

Питание и охлаждение для стоек и блейд-серверов со сверхвысокой плотностью мощности

автор:
Нейл Расмуссен
(Neil Rasmussen)

**Официальный
документ №46**

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Краткий обзор

Для устанавливаемого вычислительного оборудования, например блейд-серверов, потребляемая мощность может достигать 10 кВт и более в расчете на одну стойку. Это создает проблемы охлаждения и питания в информационных центрах, где средняя потребляемая мощность в расчете на стойку составляет менее 2 кВт. В данном обзоре рассматриваются стратегии планирования, позволяющие решать проблему питания и охлаждения стоек со сверхвысокой потребляемой мощностью, вместе с практическими решениями как для новых, так и для существующих информационных центров.

Введение

Мощность, потребляемая оборудованием, размещаемым в одном корпусе стойки, может варьироваться в очень широких пределах. Средняя потребляемая мощность в расчете на корпус составляет в информационных центрах около 1,4 кВт, но максимальная мощность, которая может достигаться при заполнении стойки существующими серверами с высокой плотностью компоновки, например блейд-серверами, составляет приблизительно 18 кВт. Такие нагрузки значительно превосходят расчетные возможности конструкций типовых информационных центров по питанию и охлаждению.

Операторы информационных центров имеют весьма небольшой опыт работы с корпусами, потребляющими свыше 10 кВт, но современные тенденции наводят на мысль, что многие будут сталкиваться с необходимостью устанавливать и обеспечивать питанием и охлаждением отдельные стойки или группы стоек с высокой плотностью мощности.

Простым решением этой проблемы могло бы быть обеспечение информационных центров такими возможностями, которые бы позволяли предоставить избыточную мощность в 18 кВт и соответствующее охлаждение для каждого корпуса. *К сожалению, это попросту технически нецелесообразно и экономически не оправдано практически во всех случаях.* Неправильный выбор при проектировании информационных центров, выполняющих большой объем вычислений, может без особой нужды увеличить стоимость эксплуатации физической инфраструктуры во много раз. Цель данного документа — обрисовать практические и эффективные стратегии развертывания корпусов и блейд-серверов с высокой плотностью мощности.

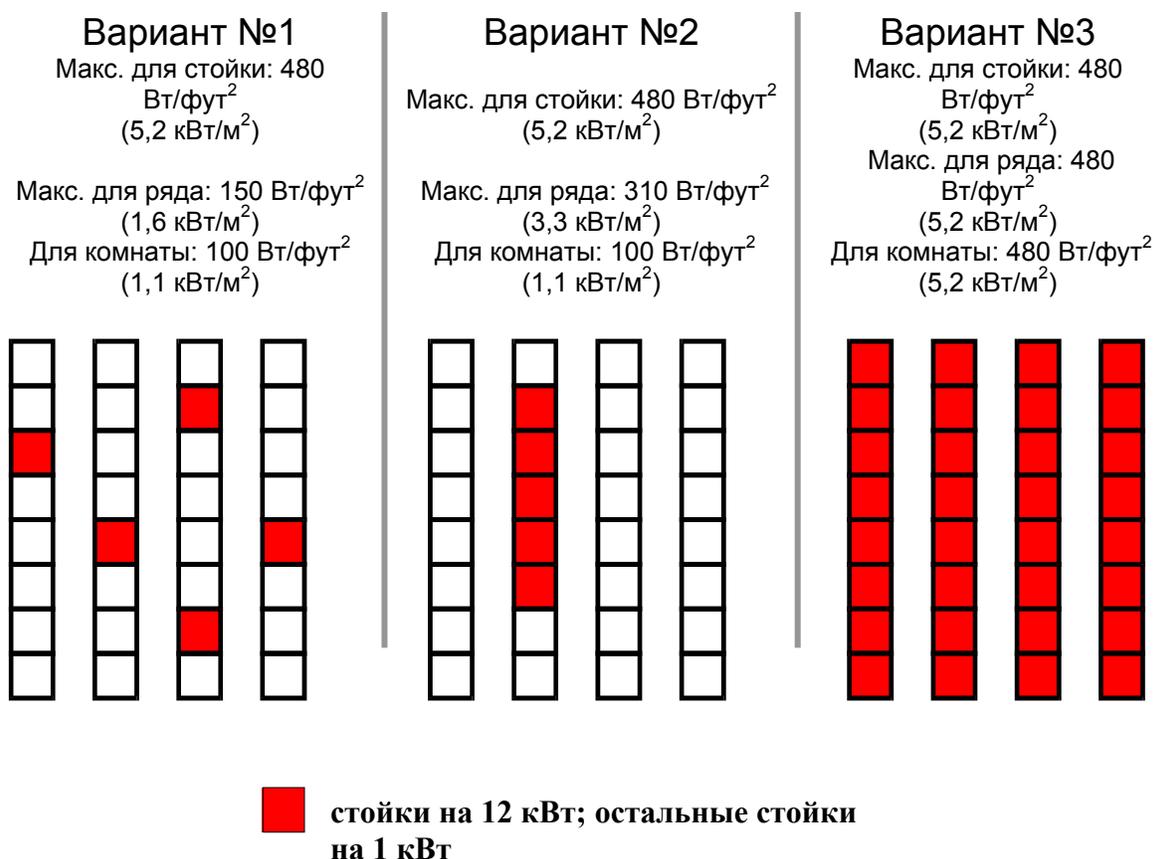
Вначале излагается концепция плотности мощности. Затем рассматриваются реальные значения плотности мощности для существующих и новых информационных центров. Представлены практические подходы к достижению высоких уровней плотности мощности вместе с их ограничениями и преимуществами. Наконец, предлагаются практические стратегии развертывания вычислительного оборудования с высокой плотностью потребляемой мощности.

Четкое определение плотности мощности в информационных центрах

При описании плотности мощности могут возникать серьезные заблуждения, поскольку термин «плотность мощности» (power density) сам по себе неоднозначен. Плотность мощности часто выражается в ваттах на квадратный фут или в ватах на корпус. Такая простая характеристика является достаточной, когда мощность, потребляемая всеми корпусами, одинакова. Однако, в реальных информационных центрах мощность, приходящаяся на корпус, варьируется в очень широких пределах. В данных реальных случаях значения плотности мощности, измеренные на уровне стоек, на уровне ряда и на уровне комнаты, могут все разительно отличаться. Такой разброс в значениях плотности мощности, измеренных в расчете на корпус, ряд и комнату, оказывает значительное влияние на конструкцию инфраструктуры системы обеспечения питанием и влияет еще в большей степени на конструкцию системы охлаждения.

Различия в плотности мощности, измеренной на уровне стойки, ряда и комнаты, показаны на Рисунке 1. На рисунке корпуса мощностью 12 кВт установлены в типовой комнате. В одном варианте 15% корпусов в комнате потребляют 12 кВт, а остальные — 1 кВт. Во втором варианте тот же процент корпусов потребляет 12 кВт, но они сгруппированы в один ряд. В третьем варианте все корпуса в комнате потребляют по 12 кВт. В каждом из этих вариантов максимальная плотность мощности одинакова и равна 12 кВт на стойку, что эквивалентно 480 Вт/фут² (5,2 кВт/м²). Однако, значения плотности мощности, приходящиеся на ряд и комнату, варьируются между этими вариантами очень сильно.

Рисунок 1 — Плотность мощности в ваттах на единицу площади для одной стойки, ряда и комнаты в трех разных конфигурациях комнаты



Различия между значениями плотности мощности, приходящимися на стойку, ряд и комнату, показанные на Рисунке 1, отражают реалистичные варианты установок. Эти различия существенно влияют на конструкцию инфраструктуры питания и охлаждения. Общая номинальная мощность системы питания и системы охлаждения равна простой сумме всех мощностей, потребляемых нагрузками. Это позволяет определить общий размер ИБП (источник бесперебойного питания) и кондиционеров компьютерной комнаты. Основная проблема, связанная с варьированием максимальных значений плотности мощности, относится к питанию и *распределению* воздушных потоков в информационных центрах.

Заметьте, что приведенные выше описания плотности мощности приводятся для общей площади помещения, включающей дополнительное пространство, например пустые пролеты, которые необходимы и добавляются к площади основания корпуса. Это общепринятый метод описания плотности мощности и именно в таком толковании плотность мощности будет согласованно использоваться далее в этом документе. Однако, в ряде литературных источников, особенно выпускаемых изготовителями компьютерного оборудования, плотность мощности приводится в ваттах на единицу площади, где площадь ограничивается поверхностью основания корпуса. Такие значения плотности мощности, основанные на площади основания, должны корректироваться в меньшую сторону приблизительно на 75%.

Реальные возможности существующих информационных центров по плотности мощности

Компания APC и другие организации провели исследования среди разработчиков и операторов информационных центров для определения существующих рабочих плотностей мощности и конструкторских ограничений комнат новых и существующих информационных центров, а также крупных сетевых узлов. Данные таблицы 1 представляют результат обобщения 2002 значений из различных источников, включая корпоративных заказчиков, обслуживающий персонал и инженеров-консультантов. Найденное реальное общее значение плотности мощности в расчете на один корпус точно согласуется со значениями, полученными в недавних исследованиях Калифорнийского университета в Беркли¹.

Таблица 1 — Результаты исследования конструкции информационных центров и реальных значений плотности мощности

Параметры	Среднее по информационным центрам	Для 90% информационных центров менее чем	Пример найденного максимального значения
Проектная плотность мощности	35 Вт/фут ² (377 Вт/м ²)	60 Вт/фут ² (646 Вт/м ²)	200 Вт/фут ² (2,15 кВт/м ²)
Реальная рабочая плотность мощности	25 Вт/фут ² (270 Вт/м ²)	40 Вт/фут ² (430 Вт/м ²)	150 Вт/фут ² (1,6 кВт/м ²)
Проектная плотность мощности на один корпус	1,1 кВт/корпус	1,8 кВт/корпус	6 кВт/корпус
Реальная полная плотность мощности на один корпус	1,3 кВт/корпус	2 кВт/корпус	4 кВт/корпус

¹ Митчел-Джексон Дж. Д. (Mitchell-Jackson, J.D.), Куми Дж. Г. (Kooimey, J.G.), Нордман Б. (Nordman, B.), Блазек М. (Blazek, M.), «Требования к питанию информационных центров: Измерения из Селиконовой Долины», 16 мая, 2001 г. магистерская диссертация, группа энергии и ресурсов (Energy and Resources Group), Университет Калифорнии. Селиконовая Долина, Калифорния.

Параметры	Среднее по информационным центрам	Для 90% информационных центров менее чем	Пример найденного максимального значения
Реальное среднее значение мощности на один корпус в рядах с максимальной плотностью мощности, встречающихся в информационных центрах	2 кВт/корпус	3 кВт/корпус	5 кВт/корпус
Реальная максимальная мощность на корпус в информационных центрах	3 кВт	6 кВт	7 кВт

Примечание. Корпуса включали корпуса стоек и аппаратные корпуса, такие как запоминающие устройства с прямым доступом (DASD) и большие ЭВМ. Оборудование, превышающее по размерам корпус стойки, рассматривается как несколько стоечных корпусов с такой же площадью основания

Как показывают данные, среднее значение проектной плотности мощности для информационных центров равно 35 Вт/фут² (377 Вт/м²) или 1,1 кВт на корпус в предположении, что основание корпуса составляет 30 фут² (930 см²). Обнаруженный факт, что средняя реальная мощность на один корпус превышает проектное значение, вполне возможен, поскольку средняя плотность размещения в 30 кВт на корпус в большинстве случаев не достигается. Это объясняется главным образом тем, что информационные центры не заполнены полностью корпусами. Например, информационный центр, для которого проектная плотность мощности равна 1,1 кВт/корпус при площади корпуса 30 фут², в состоянии обеспечить питанием стойку с плотностью мощности 2,2 кВт/корпус, если корпуса занимают только половину доступной площади комнаты.

Заметьте, что эти данные действительны только для производственных условий. Как было выяснено, в центрах разработки и тестирования средняя и максимальная плотность мощности были несколько выше, чем приводимые здесь значения.

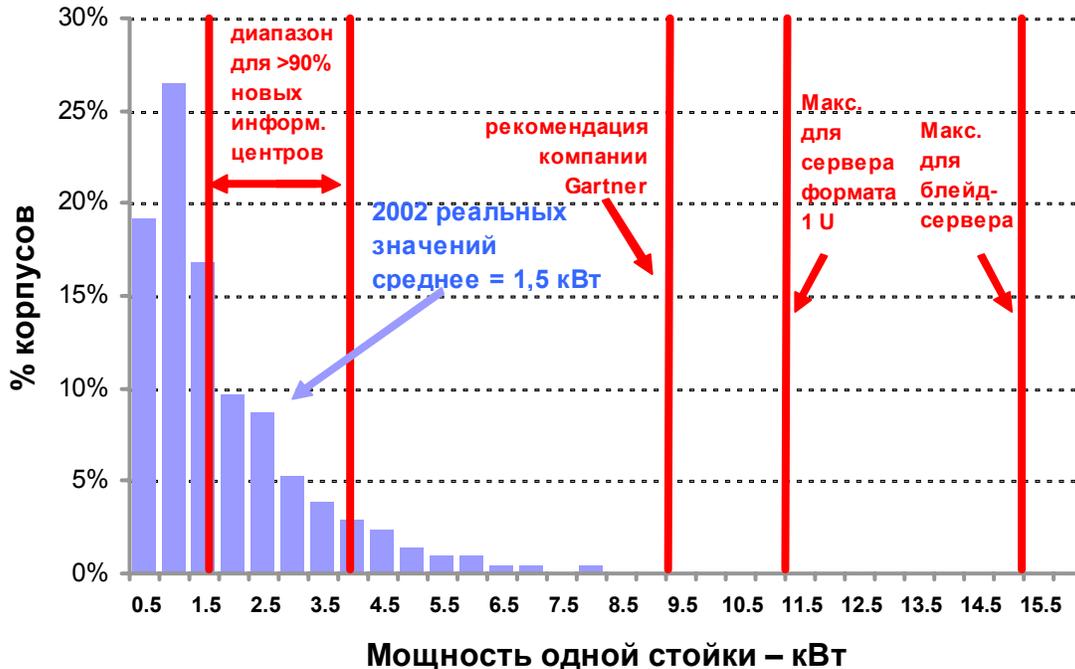
На рисунке 2 показано частотное распределение потребляемой мощности в расчете на одну стойку, полученное по результатам исследования². Это позволяет рассмотреть проблему плотности мощности еще с одной стороны. Каждый столбик представляет процент стоек, потребляющих мощность в диапазоне 500 Вт до значения, указанного под столбиком. Например, столбик 1,5 кВт включает корпуса с потребляемой мощностью между 1 кВт и 1,5 кВт.

Обратите внимание, что в соответствии с данными рисунка 2 значительное число корпусов в типовом информационном центре потребляют менее 500 Вт. К таким корпусам относятся коммутационные панели, а также стойки переключателей и серверов с низкой плотностью заполнения. Многие из этих стоек также содержат значительное пустое вертикальное пространство, незанятое оборудованием.

² Эти данные труднее получить, чем данные таблицы 1, поскольку в большинстве информационных центров отсутствуют средства измерения потребляемой мощности в расчете на стойку. Во многих случаях требуемые данные оценивались следующим образом: брались значения реальной мощности для группы стоек и затем полученные значения разделялись по корпусам на основании исчерпывающих данных по потребляемой мощности оборудования разных производителей, собираемых компанией APC для использования в измерительных инструментах ИБП.

На рисунке 2 также видно, что число корпусов, потребляющих мощность свыше 2 кВт, резко уменьшается, а корпуса мощностью более 8 кВт вообще не встречались.

Рисунок 2 — Частотное распределение реальных значений мощности, потребляемой корпусами стоек, показанное относительно конфигурации стойки с максимальной потребляемой мощностью



На рисунке 2 вместе с реальными значениями потребляемой мощности в расчете на корпус показан ряд справочных линий. Первая пара справочных линий, полученная на основе опросов инженеров-консультантов, показывает диапазон значений средней плотности мощности, на которые рассчитываются новые информационные центры.

Линия с маркировкой «Рекомендация компании Gartner» представляет значение 300 Вт/фут^2 ($3,2 \text{ кВт/м}^2$), рекомендуемое для проектов новых информационных центров исследовательской компанией Gartner Research в своей аналитической статье за февраль 2003 г., озаглавленной «Питание и тепловыделение в современных информационных центрах» (Power and Heat in the Modern Data Center). Обратите внимание, что это значение значительно превышает реальные значения потребляемой мощности в современных информационных центрах, а также проектные значения, предусмотренные для новых информационных центров. Плотности мощности этого порядка обычно рассматриваются в популярной прессе в качестве приемлемых значений для новых проектов.

Следующие две линии представляют плотности мощности, которые могут достигаться при заполнении корпусов стоек самыми производительными серверами, доступными на сегодняшний день, к которым принадлежат серверы формата 1 U и блейд-серверы. Эти величины значительно превосходят проектные значения для новых информационных центров и реальные значения потребляемой мощности для существующих центров обработки данных. Хотя блейд-серверы могут потреблять большую мощность в расчете на стойку, чем серверы формата 1 U, следует заметить, что при таких плотностях мощности блейд-серверы предоставляют приблизительно

удвоенное количество серверных плат по сравнению с серверами 1 U. Отсюда следует, что блейд-серверы потребляют приблизительно на 40% меньше мощности в расчете на серверную плату, чем обычные серверы 1 U.

На основании этих данных можно сделать следующие выводы:

- Большинство корпусов в информационных центрах потребляют мощность ниже проектной величины для конкретного информационного центра.
- В действительности высокопроизводительное вычислительное оборудование не устанавливается в конфигурации с максимальной плотностью мощности, которую может обеспечивать его конструкция.
- Для подавляющего большинства существующих и проектируемых информационных центров значения плотности мощности, о которых сообщается в популярной прессе, не достигаются.

В данном документе термин «высокая плотность» относится к корпусам, потребляющим свыше 3 кВт, где значение 3 кВт соответствует верхней границе рабочего диапазона средней системы охлаждения в существующих информационных центрах.

Требования к системам питания и охлаждения корпусов с высокой плотностью мощности

Примером корпуса с очень высокой плотностью мощности может служить конфигурация блейд-сервера, состоящая из шести высоких серверных блоков 7U, размещаемых в стойке 42U, где каждый одноплатный блок потребляет 3 кВт при общей потребляемой мощности в 18 кВт. Это означает, что на корпус должно подаваться питание 18 кВт и обеспечиваться охлаждение рассеиваемой мощности в 18 кВт. Система такого типа может, как правило, рассматриваться в качестве предельной системы и для нее будет требоваться избыточное питание и охлаждение.

Требования к питанию

С точки зрения питания данная система вероятнее всего потребует **двенадцать** цепей питания на 30 А с напряжением 208 В или 230 В (по две цепи для каждого шасси серверной платы с двумя кабелями питания; при совместном использовании цепи двумя серверами отдельные нагрузки цепи находились бы в нежелательной близости к порогу срабатывания прерывателя). Провода, связанные с цепями питания, достаточно громоздки и обычно должны проходить по верху, чтобы предотвратить блокирование воздушных потоков под фальшполом (если фальшпол используется). Такая прокладка проводов особенно актуальна, если несколько подобных корпусов располагаются рядом друг с другом. В альтернативном варианте, если используется фальшпол, высота фальшпола может быть увеличена для размещения электропроводки. В любом из вариантов необходимо устанавливать дополнительную электропроводку, что может быть трудным и дорогостоящим делом, если информационный центр эксплуатируется в непрерывном режиме. С помощью указанных методов можно обеспечить избыточную мощность для стоек со сверхвысокой плотностью мощности.

Требования к охлаждению

Охлаждение корпуса со сверхвысокой плотностью мощности представляет собой намного более сложную проблему, чем обеспечение такой системы питанием. Система блейд-сервера, описанная выше, потребовала бы приблизительно 2500 фут³/мин (1180 л/с) холодного воздуха на входе (основываясь на стандартном значении увеличения температуры выпускаемого воздуха равном 20°F [11°C]) и выпуска такого же количества нагретого воздуха сзади корпуса. Оборудование должно потреблять этот объем воздуха независимо от того сможет ли система охлаждения предоставить такие объемы. Если комната не рассчитана на обеспечение корпуса таким количеством холодного воздуха, тогда корпус будет потреблять выпускаемый горячий воздух (или воздушные потоки, выпускаемые соседним оборудованием) и в конечном итоге перегреется. Существует четыре ключевые элемента, необходимые для достижения требуемой эффективности охлаждения:

- подача на корпус 2500 фут³/мин (1180 л/с) холодного воздуха;
- отвод 2500 фут³/мин (1180 л/с) горячего выпускаемого воздуха из корпуса;
- предотвращение попадания горячего выпускаемого воздуха в воздухозаборник оборудования;
- обеспечение всех этих функций с избыточностью и в непрерывном режиме.

Любую из этих функций очень трудно обеспечить. Трудности реализации каждой из этих функций обсуждаются в следующих разделах.

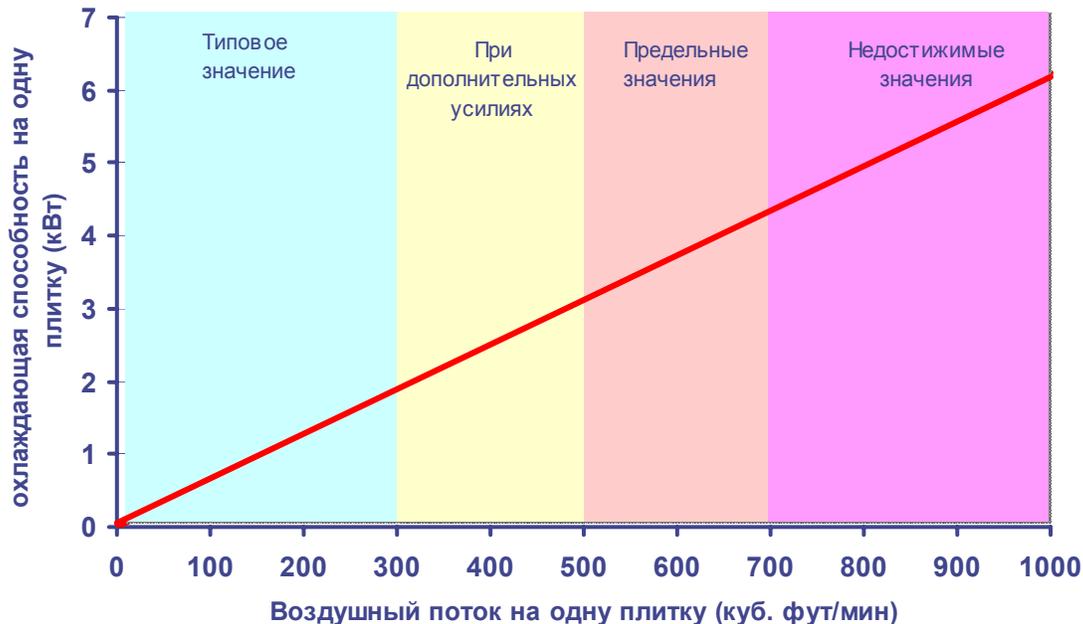
Подвод 2500 фут³/мин (1180 л/с) холодного воздуха к корпусу

В типовом информационном центре для каждого корпуса предоставляется одна вентилируемая половая панель. Стандартная вентилируемая половая панель в обычном информационном центре способна обеспечить подачу в корпус приблизительно 300 фут³/мин (142 л/с) холодного воздуха. Это означает, что для корпуса мощностью 18 кВт потребуется 8 вентилируемых половых панелей, т. е. в 8 раз больше обычной нормы. Чтобы обеспечить 8 вентилируемых панелей на корпус, пролеты, а также зазоры между стойками должны быть значительно увеличены. В обычном информационном центре такую планировку невозможно реализовать.

На рисунке 3 показана зависимость охлаждающей способности половой панели от величины воздушного потока, проходящего через одну половую панель. Несмотря на то, что охлаждающая способность возрастает вместе с увеличением воздушного потока, из рисунка видно, что более высокие значения охлаждающей способности становятся практически недостижимыми. Как показывают данные рисунка, получение воздушного потока на одну панель свыше 300 фут³/мин (142 л/с) требует специальной конструкции фальшпола, установки CRAC и устранения препятствий воздушному потоку, таких как трубы и электропроводка. Для обеспечения воздушного потока на одну панель свыше 500 фут³/мин (236 л/с) необходимо использовать специальные половые панели, выполненных в виде открытых металлических решеток. Такое решение способно предоставить воздушный поток до 700 фут³/мин (330 л/с) на одну половую панель в обычном информационном центре. Однако, использование таких решеток резко изменяет градиенты давления под полом и влияет на воздушные потоки в окружающих областях. При применении нескольких таких решеток локальное давление под фальшполом будет падать и полный воздушный поток не будет обеспечиваться. Чтобы дополнительно увеличить воздушный поток и

уравнять давление под полом, необходимо значительно увеличить высоту фальшпола, что в конечном итоге сделает дальнейшее увеличение воздушного потока через половую панель невозможным.

Рисунок 3 — Охлаждающая способность воздуха, подводимого к корпусу стойки через половую панель, в зависимости от величины воздушного потока, проходящего через одну половую панель



Как видно из рисунка 3, даже при реализации конструкции с предельными возможностями потребуется от 4 до 5 половых панелей для охлаждения гипотетического корпуса стойки мощностью 18 кВт. Однако, в планировке типового информационного центра для охлаждения каждого корпуса стойки предусматривается только одна половая панель. Планировка обычного информационного центра с одной вентиляционной панелью на стойку просто не позволяет обеспечить охлаждение стоек с мощностью свыше 3 кВт на стойку на обслуживаемой площади.

Отвод 2500 фут³/мин (1180 л/с) горячего выпускаемого воздуха из корпуса

Существует три способа возврата воздуха обратно в систему охлаждения: через комнату, через трубопровод или через потолочную вентиляционную камеру. В идеальном варианте горячий выпускаемый воздух отводится из оборудования напрямую в систему охлаждения без его смешивания с окружающим воздухом и без его подачи в воздухозаборник оборудования. Для этого необходим свободный и прямой воздушный канал. Для справки: передача воздуха 2500 фут³/мин (1180 л/с) через круглый трубопровод сечением 12 дюймов (30 см) обеспечивается при скорости воздуха 35 миль/час (56 км/час). Высокий открытый потолок с системой возврата больших объемов воздуха, расположенной по центру и в верхней точке, представляет один из способов обеспечения такого охлаждения. Однако, во многих информационных центрах для возврата воздуха используются возвратные трубопроводы или подвесные потолочные вентиляционные камеры, а во многих других центрах масса нагретого воздуха возвращается через комнату под потолком, который лишь на несколько футов выше корпусов. Реализации этих вариантов представляют собой сложные технические задачи при проектировании информационных центров.

Возможности отвода горячего воздуха от конкретного корпуса стойки также ограничены, как и возможности подвода холодного воздуха. Как и в случае подвода холодного воздуха, обеспечение отвода более 400 фут³/мин (189 л/с) возвращаемого воздуха в расчете на одну стойку через обслуживаемую площадь требует специальных проектных решений, чтобы гарантировать необходимую производительность и избыточность системы.

Предотвращение попадания горячего выпускаемого воздуха в воздухозаборник оборудования

Кратчайшим путем попадания воздуха в воздухозаборник вычислительного оборудования является рециркуляционный канал от собственного воздухоотвода оборудования. Важнейшей частью разработки информационного центра является обеспечение того, чтобы канал подачи холодного воздуха и канал возврата выпускаемого горячего воздуха препятствовали возникновению этого нежелательного канала рециркуляции. Данная проблема принимает особую остроту для сред с высокой плотностью размещения, так как воздушные потоки, перемещаемые с высокой скоростью, должны преодолевать сопротивление систем подачи и возврата воздуха. Для решения этой проблемы могут использоваться различные методы, которые детально описываются в официальном документе №49 компании APC, «Устраняемые ошибки, которые отрицательно влияют на охлаждающую способность в информационных центрах и сетевых комнатах» (Avoidable Mistakes that Compromise Cooling Performance in Data Centers and Network Rooms).

Обеспечение всех этих функций с избыточностью и в непрерывном режиме

В информационных центрах с непрерывным циклом работы оборудование должно продолжать функционировать во время плановых или unplanned простоев блоков CRAC. Это означает, что охлаждение должно предоставляться при отключении любого из блоков CRAC. В стандартной конструкции информационного центра несколько блоков CRAC обеспечивают перенос воздуха под общим фальшполом или через верхнюю вентиляционную камеру, в которой должны объединяться выходные потоки всех блоков CRAC и поддерживаться одинаковое давление во всей системе распределения воздуха. Система проектируется с учетом требований к воздушным потокам и охлаждению при отключении любого отдельного блока CRAC.

При увеличении в обычных информационных центрах плотности мощности поток воздуха в потолочной вентиляционной камере возрастает и фундаментальные предположения о работе общей системы вентиляции начинают нарушаться. Выключение отдельного блока CRAC может радикально изменить скорости локальных воздушных потоков в пределах потолочной вентиляционной камеры. Воздушный поток в отдельной половой панели может даже стать обратным, затягивая воздух под пол в результате возникновения эффекта Вентури (Venturi). Работа системы охлаждения в условиях отказа отдельных блоков становится менее предсказуемой при возрастании плотности мощности. По этой причине расположение оборудования с высокой плотностью размещения часто моделируют с использованием методов численного моделирования для определения наличия избыточных мощностей.

Концепция непрерывного охлаждения также трудно реализуема в среде с высокой плотностью мощности. Система охлаждения стандартного информационного центра получает резервное питание от автономного генератора, а не от системы бесперебойного питания. Существующая задержка запуска генератора приемлема для среднего информационного центра, поскольку перерыв в работе системы охлаждения и подачи воздуха в течение 5—20 секунд, которые необходимы для запуска генератора, приводит к повышению температуры на 1°C

(1,8°F). Однако, в случае, когда устанавливаются нагрузки с высокой плотностью мощности, порядка 18 кВт на корпус, приблизительный рост температуры воздуха в течение типового времени запуска генератора составит неприемлемые 8—30°C (14—54°F). Поэтому при установке оборудования с высокой плотностью мощности возникает необходимость в непрерывной работе вентиляторов CRAC, насосов и в некоторых случаях даже самих блоков CRAC с тем, чтобы обеспечить непрерывное охлаждение. Это основной фактор роста расходов и основное препятствие для развертывания вычислительного оборудования с высокой плотностью мощности.

Альтернативные варианты развертывания корпусов и блейд-серверов с высокой плотностью мощности

Существует 5 основных альтернативных методов, которые могут использоваться для установки корпусов и блейд-серверов с высокой плотностью мощности. Ниже приводится краткое описание этих проектов.

1. Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить потребности всех стоек, работающих с максимальной мощностью.
2. Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить средние значения параметров (ниже максимальной потребляемой корпусом мощности) и использование дополнительного охлаждающего оборудования, необходимого для охлаждения стоек с плотностью мощности, превосходящей среднее проектное значение.
3. Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить средние значения параметров (ниже максимальной потребляемой корпусом мощности) и использование правил, позволяющих стойкам с высокой плотностью мощности заимствовать незадействованные мощности охлаждения соседнего оборудования.
4. Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить средние значения параметров (ниже максимальной потребляемой корпусом мощности) и распределение нагрузки любых корпусов, чья нагрузка превышает среднее проектное значение, посредством размещения оборудования между несколькими корпусами стоек.
5. Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить средние значения параметров (ниже максимальной потребляемой корпусом мощности); выделение внутри комнаты специальной ограниченной зоны с большими возможностями охлаждения и ограничение места расположения корпусов с высокой плотностью мощности пределами этой зоны.

Каждый из этих подходов рассматривается по очереди вместе со своими преимуществами и недостатками.

Метод 1: Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить потребности всех стоек, работающих с максимальной мощностью

Концептуально это самое простое решение, но оно никогда не реализуется, поскольку в информационных центрах всегда существуют значительные изменения в мощности, приходящейся на стойки и проектирование конструкции в расчете на наихудший случай будет расточительным и неприемлемым с точки зрения стоимости.

Более того, проектирование для случая общей плотности мощности превышающее 6 кВт на стойку требует чрезвычайно сложных инженерных решений и анализа. Этот подход может быть оправданным только в исключительных ситуациях.

Метод 2: Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить средние значения параметров (ниже максимальной потребляемой корпусом мощности) и использование дополнительного охлаждающего оборудования, необходимого для охлаждения стоек с плотностью мощности, превосходящей среднее проектное значение

Для реализации данного решения обычно требуется предварительное планирование установки оборудования с тем, чтобы обеспечить возможность использования дополнительного охлаждающего оборудования там, где необходимо и когда необходимо. Когда комната проектируется именно таким образом, могут использоваться разнообразные методы для предоставления дополнительного охлаждения стоек. К этим методам относятся:

- Установка специальных половых панелей или вентиляторов для увеличения подачи холодного воздуха от блоков CRAC к корпусам.
- Установка специальных возвратных трубопроводов или вентиляторов для удаления горячего выпускаемого воздуха из корпуса для возврата в агрегаты CRAC.
- Установка специальных стоек или устройств охлаждения, монтируемых на стойку, способных обеспечить требуемое охлаждение непосредственно на стойке.

Эти методы рассматриваются в официальном документе №41 компании APC: «Варианты охлаждения стоек в информационных центрах и сетевых комнатах» (Rack Cooling Options for Data Centers and Network Rooms).

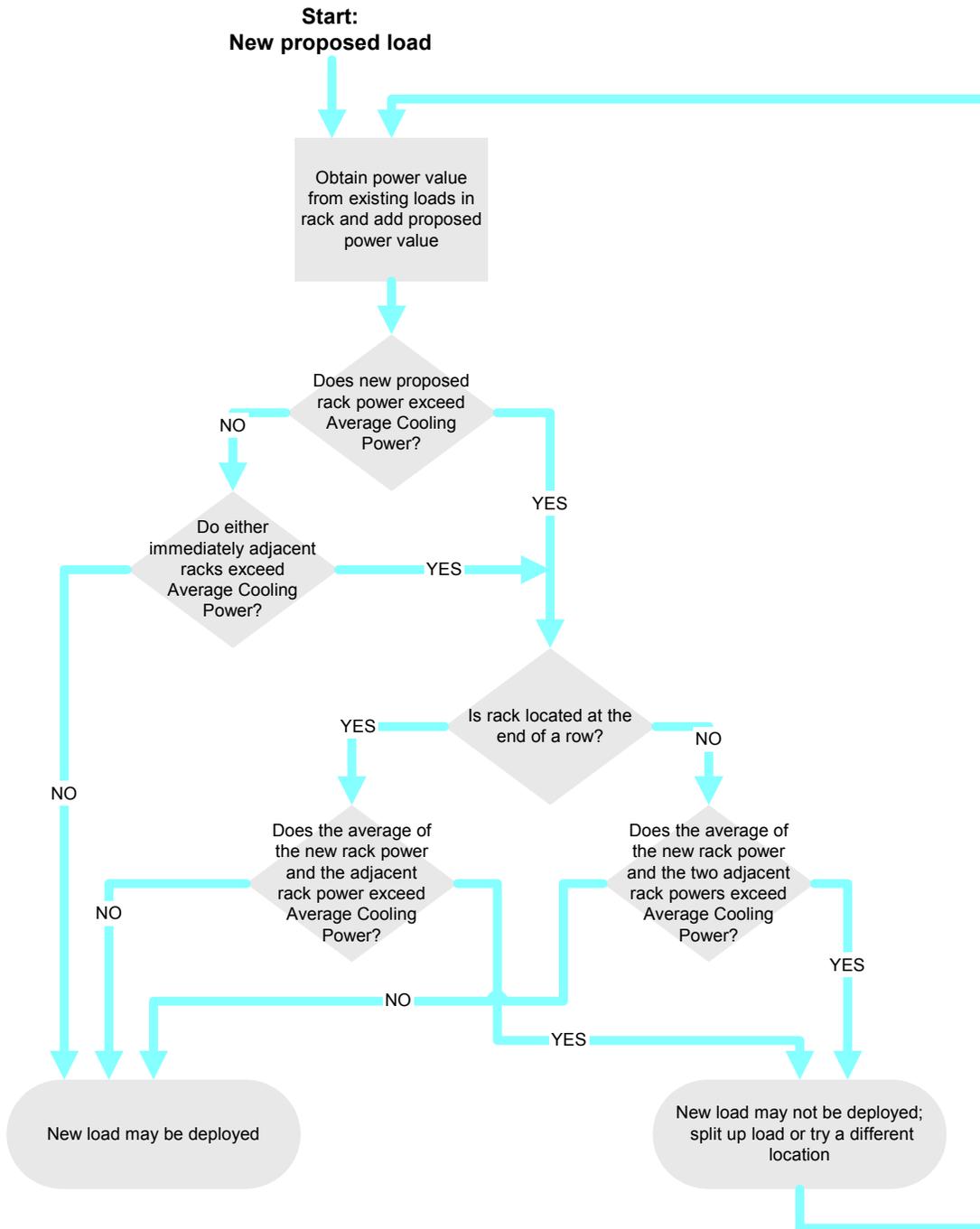
Данные методы стали доступны только недавно и на сегодняшний день нашли применение в небольшом числе информационных центров. Однако, они предоставляют значительную гибкость и при надлежащем планировании могут приобретаться и устанавливаться по мере необходимости.

Метод 3: Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить средние значения параметров (ниже максимальной потребляемой корпусом мощности) и использование правил, позволяющих стойкам с высокой плотностью мощности заимствовать незадействованные мощности охлаждения соседнего оборудования.

Это бесплатное решение часто встречается на практике, но только в редких случаях документально оформлено. Этот подход основан на том факте, что мощность, потребляемая некоторыми стойками, меньше среднего проектного значения. Мощности охлаждения и возврата нагретого воздуха, которые доступны для корпусов, незагруженных полностью, доступны также и для корпусов в непосредственной близости. Соблюдение простого правила, такого как «не располагать вблизи друг от друга стойки с высокой плотностью мощности», дает определенные преимущества, а применение более изощренных нормативов позволяет выделять для надежного и предсказуемого охлаждения корпусов мощности более чем в два раза превышающие проектные значения. Эти нормы могут устанавливаться принудительно и проверяться на соответствие через контроль за потребляемой мощностью на уровне стоек. Данная функция может быть автоматизирована с помощью системы управления, такой как ISX Manager, разработанной компанией APC. Автоматизация данной функции станет крайне необходимой по мере ввода нового вычислительного оборудования, потребляемая мощность которого изменяется во времени.

Пример эффективного правила, которое может применяться в рамках данного метода, показан на рисунке 4. Это правило могло бы применяться при развертывании нового оборудования для доказательства того факта, что оборудование может развертываться в пределах возможностей охлаждающей системы. Согласно этому правилу мощности охлаждения, не используемые ближайшими соседними корпусами, доступны для охлаждения стойки оборудования с максимальной плотностью мощности, причем потребляемая такой стойкой мощность охлаждения может превышать среднее комнатное значение в 3 раза, если мощности охлаждения соседних корпусов не используются. В типовых информационных центрах это решение может представлять очень эффективный способ использования корпусов с высокой плотностью мощности, поскольку не редки случаи, когда соседние корпуса не используют полностью доступные мощности охлаждения.

Рисунок 4 – Пример метода, использующего правила для обеспечения корпусов с высокой плотностью мощности охлаждением, которое не задействовано другим оборудованием



Метод 4: Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить средние значения параметров (ниже максимальной потребляемой корпусом мощности) и распределение нагрузки любых корпусов, чья нагрузка превышает среднее проектное значение, посредством размещения оборудования между несколькими корпусами стоек

Это наиболее популярное решение для внедрения оборудования с высокой плотностью мощности в существующие информационные центры. К счастью все доступные для покупки серверы 1U и блейд-серверы не обязательно должны устанавливаться в одну стойку и могут распределяться по нескольким корпусам. При размещении оборудования по нескольким стойкам исключается возможность превышения стойкой проектного значения плотности мощности и, соответственно, работа системы охлаждения становится предсказуемой.

Обратите внимание, что когда оборудование распределяется между несколькими корпусами, имеется возможность оставлять в стойках незанятым немалое вертикальное пространство. Это пространство должно заполняться пустыми панелями для предотвращения снижения производительности системы охлаждения, как это описано в официальном документе №44 компании APC, «Улучшение охлаждения стоек с помощью пустых панелей».

Необходимость распределять оборудование с высокой плотностью мощности по нескольким стойкам часто обусловлена рядом других факторов, помимо охлаждения. Подвод требуемого числа каналов питания или данных к стойке может быть невозможным или непрактичным, а в случае серверов 1U пучок проводов сзади корпуса может в значительной мере блокировать воздушный поток или даже препятствовать закрытию задних створок.

Метод 5: Предоставление комнаты с системами питания и охлаждения, способными обеспечить средние значения параметров (ниже максимальной потребляемой корпусом мощности); выделение внутри комнаты специальной ограниченной зоны с большими возможностями охлаждения и ограничение места расположения корпусов с высокой плотностью мощности пределами этой зоны.

В данном подходе требуется предварительное знание доли корпусов с высокой плотностью мощности и возможность выноса таких корпусов в специальную зону. При этих ограничениях может достигаться оптимальное использование пространства. К сожалению, предварительное знание доли корпусов с высокой плотностью мощности, как правило, недоступно.

Выводы

Преимущества и недостатки каждого из пяти подходов по обеспечению охлаждения корпусов с высокой плотностью мощности представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Применение пяти методов охлаждения корпусов с высокой плотностью мощности

Подход	Преимущества	Недостатки	Приложение
1) Обеспечение охлаждением всех корпусов с высокой плотностью мощности	Подходит для всех будущих сценариев использования оборудования	Чрезмерные капитальные и эксплуатационные расходы, которые могут в 4 раза превышать расходы при применении других методов Сложность проектирования Трудность обеспечения избыточности Большая по размерам инфраструктура занимает много места	Исключительные случаи больших групп оборудования с высокой плотностью мощности, размещаемые в ограниченном пространстве
2) Обеспечение среднего уровня охлаждения с предоставлением дополнительного охлаждающего оборудования	Оборудование с высокой плотностью мощности используется там, где необходимо и когда необходимо Отложенные капитальные расходы Высокая эффективность Оптимальное использование площади помещения	Допустимая мощность ограничивается 7 кВт на корпус Стойки и комната должны проектироваться заранее с учетом этого подхода	Новые здания
3) Обеспечение среднего уровня охлаждения с использованием правил, позволяющих заимствовать неиспользуемые мощности	Отсутствует необходимость в планировании По существу, во многих случаях не требуются дополнительные затраты	Значение плотности мощности ограничивается удвоенным значением средней плотности мощности Используется дополнительная площадь Требуется жесткое соблюдение правил	Когда оборудование с высокой плотностью мощности составляет малую долю общей нагрузки
4) Распределение оборудования между несколькими корпусами для снижения максимальной нагрузки	Подходит для всех случаев; не требует планирования По существу, во многих случаях не требуются дополнительные затраты	Используется дополнительная площадь Действует только когда оборудование можно распределить по нескольким стойкам	Когда оборудование с высокой плотностью мощности представляет малую долю общей нагрузки и отсутствуют жесткие ограничения на занимаемую площадь

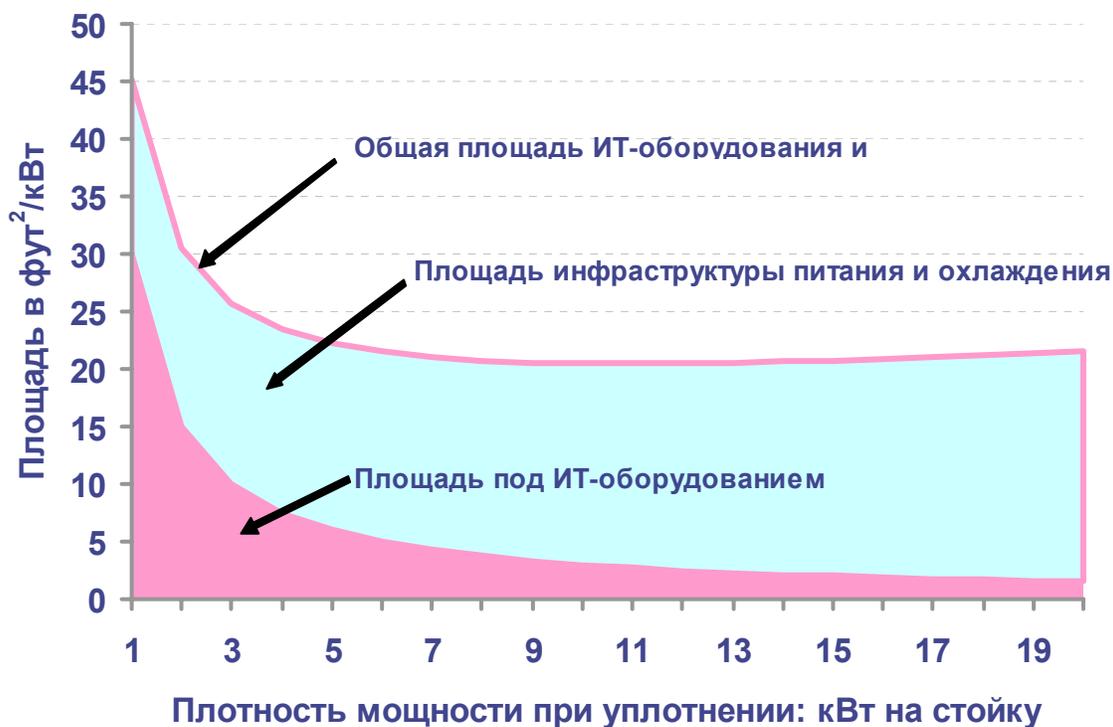
Подход	Преимущества	Недостатки	Приложение
5) Специальная зона, выделенная под оборудование с высокой плотностью мощности	Оптимальное использование площади помещения	Требуетя заранее знать размер площади, занимаемой оборудованием с высокой плотностью мощности Необходимо отделять оборудование с высокой плотностью мощности	Когда доля стоек с высокой плотностью мощности постоянна и известна заранее

Цена уплотнения

В предыдущих разделах был указан ряд препятствий по стоимости, сложности и надежности, которые присущи корпусам с высокой плотностью мощности. Эти проблемы должны быть решены, чтобы развертывание оборудования с высокой плотностью мощности в информационных центрах стало возможным. Несмотря на это в отраслевых публикация доминируют предсказания, что уплотнение информационных центров неизбежно и находится в процессе реализации благодаря снижению себестоимости и экономии площади, обеспечиваемых уплотнением. Как показывают данные, повышение уплотнения за счет увеличения плотности мощности без фундаментального снижения потребляемой мощности не является экономически эффективным.

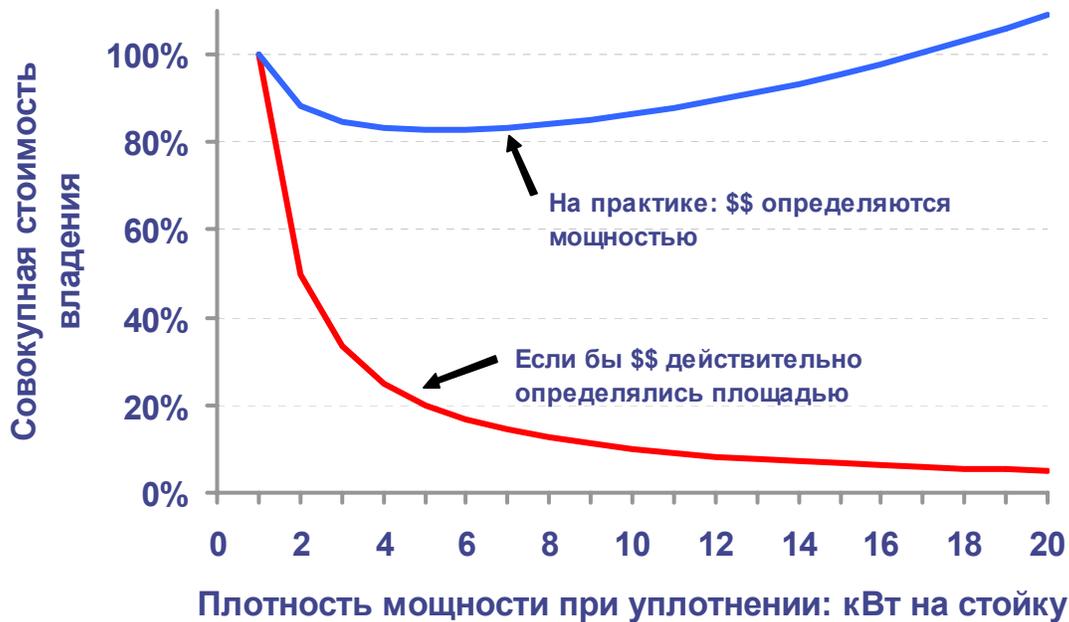
На рисунке 5 показаны значения площади информационных центров на кВт мощности в зависимости от плотности мощности вычислительного оборудования. При повышении плотности мощности вычислительного оборудования доля площади здания, занятая этим оборудованием уменьшается, как показывает нижняя кривая. Однако, соответствующего снижения в площади здания, занимаемой инфраструктурой питания и охлаждения, не наблюдается. Для значений плотности мощности, превышающих приблизительно 2,5 кВт на стойку, площадь, занимаемая оборудованием питания и охлаждения, в действительности превышает площадь под вычислительным оборудованием. В результате уплотнение сверх 4—5 кВт на стойку не приводит к какому-либо снижению общей занимаемой площади.

Рисунок 5 — Значения площади информационного центра, приходящейся на кВт мощности в зависимости от плотности мощности стойки



Существует неформулированное и широко распространенное мнение, согласно которому полагают, что расходы информационных центров определяются в основном занимаемой площадью, поэтому при снижении площади за счет уплотнения будут снижаться и расходы. На рисунке 6 показана зависимость совокупной стоимости владения в течение срока существования информационного центра от плотности мощности вычислительного оборудования. Многие считают, что при увеличении плотности мощности вычислительного оборудования совокупная стоимость владения (ССВ) будет пропорционально уменьшаться в соответствии с нижней кривой, показанной на рисунке. Однако, в действительности 75% расходов, входящих в ССВ, определяются мощностью и только 25% затрат определяются площадью. Более того, расходы на киловатт увеличиваются с увеличением плотности мощности из-за факторов, рассмотренных выше. В результате, расходы ССВ не снижаются значительно с увеличением плотности мощности, а в действительности растут после превышения оптимального значения плотности мощности, которое составляет порядка 4 кВт на корпус.

Рисунок 6 — Изменения совокупной стоимости владения в течение срока существования информационного центра в зависимости от плотности мощности отдельной стойки



Преимущества, достигаемые за счет увеличения плотности мощности вычислительного оборудования, не столь велики. Однако, существуют значительные преимущества от уменьшения потребляемой мощности вычислительного оборудования, поскольку, как показано в предыдущих разделах, потребляемая мощность оказывает значительное влияние и на площадь информационного центра, и на ССВ. Данные таблицы 3 показывают как дальнейшее уменьшение потребляемой мощности вычислительного оборудования и размер влияют на площадь информационного центра и ССВ. По сравнению с базовым вариантом снижение потребляемой мощности обеспечивает более значительные преимущества, чем пропорциональное уменьшение размеров.

Таблица 3 — Снижение площади информационного центра и совокупной стоимости владения в результате уменьшения размера вычислительного оборудования и потребляемой мощности

Улучшение ИТ-оборудования	Экономия площади	Экономия ССВ	Анализ
50% снижение размеров, прежняя потребляемая мощность	14%	4%	Ожидаемое снижение площади не достигается, так как преобладает площадь систем питания и охлаждения Ожидаемая экономия ССВ не достигается, так как ССВ в основном определяется расходами, связанными с потребляемой мощностью

Улучшение ИТ-оборудования	Экономия площади	Экономия ССВ	Анализ
50% снижение потребляемой мощности, прежние размеры	26%	35%	<p>Большая экономия площади достигается за счет уменьшения площади под системы питания и охлаждения</p> <p>Большая экономия ССВ, поскольку ССВ главным образом определяется расходами, связанными с мощностью</p>

Стратегия оптимального охлаждения

На основании данных, представленных в этом документе, можно определить согласованную стратегию, которая будет оптимальной для большинства вариантов размещения оборудования. В этой стратегии используется комбинация подходов, рассмотренных выше в данном документе.

Таблица 4 — Практическая стратегия по оптимизации охлаждения при развертывании вычислительного оборудования с высокой плотностью мощности

Элемент стратегии	Назначение
1) Игнорирование физических размеров вычислительного оборудования и концентрация усилий на функциональных возможностях, приходящихся на ватт потребляемой энергии	Это эффективный способ минимизации занимаемой площади и ССВ
2) Разработка системы, позволяющей устанавливать затем дополнительные охлаждающие устройства	Обеспечивается установка в последующем дополнительного охлаждающего оборудования там, где необходимо и когда необходимо в действующем информационном центре в условиях неопределенных будущих требований.
3) Выбор базовой плотности мощности для новых конструкций между 40 и 100 Вт/фут ² [0,4—1,1 кВт/м ²]; для большинства новых конструкций в качестве практического значения подойдет 60 Вт/фут ² [0,6 кВт/м ²] (в среднем 1800 Вт/корпус).	Базовая плотность мощности должна выбираться так, чтобы исключить ненужные расходы из-за чрезмерных размеров, и не должна выходить за границу в 100 Вт/фут ² (1,1 кВт/м ²), чтобы производительность и достаточная избыточность были предсказуемыми
4) Когда доля нагрузок с высокой плотностью мощности велика и предсказуема, создайте и оснастите специальные зоны для оборудования с высокой плотностью мощности 100—200 Вт/фут ² [1,1—2,2 кВт/м ²] (3—6 кВт/корпус) в пределах информационного центра	Когда заранее известна необходимость в зоне для оборудования с высокой плотностью мощности и распределение нагрузки невозможно. Это может потребовать значительных дополнительных расходов и затрат времени, а также усложнения конструкции информационного центра

Элемент стратегии	Назначение
5) Введение политик и правил, которые определяют допустимую мощность для любого корпуса на основе расположения корпуса и соседних нагрузок.	Когда понимание возможностей конструкции сочетается с контролем мощности, введение правил для устанавливаемого нового оборудования помогает уменьшить количество мест перегрева, обеспечить избыточность охлаждения, повысить эффективность системы охлаждения и снизить потребление энергии. Более изощренные правила и контроль помогают достигать более высоких плотностей мощности.
6) Использование дополнительных охлаждающих устройств, когда возникает необходимость	Установка дополнительных охлаждающих устройств там, где необходимо и когда необходимо помогает увеличить мощности охлаждения области информационного центра раза в 3 относительно базового значения для размещения оборудования с высокой плотностью мощности.
7) Дробление оборудования, которое невозможно установить целиком с соблюдением существующих правил	Вариант с минимальными расходами и минимальным риском, но может потребовать значительной площади, когда доля нагрузок с высокой плотностью мощности не очень мала. Многие пользователи, не стесненные в площади, выбирают этот подход в качестве основной стратегии.

Выводы

Максимальные значения плотности мощности в расчете на стойку, определяемые вычислительным оборудованием последнего поколения, приблизительно в десять раз выше, чем среднее значение плотности мощности в расчете на стойку в существующих информационных центрах. В действующих информационных центрах лишь незначительное число корпусов стоек работают на уровне половины данной максимальной плотности мощности.

Существующие методы и планировка информационных центров практически не могут обеспечить охлаждение, необходимое для оборудования с такой высокой плотностью мощности из-за ограничений систем подачи и отвода воздуха и проблемы обеспечения достаточной избыточности и непрерывности охлаждения во время включения генератора.

Когда ставится задача уменьшить площадь информационного центра и снизить совокупную стоимость владения пользователям следует при покупке ИТ-оборудования (ИТ — информационные технологии) обращать основное внимание на функциональные возможности в расчете на ватт, а физические размеры ИТ-оборудования учитывать в последнюю очередь. Это неожиданное заключение основано на том, что по сравнению с размером ИТ-оборудования мощность, когда она превышает 60 Вт/фут^2 ($0,6 \text{ кВт/м}^2$), оказывает большее влияние как на ССВ, так и на площадь.

Существуют различные решения, которые позволяют эффективно размещать вычислительное оборудование с высокой плотностью мощности в обычных условиях информационных центров. Тогда как разработка информационных центров полностью ориентированных на оборудование с высокой плотностью мощности

остаётся нецелесообразной, информационные центры могут поддерживать ограниченное размещение оборудования с высокой плотностью мощности за счет использования дополнительных охлаждающих систем, введения правил, обеспечивающих заимствование соседних неиспользуемых мощностей охлаждения и, наконец за счет дробления нагрузки между несколькими корпусами.

Когда планируется размещение большого процента корпусов с высокой плотностью мощности и оборудование невозможно раздробить, единственная возможность заключается в разработке конструкции, обеспечивающей необходимые мощности охлаждения для всех корпусов. Однако, вертикальная высота и используемая площадь в таком информационном центре будут значительно увеличены по сравнению со стандартными конструкциями с тем, чтобы обеспечить необходимые воздушные потоки.

Несмотря на вездущее обсуждение в отраслевых журналах конструкций информационных центров для оборудования с плотностью мощности 300—600 ватт на квадратный фут, достижение таких плотностей мощности остаётся нецелесообразным из-за чрезмерных расходов и трудностей в достижении высокого коэффициента готовности оборудования при таких плотностях мощности. Существующие конструкции высокопроизводительных информационных центров с высоким коэффициентом готовности оборудования обеспечивают предсказуемость и целесообразность работы при плотности мощности в диапазоне от 40 до 100 Вт/фут² [0,4—1,1 кВт/м²] (в среднем от 1,2 до 3 кВт на стойку), с возможностью размещения отдельных нагрузок, плотность мощности которых может в 3 раза превышать расчетное значение за счет наличия разнородных нагрузок и использования дополнительных охлаждающих устройств.

Об авторе:

Нейл Расмуссен (Neil Rasmussen) — основатель и главный технический директор компании American Power Conversion. В компании APC с основными центрами разработки в Массачусетсе, Миссури, Дании, Род-Айленде, Тайване и Ирландии Нейл руководит крупнейшим в мире бюджетом научно-исследовательских работ в области питания, охлаждения и инфраструктуры стоек для критических сетей. В настоящее время Нейл руководит в компании APC разработками модульных масштабируемых решений для информационных центров.

До основания компании APC в 1981 г. Нейл получил степени бакалавра и магистра в Массачусетском технологическом институте в области электротехники, где защитил диссертацию по анализу источника питания на 200 МВт для ядерного реактора Токамак (Токамак). С 1979 по 1981 г. он работал в лабораториях Линкольна Массачусетского технологического института над созданием маховиковых накопителей энергии и солнечных систем электропитания.