

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ СЕРВЕРНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

А.И. Евушкин
С.С. Шереметьев

artem.evushkin@gmail.com
trmlvnos@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены принципиальные схемы охлаждения серверных помещений и существующие решения, описаны их преимущества и недостатки, а также принципиальные особенности каждого способа охлаждения, приведена классификация методов охлаждения. Особое внимание уделено охлаждению в зимний период. Сформулированы основные проблемы, возникающие при охлаждении серверных помещений, и способы их решения на примере существующих систем кондиционирования воздуха. Проведен сравнительный анализ известных схем охлаждения и определены наиболее энергоэффективные схемы, позволяющие значительно сократить потери холодопроизводительности

Ключевые слова

Система кондиционирования воздуха, холодильная машина, свободное охлаждение

Поступила в редакцию 23.01.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

По мере развития интернет-технологий возникает необходимость создания серверов для хранения постоянно растущих объемов данных. Традиционно используются серверные шкафы, что приводит к необходимости проектирования специальных помещений для них, в которых круглосуточно осуществляется охлаждение электронных блоков данных.

Условно выделяют два режима охлаждения: теплый, когда температура окружающей среды выше требуемой температуры охлаждения электронных блоков данных, и холодный, когда температура окружающей среды ниже требуемой температуры охлаждения.

В настоящее время охлаждение электронных блоков данных осуществляется с помощью систем кондиционирования воздуха (СКВ), в которых обрабатываемый воздух охлаждают холодильные машины (ХМ). Важнейшей характеристикой ХМ является холодильный коэффициент, т. е. отношение полезной тепловой нагрузки к затрачиваемой работе. Поэтому для снижения потребления электроэнергии, особенно для СКВ с большой тепловой нагрузкой, необходимо проектировать ХМ с высоким холодильным коэффициентом.

При низких температурах окружающей среды есть возможность охлаждать электронные блоки данных без включения ХМ способами, различающимися

энергоэффективностью и стоимостью используемой СКВ. Поэтому целью данной работы является обзор зарубежных СКВ для круглогодично работающих серверных помещений и выбор оптимального варианта для создания альтернативной отечественной СКВ.

Системы охлаждения серверных помещений можно условно разделить на традиционные, или компрессорные, сделанные на базе парокомпрессионной ХМ, и прецизионные СКВ, которые делятся по способам охлаждения и подходам к проектированию серверных помещений.

Компрессорные системы охлаждения представляют собой бытовой кондиционер, чаще всего сплит-систему, состоящую из внешнего блока, расположенного на улице, и внутреннего блока, находящегося в помещении. Как правило, внутренний блок кондиционера располагается напротив ряда стоек серверной (рис. 1) и направляет холодный воздух в сторону открытой стойки с сетчатой дверью. Количество сплит-систем для стабильного охлаждения выбирают по принципу $N + 1$, когда при отказе одного из кондиционеров N могли бы обеспечить рабочую температуру в серверном помещении. Такие системы охлаждения целесообразно использовать в небольших помещениях с тепловой нагрузкой от шкафов порядка 10 кВт. В остальных случаях прибегают к прецизионному охлаждению.

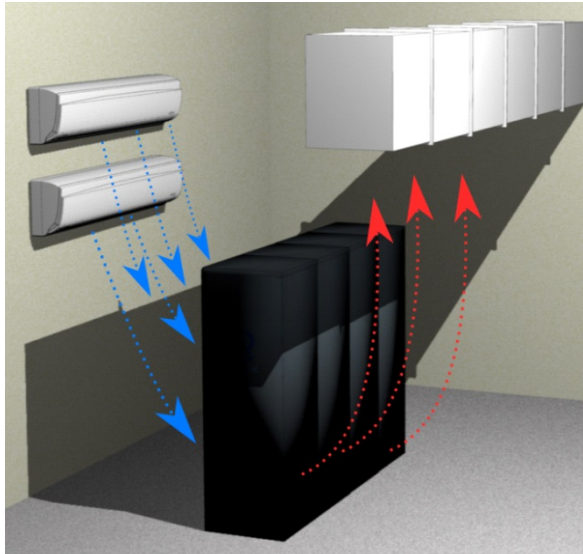


Рис. 1. Схема подачи воздуха для охлаждения серверных бытовыми кондиционерами

При выборе компрессорного способа охлаждения необходимо выполнить обязательные требования для длительной и надежной эксплуатации системы:

- установка дополнительных блоков для обеспечения ротации при длительной работе системы и предотвращения критической нагрузки на один из блоков;
- наличие обязательного комплекта зимнего пуска для работы кондиционера при температуре окружающей среды ниже рабочей температуры внутри помещения.

К преимуществам компрессорного способа охлаждения следует отнести низкую цену, простоту и удобство в использовании; к недостаткам — относительно низкую энергоэффективность, локальные застои горячего воздуха в углах помещения и блоков стоек, невозможность регулирования влажности в помещении, дополнительные затраты на обслуживание.

Классическим образцом компрессорных систем является неинверторный кондиционер фирмы Mitsubishi [1] (рис. 2), имеющий следующие основные характеристики: холодильный коэффициент 3,21; мощность охлаждения 7,1 кВт; рабочий диапазон наружных температур $-30...43$ °С.



Рис. 2. Внутренний блок кондиционера Mitsubishi Heavy SRK71HE-S1

Использование такой системы целесообразно при малых тепловыделениях в помещении (до 10 кВт). Для случая с повышенными тепловыделениями в серверных охлаждение можно обеспечить только использованием большого количества сплит-систем. При этом возникают следующие проблемы: размещение множества блоков охлаждения в помещении; требование корректного распределения холодных воздушных потоков по всему помещению; экономическая нецелесообразность такой системы.

При работе СКВ в зимний период с понижением температуры окружающей среды уменьшается давление конденсации, что приводит к понижению холодопроизводительности вследствие уменьшения перепада давления через дросселирующее устройство, понижению давления всасывания, ухудшению охлаждения обмоток электродвигателя.

Все вышеперечисленные проблемы решаются в прецизионных системах кондиционирования.

Прецизионные системы охлаждения. Такие СКВ (рис. 3) позволяют достичь максимальной энергоэффективности установки в узком рабочем диапазоне путем тонкой настройки [2].

Различают системы с воздушными и жидкостными конденсаторами ХМ.

Для схем с воздушным конденсатором сжатый после компрессора хладагент охлаждается и конденсируется наружным воздухом, затем жидкий хладагент поступает во внутренний блок, дросселируется в терморегулирующем вентиле (ТРВ) и поступает в испаритель, где за счет кипения охлаждает проходящий через испаритель воздух.

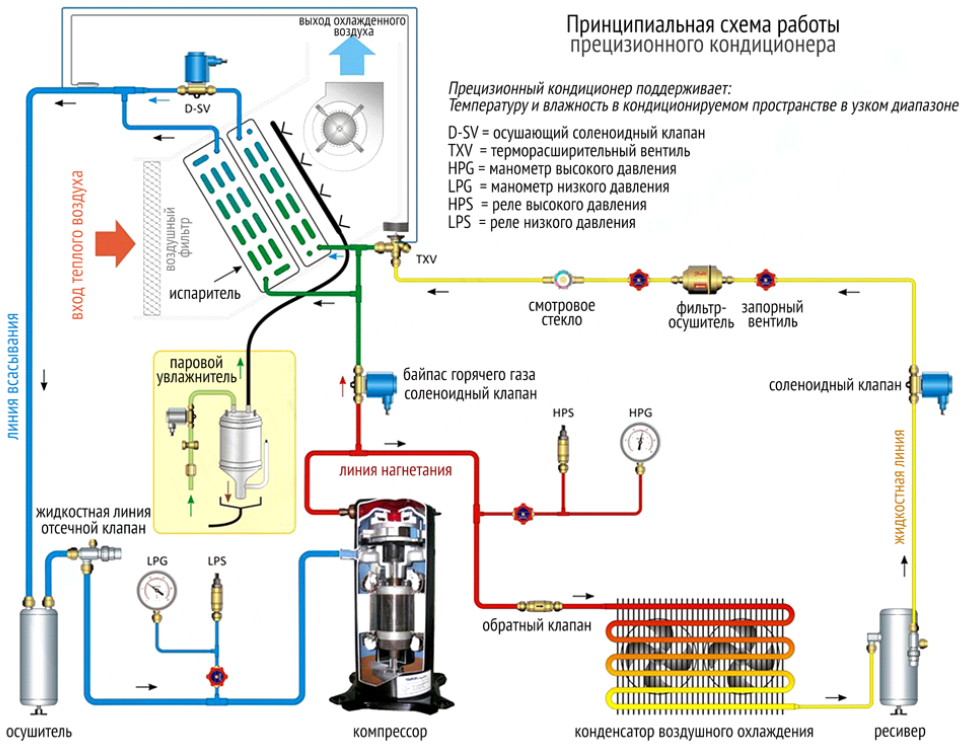


Рис. 3. Схема работы прецизионного кондиционера с воздушным конденсатором

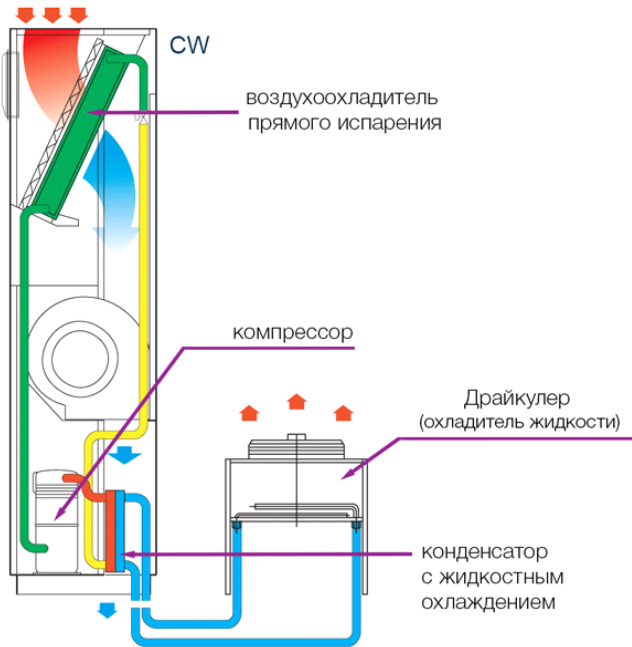


Рис. 4. Схема работы прецизионного кондиционера с жидкостным конденсатором

В случае с жидкостным конденсатором (рис. 4), хладагент после компрессора охлаждается и конденсируется подаваемой в конденсатор жидкостью: либо водой из драйкулера, либо гликолевым раствором из внешних источников. Затем сконденсировавшийся хладагент поступает во внутренний блок для охлаждения воздуха в испарителе.

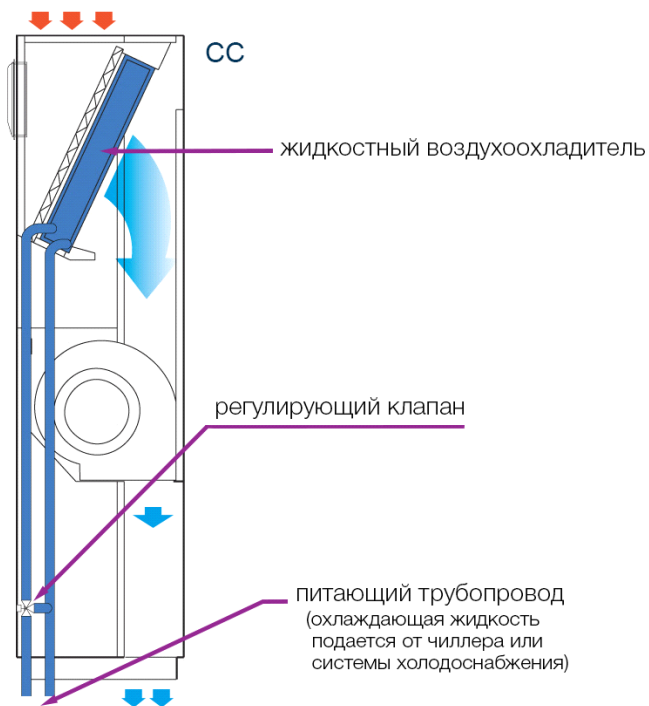


Рис. 5. Схема работы прецизионного кондиционера с жидкостным воздухоохладителем

В случае использования жидкостного воздухоохладителя (рис. 5) степень охлаждения воздуха и его осушки регулируется расходом подаваемого хладоносителя (воды или гликолевого раствора). Следует заметить, что обрабатываемый воздушный поток может также увлажняться подаваемым водяным паром или водой и нагреваться с помощью калориферов.

К недостаткам прецизионных систем следует отнести большие габариты, сложную систему подвода трубопроводов внутреннего блока. Преимуществами прецизионных систем являются детальный мониторинг воздушных параметров (температуры и влажности), высокая энергоэффективность и надежность системы.

Переход на зимний режим работы в прецизионных системах кондиционирования решают следующим образом:

- применением вторичного, как правило, жидкостного контура;
- дополнительным нагревом конденсатора, что достаточно энергозатратно и обычно используется только для небольших помещений;
- переключением на режим свободного охлаждения.



Рис. 6. Установка Liebert HIROSS HPM

В системе Liebert HIROSS HPM фирмы Emerson (рис. 6) применяется комбинация нескольких типов охлаждения. Может быть использовано прямое охлаждение воздуха в испарителе ХМ с воздушным или водяным охлаждением конденсатора. Также возможно охлаждение воздуха в водяном воздухоохладителе за счет использования чиллеров, что позволяет сочетать низкие эксплуатационные расходы с высокой надежностью. В штатном режиме эта система функционирует с водяным охлаждением, обеспечивая бесперебойный режим работы за счет резервных компрессоров, включающихся за несколько секунд в случае отказа централизованного блока.

Основные характеристики системы: холодопроизводительность 43,6 кВт; расход воды 2,08 л/с; расход обрабатываемого воздуха 8150 м³/ч; рабочий диапазон температур наружного воздуха –17...35 °С (рис. 7).

В данной установке, как и в большинстве прецизионных систем, работающих в зимнем режиме, используется система свободного охлаждения (freecooling), позволяющая охлаждать помещения наружным воздухом без использования компрессоров [3].

Система свободного охлаждения. Для работы прецизионных систем при низких температурах окружающей среды предусмотрен так называемый режим свободного охлаждения (freecooling) [4].

В летнее время (теплый режим) в качестве источника холода применяется парокомпрессионная ХМ и основным потребителем электроэнергии является компрессор. В зимнее время (холодный режим) источник холода — наружный воздух, поэтому необходимость в работе компрессора отпадает, что значительно понижает энергозатраты системы.

Свободное охлаждение можно разделить на прямое и непрямое. В первом случае помещение охлаждается подаваемым наружным воздухом. Во втором случае используется жидкость, циркулирующая между жидкостным воздухоохладителем и драйкулером.

Также в прецизионных системах часто предусматриваются резервные установки охлаждения — кондиционеры с комбинацией воздухоохладителей, либо дублирующие, либо использующие другие источники холода. Самой распространенной комбинацией является кондиционер прямого испарения хладагента в воздухоохладителе и жидкостном воздухоохладителе.

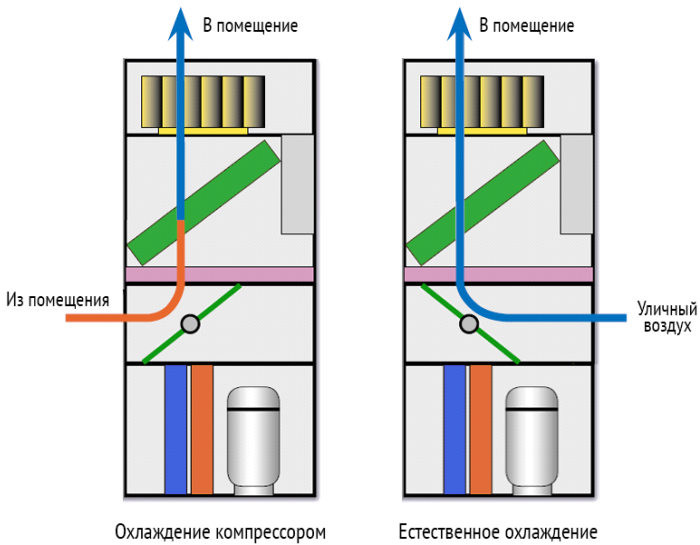


Рис. 7. Охлаждение воздуха в прецизионном кондиционере в летнее и зимнее время

Для работы в режиме свободного охлаждения требуется дополнительное оборудование — температурные датчики, воздушные и жидкостные клапаны, а также дополнительные настройки алгоритма работы.

Сегодня одной из самых популярных систем [5], работающих по принципу прямого воздушного охлаждения в зимнем режиме, является модульный воздушный экономайзер EcoBreeze компании Schneider Electric (рис. 8). Его основные характеристики следующие: общая полезная мощность 50 кВт; рабочий диапазон наружных температур $-34...54\text{ }^{\circ}\text{C}$; расход воды 2,8 л/с; максимальная потребляемая мощность 20,1 кВт; максимальный расход обрабатываемого воздуха 330 л/с.

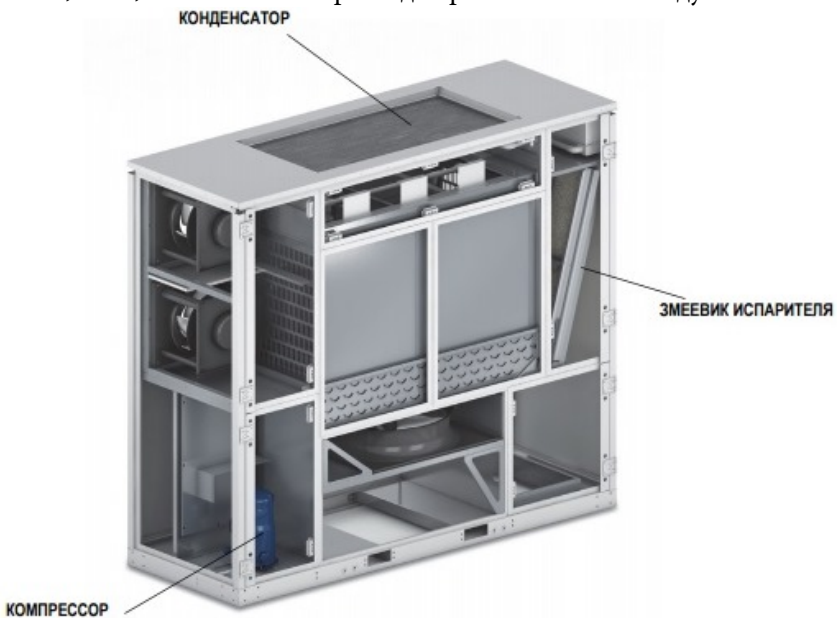


Рис. 8. Модуль системы EcoBreeze типа ACEC200

Эта система представляет собой комбинацию прямого воздушного и косвенно-испарительного теплообмена (рис. 9). Режим фрикулинга запускается автоматически, при понижении температуры наружного воздуха до 7,2...12,8 °С. В этой схеме решена проблема очистки наружного воздуха посредством применения косвенного испарителя.

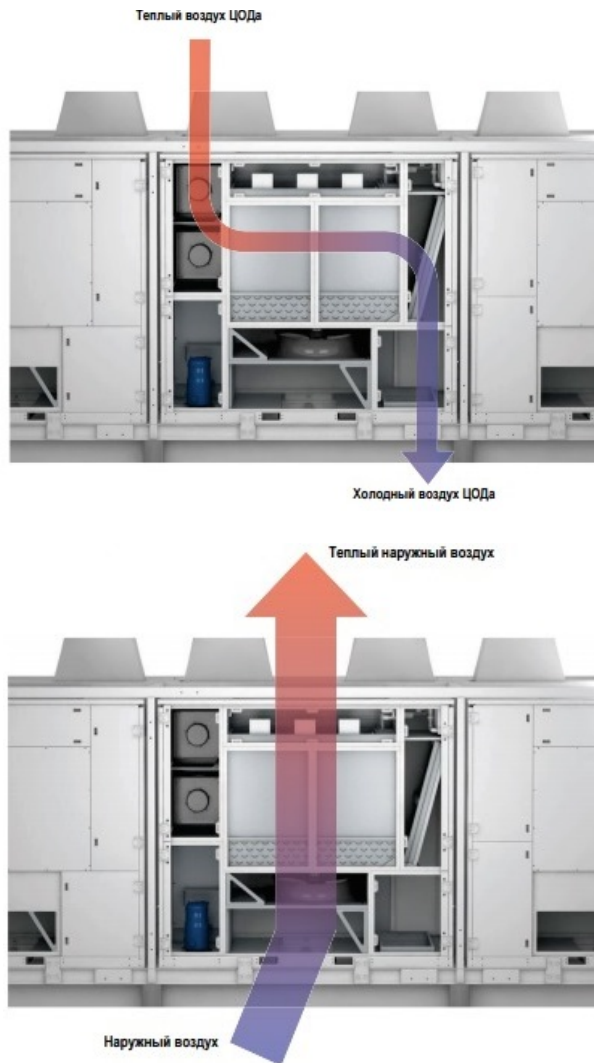


Рис. 9. Прямой воздушный теплообмен

Через теплообменник пропускается горячий воздух из центра обработки данных (ЦОД), где он охлаждается наружным воздушным потоком и затем подается в помещение (рис. 10). Для интенсификации процесса охлаждения на наружную сторону теплообменника наносится пленка воды, которая улавливает частицы пыли. Потoki охлаждаемого воздуха из окружающей среды непосредственно не контактируют, т. е. в помещении ЦОД не попадают влага и вредные частицы.

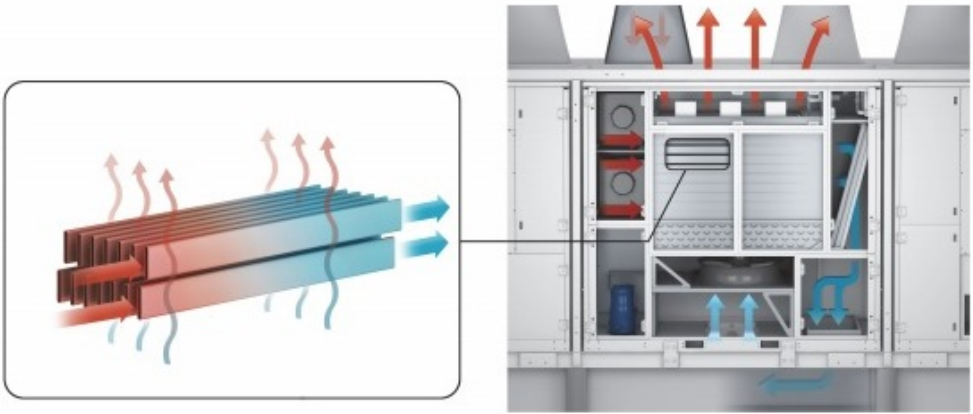


Рис. 10. Теплообмен прямого охлаждения

Основными преимуществами такой системы охлаждения являются отсутствие сложной схемы фильтрации, повышение энергоэффективности вследствие более глубокой автоматизации, регулирование производительности вследствие модульности системы, уменьшение площади помещения, занятой под систему охлаждения воздуха. К недостаткам следует отнести необходимость помещения для блоков, большие габариты системы, мощность модуля не менее 50 кВт.

Фирма Aermec [6] реализовала свободное охлаждение за счет добавления в систему водяного контура, необходимого для снятия тепловой нагрузки помещения в зимнее время. К основным характеристикам такой системы следует отнести общую холодопроизводительность 25,3 кВт, максимальный расход обрабатываемого воздуха 1900 л/с, рабочий диапазон наружных температур $-30...49\text{ }^{\circ}\text{C}$.

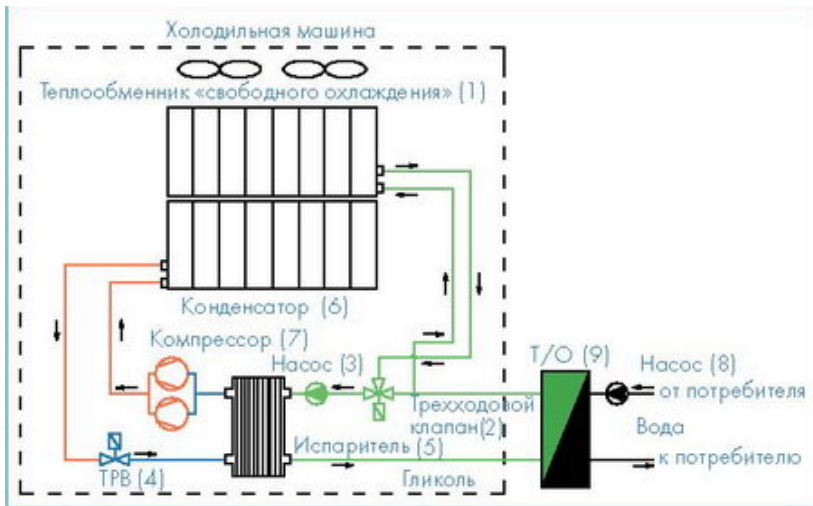


Рис. 11. Принципиальная схема установки фирмы Aermec для реализации свободного охлаждения

Принципиальной особенностью данной установки является наличие трехходового клапана, управляемого контроллером ХМ, который при включении режима свободного охлаждения направляет часть хладоносителя в теплообменник свободного охлаждения (рис. 11). Положение штока клапана определяется следующими параметрами: температурой хладоносителя на выходе из холодильной машины, температурой наружного воздуха, рабочим давлением конденсации. Основным преимуществом является возможность плавного изменения нагрузки холодильной машины, а к недостаткам следует отнести большие габариты испарителя из-за двухконтурной схемы.

Компания Carrier [7] продемонстрировала уникальное решение организации схемы свободного охлаждения (рис. 12). В зимний режим работы пары хладагента переносят теплоту из испарителя в конденсатор в обход компрессора через открытый обратный клапан (принцип термосифона). Для реализации этой схемы, по сравнению со всеми вышеизложенными решениями, были добавлены лишь два обратных клапана и насос для хладагента. Интенсивность процесса теплообмена на зимнем режиме зависит от работы вентиляторов. Установка функционирует в рабочем диапазоне температур наружного воздуха $-17..44$ °С, обладает общей полезной мощностью 21 кВт при максимальной потребляемой мощности 9,1 кВт, максимальный расход воздуха составляет 2212 л/с.

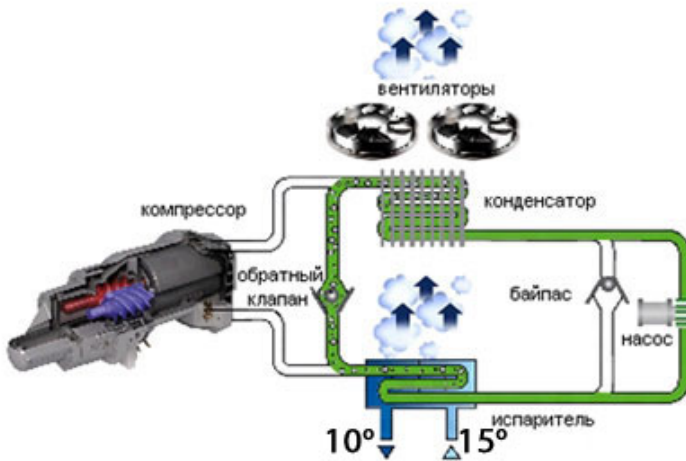


Рис. 12. Схема реализации свободного охлаждения фирмой Carrier

К преимуществам следует отнести улучшенные характеристики массы и габаритов из-за отсутствия необходимости в дополнительном теплообменнике, относительную простоту конструкции, возможность использования воды как вторичного хладоносителя. Основным недостатком является большой объем заправки хладагентом.

Общие решения для организации охлаждения при использовании прецизионных систем. Технические решения применения прецизионных систем зависят не только от условий окружающей среды, тепловой нагрузки помеще-

ния и требований к рабочим параметрам, но также определяются геометрическими характеристиками самого помещения [8]. От того, как спроектирована серверная, зависит организация ее охлаждения.

Охлаждение на уровне зала. При охлаждении на уровне зала с использованием фальшпола (рис. 13) устанавливается один или несколько больших прецизионных кондиционеров, которые подают охлажденный воздух через отверстия фальшпола в помещение зала и забирают нагретый. Такая схема движения воздуха позволяет уменьшить потери холода почти в два раза.

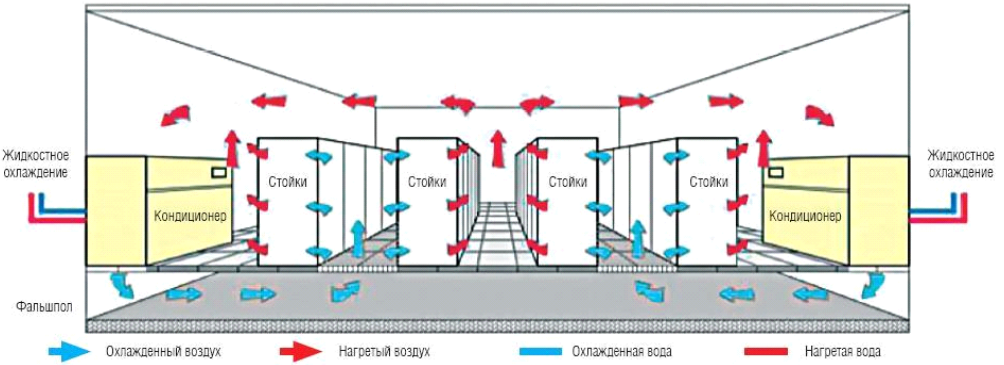


Рис. 13. Схема охлаждения на уровне зала с использованием фальшпола

С помощью специальных воздухопроводов (рис. 14) можно организовать отвод горячего воздуха от стоек не в нагретый коридор, а сразу в систему вытяжной вентиляции здания. При этом сопла вытяжки должны располагаться над горячим коридором. Такой подход позволяет отвести от каждой стойки до 10 кВт теплоты.

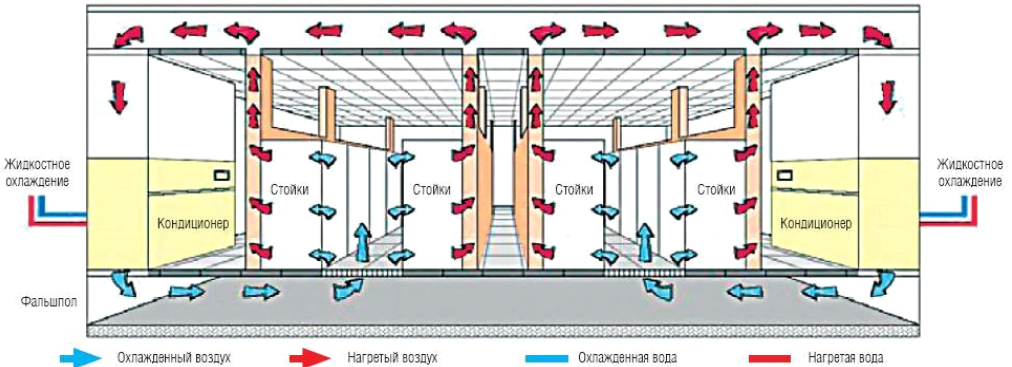


Рис. 14. Схема охлаждения на уровне зала и системы вытяжной вентиляции

Для более эффективной работы используются специальные двери, устанавливаемые на заднюю стенку шкафа. Они изолируют зону выброса нагретого воздуха, который по специальным герметичным воздуховодам поступает в систему вытяжной вентиляции. Как правило, такие двери имеют встроенные вентиляторы, увеличивающие скорость движения воздуха, а в некоторых случаях применяют теплообменники, что позволяет уменьшить потери холода в 4 раза.

К преимуществам таких систем следует отнести возможность более точного задания направления охлаждаемого потока воздуха и относительную простоту размещения. Однако существует и ряд недостатков, прежде всего неизбежность перемешивания горячего и холодного воздушных потоков, что снижает общую эффективность системы охлаждения; усиленный локальный отбор охлажденного воздуха в одной точке ЦОД может привести к его дефициту в другой зоне и возможности перегрева некоторых стоек; из-за турбулентности в отдельных точках фальшпола могут возникнуть зоны отрицательного давления, что приведет к подсасыванию воздуха из помещения под фальшпол.

Охлаждение на уровне рядов. В данном случае (рис. 15) кондиционер или фанкойл устанавливают непосредственно в ряду шкафов с оборудованием таким образом, чтобы подавать охлажденный воздух в холодный коридор и забирать нагретый из горячего.

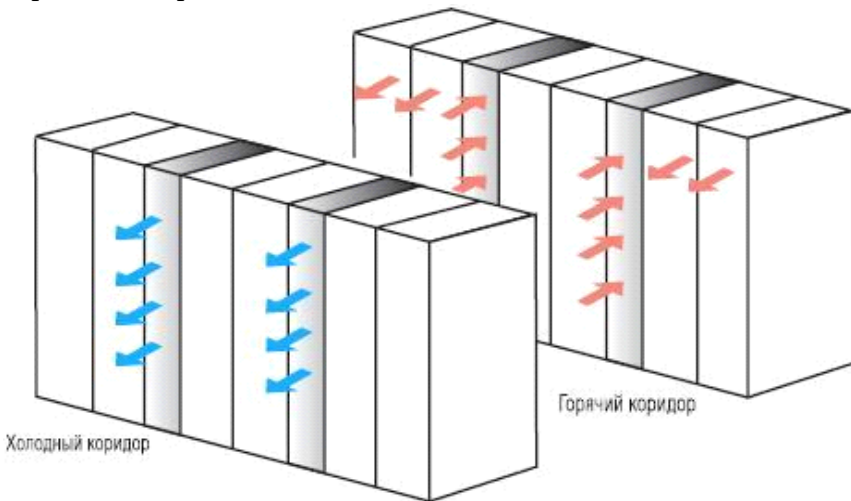


Рис. 15. Система охлаждения на уровне рядов

Наиболее мощные такие системы могут отвести до 40 кВт теплоты. В этом случае длина пути циркуляции воздуха меньше, а траектории движения более предсказуемы, что позволяет использовать всю номинальную охлаждающую способность кондиционера вследствие минимизации потерь. Поскольку каждый блок системы охлаждает небольшое пространство, то не требуются мощные вентиляторы, потребляющие значительное количество электроэнергии.

Важным преимуществом систем охлаждения на уровне ряда является то, что их можно использовать без применения фальшпола, не снижая при этом эффективности охлаждения.

Охлаждение на уровне стоек. В этом случае каждый серверный шкаф фактически охлаждается отдельным кондиционером, а наличие изоляции горячего и холодного внутришкафного пространства не дает воздушным потокам, циркулирующим внутри серверного шкафа, поступать во внешнюю среду помещения ЦОД (рис. 16).

Это самая дорогая система охлаждения, но она позволяет отводить до 50 кВт теплоты от стойки. Подобное решение оправдано в тех случаях, когда в дата-центре, по тем или иным причинам, образуются локальные точки с повышенным тепловыделением, например, шкафы с большим количеством блейд-серверов [9].

Одним из примеров реализации такой системы охлаждения является конструкция, запатентованная компанией Intel (рис. 17).

Основными преимуществами такой конструкции являются экономия пространства помещения, поскольку не требуется фальшпол; отсутствие определенных требований для размещения кондиционеров в помещении; ликвидация горячих коридоров в кондиционируемом помещении; одновременность использования вытяжных шкафов в одном ЦОД.

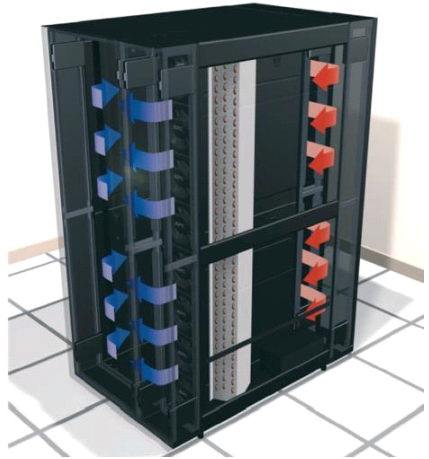


Рис. 16. Принцип охлаждения на уровне стоек

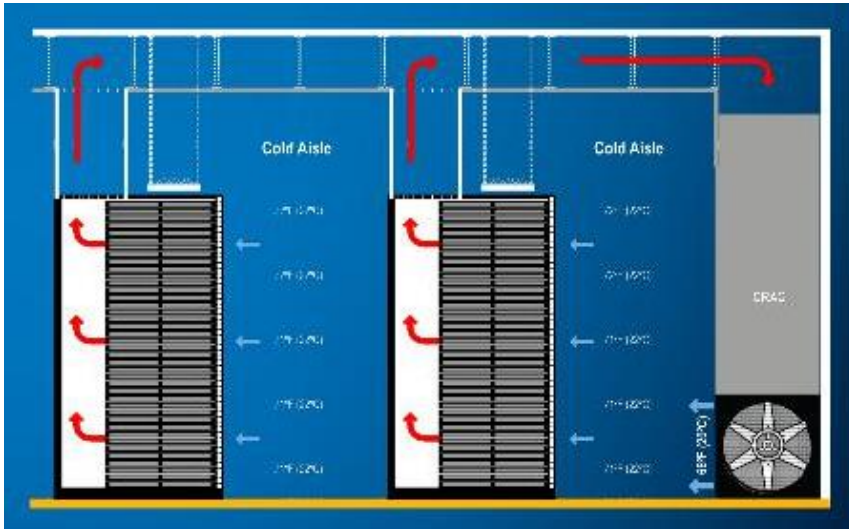


Рис. 17. Запатентованная конструкция компании Intel

Подводя итоги исследования, можно сделать следующие выводы.

В результате обзора имеющихся систем охлаждения ЦОД определены энергоэффективные решения как по используемым ХМ, так и по организации охлаждения помещений. В настоящее время наиболее эффективным решением для охлаждения ЦОД может послужить система фирмы Carrier с вытяжной системой по аналогу патента компании Intel.

Литература

1. Настенные кондиционеры Mitsubishi // Mitsubishi. URL: <http://www.mitsubishi-climate.ru/Nastennye-konditsionery.htm> (дата обращения 16.11.2016).
2. Поликарпов Е. Высокоточные системы кондиционирования. М.: Медиа Технологии, 2013. 82 с.
3. Emerson. Каталог продукции // URL: <http://www.emersonclimate.com> (дата обращения 20.11.2016).
4. Кокорин О.Я., Левин И.А. Применение турбохолодильных машин в режимах «свободного охлаждения» // Холодильная техника. 2005. № 3. С. 6–9.
5. Shneider Electric. Каталог продукции // URL: <http://www.schneider-electric.ru> (дата обращения 20.11.2016).
6. Карпов А.А. Системы свободного холода // Компания АЕРМЕК. URL: http://www.aermec.ru/Article_85.html (дата обращения 20.11.2016).
7. Полупромышленные кондиционеры // Carrier. URL: <http://carrier-aircon.ru/catalog/industrial/> (дата обращения 20.11.2016).
8. Хигби К. Современные подходы к охлаждению ЦОД // Журнал сетевых решений/LAN. 2014. № 2. URL: <https://www.osp.ru/lan/2014/02/13039883/> (дата обращения 20.11.2016).
9. Garnett P., King Dzh. Server blade for performing load balancing functions. Pat. US 7032037 B2, no. 6762934. 2002.

Евушкин Артем Игоревич — студент кафедры «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Шереметьев Станислав Сергеевич — ассистент и магистрант кафедры «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Н.А. Лавров, д-р техн. наук, профессор кафедры «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS OF SERVER ROOMS AIR CONDITIONING IN CLIMATIC CONDITIONS OF THE MOSCOW REGION

A.I. Evushkin

artem.evushkin@gmail.com

S.S. Sheremet'ev

trmlvnos@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article deals with the basic cooling schemes for server rooms and existing solutions, describes their advantages and disadvantages, as well as the main features of each cooling method, and also gives the classification of cooling methods. Particular attention is paid to cooling in the winter. We focus on the basic problems arising at cooling the server rooms, and ways of their solution on an example of existing systems of air conditioning. We carried out a comparative analysis of known cooling schemes and identified the most energy efficient schemes, which make it possible to significantly reduce the loss of cooling capacity

Keywords

Air conditioning system, mechanical refrigerating unit, free cooling, data processing center

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Nastennye konditsionery Mitsubishi [Wall mounted air conditioners Mitsubishi]. Mitsubishi: website. URL: <http://www.mitsubishi-climate.ru/Nastennye-konditsionery.htm> (accessed 16.11.2016) (in Russ.).
- [2] Polikarpov E. Vysokotochnye sistemy konditsionirovaniya [High-precision air-conditioning system]. Moscow, Media Tekhnolodzhi Publ., 2013. 82 p. (in Russ.).
- [3] Emerson. Katalog produktsii [Emerson. Product catalog]. Emersonclimat: website. URL: <http://www.emersonclimate.com> (accessed 20.11.2016).
- [4] Kokorin O.Ya., Levin I.A. The use of turbo-cooling machines in the modes of «free cooling». *Kholodil'naya tekhnika* [Kholodilnaya Tekhnika], 2005, no. 3, pp. 6–9 (in Russ.).
- [5] Shneider Electric. Katalog produktsii [Shneider Electric. Product catalog]. Schneider-electric: website. URL: <http://www.schneider-electric.ru> (accessed 20.11.2016) (in Russ.).
- [6] Karpov A.A. Cistemy svobodnogo kholoda [Free cold]. AERMEK: website. URL: http://www.aermec.ru/Article_85.html (accessed 20.11.2016) (in Russ.).
- [7] Polupromyshlennyye konditsionery [Semi-industrial air conditioners]. Carrier: website. URL: <http://carrier-aircon.ru/catalog/industrial/> (accessed 20.11.2016) (in Russ.).
- [8] Khigbi K. Modern approaches to cooling data centers. *Zhurnal setevykh resheniy/LAN* [Network solutions magazine/LAN], 2014, no. 2. URL: <https://www.osp.ru/lan/2014/02/13039883/> (accessed 20.11.2016) (in Russ.).
- [9] Garnett P., King Dzh. Server blade for performing load balancing functions. Pat. US 7032037 B2, no. 6762934. 2002.

Evushkin A.I. — student of the Department of Refrigeration and Cryogenic Equipment, Systems of Air Conditioning and Life Support, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Sheremet'ev S.S. — Assistant and Master's Degree student of the Department of Refrigeration and Cryogenic Equipment, Systems of Air Conditioning and Life Support, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — N.A. Lavrov, Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Department of Refrigeration and Cryogenic Equipment, Systems of Air Conditioning and Life Support, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.