

WHITE PAPER

03 2021

СИСТЕМА ИЗОЛЯЦИИ ХОЛОДНЫХ/ГОРЯЧИХ КОРИ-
ДОРОВ В ЦОД

EUROLAN
— C O N N E C T I T —

Eurolan 2006—2021

СИСТЕМА ИЗОЛЯЦИИ ХОЛОДНЫХ/ГОРЯЧИХ КОРИДОРОВ В ЦОД

Современное общество невозможно без информационных технологий и электросвязи. Информационная поддержка, оказываемая человеку во всех сферах жизни компьютерной и телекоммуникационной техникой, в процессе выполнения сотрудником своих должностных обязанностей кратно, а в ряде случаев даже на порядки увеличивает производительность труда. Одновременно она освобождает такой ценнейший ресурс, как интеллект, от рутинной работы, что позволяет использовать его для решения разнообразных творческих задач в технической и гуманитарной сфере. В быту указанные технические средства значительно повышают комфорт, позволяя решать ряд задач и осуществлять большое количество функций быстро и многообразными способами, при этом зачастую не выходя из дома.

Качество информационной поддержки, оказываемой вычислительной техникой и телекоммуникациями, во многом определяется глубиной обработки имеющейся информации и надежностью хранения уже накопленных данных. Наилучшим средством достижения требуемых значений технических параметров, характеризующих эти полезные свойства, становится организация сети центров обработки данных (ЦОД), связанных между собой в единую систему высокоскоростными линиями связи. Глубина обработки достигается применением модели облачных вычислений и привлечением для анализа больших массивов информации, а надежность обеспечивается соответствующим дизайном архитектурной и информационной частей ЦОД как инженерного объекта в сочетании с резервированием соединяющих их линий связи.

НЕОБХОДИМОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АППАРАТНОГО ЗАЛА ЦОД И ВАРИАНТЫ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

С точки зрения потребителя ресурсов ЦОД, один из ключевых параметров качества функционирования этого объекта – время реакции на пользовательский запрос. Оно зависит от целого ряда факторов, в т. ч. топологии информационной системы, возможности и эффективности организации параллельной обработки, быстродействия отдельного сервера. Современный типовой прием наращивания быстродействия в «топологическом» направлении – переход на двухуровневую структуру Spine and Leaf, а параллельная обработка реализуется преимущественно через виртуализацию использованием программного обеспечения VM Ware или его аналогов.

Повышение быстродействия отдельного сервера может быть обеспечено рядом технических приемов, среди которых благодаря высокой эффективности и простоте большой популярностью пользуется так называемый разгон (англ. overclocking), суть которого заключается в подаче повышенного напряжения на процессор. Главное отрицательное последствие разгона – разогрев кристалла. Тем не менее ускоренная деградация электроники вычислительного устройства, работающего в напряженном термическом режиме, не имеет большого значения из-за относительно непродолжительного времени эксплуатации сервера. Оно определяется быстрым моральным устареванием в современных условиях, простотой замены при возникновении такой необходимости и относительно невысокой стоимостью.

Более существенную проблему разгон создает в плане утилизации того большого количества тепла, которое выделяется в процессе функционирования сервера. За решение этой задачи отвечает полноценная система охлаждения, которая, наряду с системой электроснабжения, представляет собой фактически одну из двух главных систем инженерного обеспечения аппаратного (машинного) зала ЦОД.

Существуют три разновидности систем охлаждения, которые доведены до уровня массового технического внедрения, **Рис. 1:**

- воздушное охлаждение,
- жидкостное охлаждение,
- полупроводниковые холодильники Пельтье.

В первых двух случаях тепло снимается с устройства предварительно охлажденным теплоносителем: потоком воздуха или жидкостью.

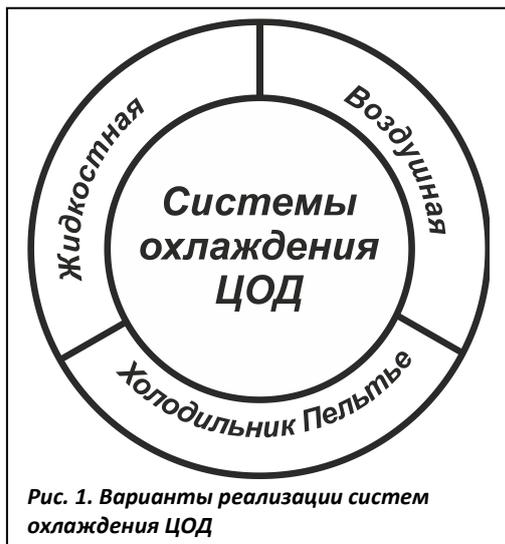


Рис. 1. Варианты реализации систем охлаждения ЦОД

Жидкость предпочтительнее воздуха из-за в разы большей теплоемкости (порядка 1 против 4,18 кДж / кг · °С у обычной воды). Массовому применению систем жидкостного охлаждения препятствует ряд существенных чисто инженерных проблем типа необходимости создания диэлектрических жидкостей, построения системы трубопроводов, решения проблемы протечек и аналогичных им.

Холодильники Пельтье, или термоэлектрические охладители, используют полупроводниковые термоэлектрические структуры, в которых при протекании тока возникает разность температур. Они выгодны отсутствием вибраций и возможностью точечного съема тепла с охлаждаемого компонента без использования промежуточного теплоносителя. Главный недостаток – относительно невысокая общая утилизируемая тепловая мощность (не более нескольких сотен ватт).

С учетом перечисленного можно констатировать, что при имеющемся уровне техники основным средством утилизации больших объемов тепла, выделяемого в процессе функционирования ЦОД, в настоящее время остается система воздушного охлаждения. В дальнейшем сосредоточим внимание только на ней.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

При построении системы воздушного охлаждения за основу берутся следующие простые положения:

- подача на серверы объемов воздуха, необходимых для полного удаления выделяемой теплоты, возможна только путем его принудительного нагнетания;
- эффективность съема тепла зависит от разности температур оборудования и воздушного потока;
- по мере увеличения объема прокачиваемого воздуха эффективность охлаждения увеличивается.

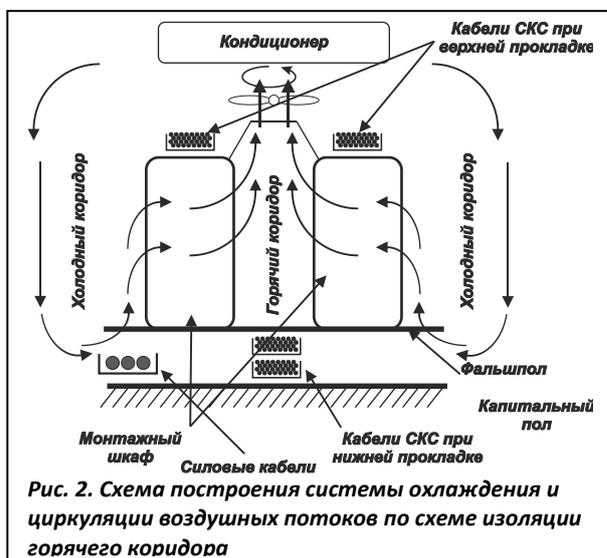
Эти исходные посылки сразу же задают основные принципы, которые в обязательном порядке учитываются при выборе структуры и конкретных технических решений системы кондиционирования аппаратного зала:

- непосредственное охлаждение того активного сетевого оборудования, которое наиболее нуждается в съеме выделяемого им тепла;
- минимизация сопротивления протеканию воздушного потока на всем пути его циркуляции (перфорированные двери монтажных шкафов, в первую очередь соответствующая укладка различных кабельных изделий за счет применения организаторов);
- предотвращение любых возможностей смешивания нагретого воздуха с холодным, вплоть до небольших утечек;
- постоянный мониторинг температурной обстановки в аппаратном зале ЦОД.

Выполнение этих рекомендаций уменьшает расход электроэнергии на функционирование системы охлаждения примерно на 40 %.

СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В основу системы воздушного охлаждения положена т. н. контейнеризация, которая предполагает движение воздуха, охлажденного кондиционером, и воздуха, нагретого аппаратурой, в двух различных пространствах без возможности их перемешивания. Реализующие их объемы сообщаются друг с другом через кондиционер и воздуховоды аппаратуры. В процессе функционирования вычислительной системы аппаратного зала ЦОД охлажденный воздух, снимаемый с выхода кондиционера, под избыточным давлением, которое создается вентиляторами с регулируемой



производительностью, напрямую прокачивается через серверы и вновь отправляется на вход кондиционера. Иные пути его перетекания целенаправленно блокируются. Подобная круговая циркуляция, кроме охлаждения, позволяет также эффективно контролировать влажность.

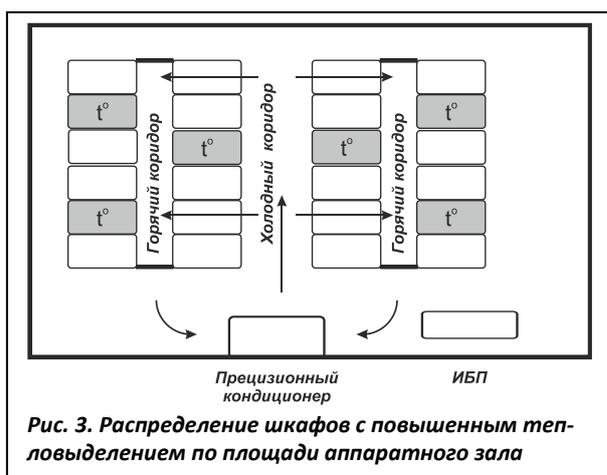
Для подачи необходимых объемов воздуха в требуемые точки в аппаратном зале сертифицируемых ЦОД монтируется фальшпол, применение которого на объектах уровня Tier II и выше согласно требованиям стандарта ANSI/TIA-942B является обязательным. Фальшпол как инженерное сооружение не только формирует пространство для прокладки кабелей и трубопроводов различных инженерных коммуникаций, но и выполняет функции камеры статического давления системы конди-

онирования. Выпуск охлажденного воздуха в нужную точку осуществляют через вентиляционные решетки, размеры отверстий которых увеличиваются по мере удаления от выхода кондиционера. Это позволяет компенсировать потери давления из-за аэродинамического трения.

Схема структуры, реализующей этот принцип, приведена на **Рис. 2**.

Интенсивность съема тепла с конкретного сервера при изменении нагрузки на него регулируется по двум независимым контурам:

- внутренним датчиком температуры, который в зависимости от нагрева микросхем меняет частоту вращения крыльчатки встроенного вентилятора;
- системой DCIM управления инженерным обеспечением.



Последняя непрерывно отслеживает температуру уже аппаратного зала в целом с помощью большого количества датчиков и при необходимости меняет холодопроизводительность промышленных кондиционеров в заданном направлении. В процессе эксплуатации, кроме традиционных термических датчиков, для контроля возможно применение тепловизионной аппаратуры.

Для устранения эффектов локального перегрева еще на этапе проектирования аппаратного зала применяют распределенную установку шкафов для монтажа в них оборудования с повышенным тепловыделением, **Рис. 3**.

ВАРИАНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОРИДОРОВ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЦОД

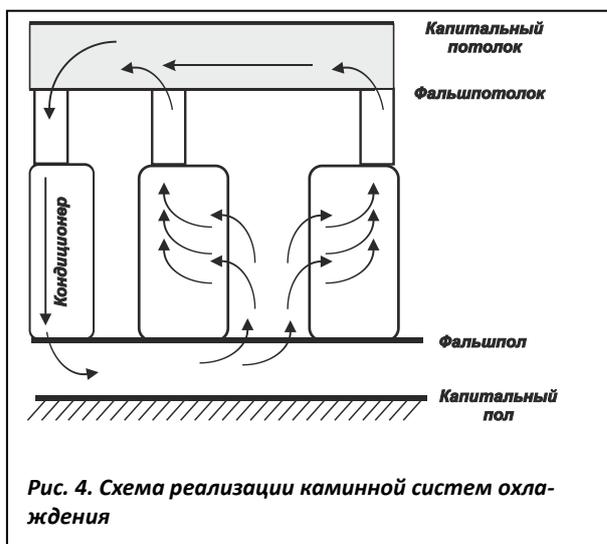
Главный компонент контейнеризации аппаратного зала ЦОД – тепловой коридор, который в зависимости от температуры находящегося в нем воздуха традиционно называется горячим или холодным.

Дополнительно укажем на две особенности контейнерных схем воздушного охлаждения. Первая из них заключается в следующем: разница температуры воздуха между входом и выходом сервера обычно составляет 10–15 °С, так что температура в горячем коридоре едва ли серьезно превысит 30 °С. Его традиционно называют горячим, хотя, наверное, правильнее было бы назвать его просто теплым.

Вторая особенность состоит в том, что изоляция горячего коридора, кроме классической, может быть выполнена по так называемой каминной схеме (в англоязычной технической литературе иногда она иногда называется Ducted Exhaust Cabinets).

В этой схеме горячий воздух из шкафа сразу же выводится в пространство за фальшпотолком, без формирования выделенного пространства коридора, **Рис. 4**. Наличие на каждом шкафу индивидуального воздуховода усложняет реализацию системы охлаждения, что служит основной причиной малой популярности такого решения на практике.

Объем коридора при обращении к классической структуре системы охлаждения вне зависимости от выбора схемы его исполнения в подавляющем большинстве случаев кратно, если не на порядок и более меньше полного объема аппаратного зала. Это не сказывается на качестве его функционирования, но позволяет заметно снизить затраты на реализацию.



Обращение к коридорной системе охлаждения безусловно необходимо при мощности оборудования в одном шкафу свыше нескольких сотен ватт и выгодно в первую очередь высокой эффективностью разделения массивов охлажденного и нагретого воздуха.

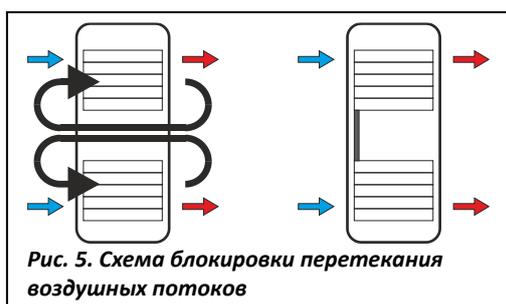
Коридоры предполагают полное разделение потоков холодного и горячего воздуха и не допускают их перемешивания. В тех ситуациях, когда это не обеспечивается корпусными и панельными элементами, применяют

- различные герметизирующие заглушки и шторы, устанавливаемые на свободные посадочные места 19-дюймовых монтажных направляющих шкафов, **Рис. 5**;
- фартуки на кабельные пучки, проходящие через верхний и нижний вводы;
- реализацию кабельных вводов по щеточной схеме и пр.

Необходимое условие эффективного функционирования системы воздушного охлаждения – минимизация охлаждаемого объема, что влечет за собой предельно плотную компоновку аппаратного зала. Эта особенность требует непременно использовать шкаф как неотъемлемый конструктивный компонент коридора, задающий направление протекания воздушного потока.

Шкаф как оболочка для оборудования может быть только частью коридора и должен быть дополнен некоторыми специализированными элементами. Последнее означает наличие двух основных схем формирования изоляции коридора:

- указанные элементы напрямую крепятся к серверному шкафу и используют его как полноценное несущее основание;



- применяется так называемая универсальная конструкция с дополнительным силовым каркасом, на который навешивают специализированные элементы.

Именно наличие дополнительного силового каркаса, который позволяет отказаться от полноценной механической связи со шкафом дополнительных герметизирующих компонентов, является главным критерием отнесения конкретного решения к универсальному.

Универсальное решение принципиально обладает следующими практически значимыми и такими хорошо востребованными в проектах преимуществами, как

- простота формирования рядов из шкафов любых производителей;
- потенциальная возможность включения в состав единого ряда шкафов разной высоты, ширины и назначения в любой комбинации;
- простота наращивания количества шкафов по мере необходимости без прекращения нормального функционирования ЦОД;
- легкость внедрения в существующий ЦОД в режиме нормальной эксплуатации.

Перечисленные достоинства, которые представляют собой прямое следствие заложенной в конструкцию основной идеи механической развязки со шкафами, полностью компенсируют несколько худшие массогабаритные параметры системы универсальной изоляции в целом и связанную с этим более высокую стоимость. При этом заметно более высокая результирующая функциональная гибкость обеспечивает универсальным решениям заметно более широкое распространение.

Дополнительно укажем, что крепление шкафов одного ряда друг к другу, которая задается нормами монтажа, представляет собой самостоятельную задачу. Она вполне может решаться средствами формирования изоляции коридора, но только на факультативном уровне.

КРАТКОЕ СРАВНЕНИЕ СХЕМ ИЗОЛЯЦИИ КОРИДОРОВ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Если не принимать во внимание малопопулярные в силу разных причин каминную схему и холодильники Пельтье, то выбор системы охлаждения сводится к альтернативе между горячими и холодными коридорами. Поэтому в данном разделе остановимся только на них.

На практике используют обе разновидности схем, общим для которых становится возможность существенного увеличения плотности мощности (средняя мощность, выделяемая оборудованием в пределах одной стойки). Частота обращения к изоляции горячего коридора пока несколько выше чисто по историческим причинам (эту схему стали применять раньше), но популярность применения обоих вариантов в настоящее время может считаться по крайней мере сопоставимой при примерно равной эффективности.

Обе схемы изоляции равноценны с той точки зрения, что усложняют систему пожаротушения – прямое следствие появления контейнеризации. Одновременно они примерно одинаково эффективно совместимы со шкафными кондиционерами в случае их применения.

Горячий коридор позволяет увеличить температуру воздуха на выходе оборудования, что повышает производительность кондиционера, однако одновременно растет риск выхода за границы гарантированной работоспособности кондиционера и даже кабелей и внутришкафных PDU. Последнее определяется неизбежным «тепловым карманом», который образуется в задней части шкафа из-за конечного сопротивления потоку воздуха, оказываемого перфорированной задней дверью. Эффект теплового кармана усиливается при недостаточной производительности вентиляторов кондиционеров и вследствие появления из-за этого противодействия воздушной массы горячего коридора на шкафы.

Сильная сторона изоляции горячего коридора – возможность его реализации в зале без фальшпола. Последняя особенность приобретает первостепенное значение в тех ситуациях, когда под ЦОД без остановки функционирования переоборудуется бывшая серверная или в случае реализации малых ЦОД с нуля, но в уже построенных зданиях.

Большие объемы холодного воздуха в аппаратном зале выгодны с точки зрения дополнительного охлаждения активного оборудования, находящегося вне стоек. Аппаратный зал при такой системе при условии правильного проектирования становится более устойчивым к авариям.

Здесь сказывается то обстоятельство, что увеличивается время нормального завершения функционирования серверов при отказе системы кондиционирования при условии сохранения работоспособности вентиляторов (сам зал выполняет функции аккумулятора холода). Одновременно следует учитывать, что система горячих коридоров естественным образом оказывается крайне неэффективной при малой степени наполнения аппаратного зала активным сетевым и компьютерным оборудованием.

Холодный коридор безальтернативен при применении активного оборудования, которое выбрасывает горячий воздух вверх. Применение этой схемы делает нахождение персонала в аппаратном зале более комфортным благодаря ослаблению общего повышения температуры, а меньший объем кондиционируемого пространства позволяет не обращать внимания на степень заполнения оборудованием его пространства. После аварийного останова ЦОД его запуск происходит быстрее из-за меньшей общей теплоемкости охлаждаемого объема.

Холодный коридор предпочтителен в случае построения системы воздушного охлаждения по энергетически выгодной т. н. низкоскоростной схеме (решение Low Speed Ventilation, впервые предложенное компанией Alfa Laval).

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗОЛЯЦИИ

Система универсальной изоляции представляет собой конструктор с болтовым креплением отдельных силовых компонентов друг к другу, в состав которого входят три основных укрупненных функциональных блока:

- силовой каркас;
- элементы формирования крыши и торцевых поверхностей;
- средства дополнительной герметизации.

Силовой каркас собирается из порталов и балок. При общей протяженности коридора свыше 2,4 м из соображений обеспечения необходимой механической прочности балки подкрепляются дополнительными промежуточными опорами. Последние могут опираться на пол или на крыши шкафов. Дополнительная опора шпилечного типа обеспечивает плавную регулировку по высоте. По местным условиям монтажа вполне допустимо потолочное крепление шпильками.

П-образный портал в однорядном и двухрядном вариантах

- выполняет функции концевых элементов структуры;
- используется в качестве несущей конструкции дверей и концевых заглушек.

Общая длина коридора регулируется количеством балок и подбором их длины из имеющейся развитой номенклатуры, соединение балок друг с другом и с порталом выполняется штатным крепежным набором. Необходимая механическая стабильность каркаса в целом достигается его креплением к полу.

Вертикальные элементы формирования торцевых поверхностей одно- и двухрядного коридора представлены сдвижными дверями и торцевыми заглушками. При необходимости на дверь устанавливается обычный или дистанционно управляемый замок. Введение торцевых заглушек, устанавливаемых в глухом конце коридора, позволяет дополнительно снизить стоимость решения и упрощает монтаж.

Элементы формирования крыши выполнены в виде жестких потолочных поликарбонатных панелей 8-миллиметровой толщины глубиной от 600 до 800 мм. Панели укладываются на перекладины, дополнительно зафиксированные на балках. При необходимости изменения ширины панели лишняя часть просто срезается.

Исполнение панелей из прозрачного пластика в сочетании с развитым 4-миллиметровым остеклением дверей и заглушек обеспечивает комфортный уровень освещенности внутри закрытого коридора.

Средства дополнительной герметизации используются для предотвращения смешивания охлажденного и нагретого воздуха через имеющиеся неплотности коридора и представлены

- панелями-компенсаторами из 8-миллиметрового прозрачного поликарбоната, которые используются при установке в одном ряду шкафов различной высоты;

- панелями-заглушками рамного типа с поликарбонатной вставкой – устанавливаются на место отсутствующего в ряду шкафа;
- комплектами уплотнения различной длины для использования на переходах стена – коридор и шкаф – пол.

Сборка универсального коридора выполняется с привлечением штатных элементов крепления и не требует использования специальных инструментов.

Дополнительные сведения о конструкции универсальной системы изоляции коридоров Q-Space можно найти на сайте компании Eurolan по адресу <https://www.eurolan.ru/ru/library/>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный материал позволяет констатировать следующее.

1. Термическая изоляция коридоров методом контейнеризации является важным составным компонентом системы воздушного охлаждения аппаратного зала ЦОД и во многом определяет энергоэффективность объекта в целом.
2. В большинстве ЦОД при обязательном условии наличия фальшпола целесообразно применять систему изоляции холодного коридора.
3. При прочих равных условиях в качестве предпочтительного технического средства изоляции следует рассматривать специализированную систему без силовой механической связи отдельных ее компонентов со шкафами.
4. Универсальная система изоляции при возникновении такой необходимости может быть внедрена в действующей серверной без остановки ее работы с фактическим повышением класса этого объекта до уровня полноценного ЦОД.
5. Максимальная эффективность системы воздушного охлаждения достигается в случае герметизации всех возможных путей перетекания воздушных потоков в сочетании с тщательным выполнением проекта и наличием развитой системы текущего контроля термической обстановки в аппаратном зале ЦОД.