями на базе более традиционных хладагентов, таких как R-513A.

Дополнительный эффект достигается за счет конструктивной оптимизации оборудования. Компактные чиллеры воздушного охлаждения, ориентированные на размещение на кровле, требуют меньшего объема материалов и снижают нагрузку на несущие конструкции здания. В совокупности сокращение металлоемкости, транспортных затрат и строительной инфраструктуры позволяет уменьшить «встроенный» углерод до 30 %.

Таким образом, переход к хладагентам с низким GWP и технологически более совершенным решениям в системах охлаждения становится одним из ключевых инструментов реальной декарбонизации ЦОД, измеримой на уровне конкретных инженерных решений.

Техническое обслуживание

Техническое обслуживание оборудования – еще один аспект, который может повлиять на

устойчивость и надежность ЦОД. Важно учитывать полный жизненный цикл эксплуатации оборудования ЦОД и соблюдать регламенты обслуживания, включая регулярную очистку конденсаторов и контроль утечек хладагента по установленному графику.

Чиллеры с воздушным охлаждением и магнитными подшипниками проще в обслуживании, чем традиционные, благодаря своей моноблочной конструкции, которая уменьшает общее количество компонентов, требующих обслуживания. Современные технологии позволили производить оборудование без использования масла, а также без сложных контуров фреонирования и сопутствующих элементов, характерных для традиционных систем, таких как трубопроводы, трехходовые клапаны, теплообменники, насосы.

Для обеспечения долгосрочной эксплуатационной эффективности и надежности оборудования проектировщики могут включать в спецификации ежегодные требования к сервисному обслуживанию в соответствии с рекомендациями производителя. Четкое регламентирование требований к обслуживанию в спецификациях позволяет снизить риски, поскольку обеспечивает постоянный контроль соответствия системы проектным решениям, способствует своевременному выявлению и устранению проблем, а также позволяет получать дополнительную информацию о работе системы за счет анализа эксплуатационных показателей.

Обоснование применения современных систем охлаждения в ЦОД

В настоящее время владельцы ЦОД с высокой плотностью размещения оборудования сталкиваются с проблемой обеспечения высокой вычислительной мощности и бесперебойной работы с одновременным соблюдением строгих экологических стандартов. Оборудование систем ОВК, как одна из самых энергоемких систем в здании, играет жизненно важную роль в достижении бизнес-целей ЦОД.

Проектирование системы охлаждения на основе чиллеров с воздушным охлаждением на базе компрессоров с магнитными подшипниками обеспечивает решение, способное работать при повышенных температурах в залах обработки данных (серверных) с высокой плотностью размещения оборудования, сохраняя при этом необходимую гибкость для адаптации к дальнейшему росту температур охлажденной воды.



В сочетании со стратегией регулирования температуры охлажденной воды и регламентированным сервисным обслуживанием чиллеры с воздушным охлаждением на базе компрессоров с магнитными подшипниками, использующие хладагенты с низким потенциалом глобального потепления, позволяют повысить энергоэффективность, сократить потребление воды и внести значимый вклад в декарбонизацию ЦОД.

Литература

1. AI-Power: Expanding Data Center Capacity to Meet Growing Demand. – McKinsey & Company, 2024. – <https://tinyurl.com/5fuufyc2>.
2. Bersine A. Reducing Data Center Peak Cooling Demand and Energy Costs With Underground Thermal Energy Storage. – National Renewable Energy Laboratory, 2025. – <https://tinyurl.com/3cf579tf>.
3. Data Centers Draining Resources in Water-Stressed Communities. – The University of Tulsa, 2024. – <https://tinyurl.com/287ncpkk>.
4. Final Rule – Phasedown of Hydrofluorocarbons: Restrictions on the Use of Certain Hydrofluorocarbons Under Subsection (i) of the American Innovation and Manufacturing Act of 2020. – U.S. Environmental Protection Agency, 2023. – <https://tinyurl.com/4btypym3>.
5. Fact Sheet 1: Update on New Refrigerants Designations and Safety Classifications. – United Nations Environment Programme and ASHRAE, 2023. – <https://tinyurl.com/3n8fattn>.

Статья публикуется в сокращении.

Оригинал статьи: ASHRAE Journal, август 2025.

ASHRAE не несет ответственности за точность перевода.

Информацию для приобретения издания на английском языке см. на сайте ashrae.org