

Распределение расходов на энергию и углеродных выбросов по ИТ-пользователям

Информационная статья 161

Редакция 1

Автор Neil Rasmussen

> Резюме

Насколько необходимы сложное ПО и контрольно-измерительная аппаратура для учета потребления энергии и углеродных выбросов и их распределения между ИТ-пользователями? Нет ли каких-нибудь простых и недорогих способов? Насколько высокая точность необходима?

Настоящая статья содержит обзор стратегий распределения затрат на энергию и углеродных выбросов различной точности. Будет показано, что независимо от масштабов центра обработки данных и времени его постройки проведение первоочередных мер по распределению затрат и углеродных выбросов не требует больших затрат сил и средств, однако расходы и уровень сложности начинают расти, а рентабельность инвестиций – падать с выходом на излишнюю точность.

Содержание

Пункты содержания служат ссылками на соответствующие разделы.

Введение	2
Цели	2
Измерение и моделирование	5
Необходимое число точек измерения	7
Распределение объемов потребления энергии по ИТ-пользователям	12
Пересчет энергии в углеродные выбросы	15
Рекомендации ИТ-пользователям	16
Заключение	17
Дополнительные материалы	18
Приложение	19

Введение

Сегодняшний типичный центр обработки данных расходует намного больше необходимого количества энергии. Известен ряд экономически обоснованных путей сокращения энергопотребления существующих ЦОДов в краткосрочной перспективе, а также мер, применяемых при проектировании новых. Это делает ЦОДы объектом повышенного внимания как государственных регулирующих органов, так и хозяйственных руководителей, заинтересованных в сокращении потребления энергии и минимизации негативных социальных и экономических эффектов.

Исторически основными ориентирами в проектировании и эксплуатации центров обработки данных были надежность и емкость. В результате сложилась печальная ситуация, когда ЦОДы не оптимизированы по эффективности. Кроме того, проектировщики оборудования, системные интеграторы, разработчики управляющего ПО, монтажники, различные подрядчики, ИТ-специалисты и операторы – все принимают те или иные решения, оказывающие влияние на характеристики потребления энергии, без согласования своих действий. Таким образом определить единую точку приложения усилий по оптимизации оказывается невозможно.

Недавние исследования показывают, что стоимость энергии составляет существенную часть расходов на ИТ – в некоторых случаях даже больше стоимости самого ИТ-оборудования. Это ценовое давление в сочетании с осознанием того обстоятельства, что ЦОДы могут использовать энергию значительно более эффективно, подвигло многих эксплуатантов на вывод управления энергией в приоритеты.

Насколько прост или сложен может быть процесс управления энергопотреблением и сколько точек измерения потребуется, чтобы собрать всю информацию, необходимую для результативного управления потреблением энергии инфраструктурным оборудованием, а также распределения затрат на энергию и углеродных выбросов между ИТ-пользователями? Как будет показано ниже, в действительности для этого требуется исключительно простой процесс и очень небольшое число измерений, легко реализуемых незамедлительно и с достаточной для осуществления эффективной программы управления энергопотреблением точностью.

Цели

Обычно различают три отдельных цели в области оценки эффективности использования энергии и сокращения углеродных выбросов в ЦОДах.

- Однократное либо периодическое оценивание характеристик.
- Детализированное распределение энергозатрат и углеродных выбросов по потребителям.
- Использование собираемой информации для сокращения потребления энергии инфраструктурным оборудованием либо углеродных выбросов.

В каждом конкретном случае важно понимать, какая (или какие) из этих целей преследуются, поскольку конкретная техническая реализация существенно зависит от правильной постановки вопроса.

Цель 1. Однократное либо периодическое оценивание характеристик

Однократное либо периодическое оценивание характеристик эффективности использования энергии и углеродных выбросов может быть полезно для определения потребности в постоянной программе управления энергопотреблением (либо в рассмотрении перспектив создания такой программы). Основная идея здесь состоит в том, что если результаты оценивания сравнимы с показателями других аналогичных ЦОДов либо их превышают, то, возможно, никакой проблемы не существует и делать ничего не нужно. Напротив, отставание от сравнимых ЦОДов говорит о возможности получить хорошую отдачу от постоянной программы управления энергопотреблением.

Необходимо отметить, что само по себе достижение этой цели не дает информации, которая могла бы быть использована для сокращения потребления энергии или углеродных выбросов. К сожалению, многие из начинающих с нее эксплуатантов центров обработки данных остаются разочарованы результатами. Напрямую с сокращением выбросов связаны только две оставшиеся цели.

Цель 2. Детализированное распределение энергозатрат и углеродных выбросов по потребителям

Некоторые ЦОДы работают как поставщики услуг, предоставляя инженерную и ИТ-инфраструктуру в пользование с оплатой по объему вычислений или по числу серверов. В таком случае может возникать потребность в точном распределении энергопотребления и углеродных выбросов по клиентам ЦОДа (на уровне внутреннего требования компании, контрактного обязательства или нормативного требования) – в том числе с выставлением отдельных счетов. Цель состоит в создании финансовых и иных стимулов поведения, направленного на снижение энергопотребления или углеродных выбросов: отключения неиспользуемых серверов, активации функций управления энергопотреблением, избавления от ненужных объемов хранения, виртуализации серверов. Возможности сбережения энергии и сокращения углеродных выбросов в типичном центре обработки данных за счет соответствующего управления ИТ-оборудованием огромны: от 10 до 80% в зависимости от уровня зрелости и виртуализации ЦОДа. Поскольку многие из возможных усовершенствований не требуют никаких затрат либо вводятся с минимальными усилиями при текущих обновлениях средств ИТ, распределение энергозатрат и углеродных выбросов может служить действенным инструментом экономичной и результативной программы управления энергопотреблением.



Рисунок 1

Разноуровневые
эффекты
распределения затрат
на энергию

Цель 3. Использование собираемой информации для сокращения потребления энергии инфраструктурным оборудованием либо углеродных выбросов

Главный потребитель энергии и источник углеродных выбросов в любом центре обработки данных – инженерная инфраструктура (системы электропитания, кондиционирования, освещения, управления и т. д.). Для оценки эффективности этого компонента используется показатель «эффективность использования энергии» (Power usage effectiveness, PUE) либо обратная величина, называемая эффективностью инфраструктуры центра обработки данных (Data center infrastructure efficiency, DCiE). Во многих ЦОДах инженерная инфраструктура потребляет больше энергии, чем ИТ-оборудование ($PUE > 2$). Поэтому сокращение ее энергопотребления оказывается не менее важно, чем снижение ИТ-нагрузки.

Цель состоит в сборе данных, необходимых для выявления и количественной оценки возможностей корректировки состава оборудования, его конфигурации или настроек, со снижением энергопотребления и без ущерба для ИТ-нагрузки. Возможный объем экономии энергии и снижения углеродных выбросов за счет управления эффективностью использования энергии инженерной инфраструктурой типичного центра обработки данных весьма значителен: от 10 до 40% в зависимости от конкретных условий, настроек, конфигурации оборудования и уровня загрузки ЦОДа.

Две цели, описанные в предыдущих разделах: детализированное распределение энергозатрат и углеродных выбросов по потребителям и управление энергопотреблением инженерной инфраструктуры, – обе предлагают существенные возможности в области сокращения энергопотребления и углеродных выбросов в типичном ЦОДе. Поэтому в первую очередь необходимо направлять усилия на одну из них (или обе).

Выбор цели

Из предыдущего обсуждения трех целей в области измерения эффективности использования энергии и углеродных выбросов в центрах обработки данных можно вывести следующие важные наблюдения.

- В типичном ЦОДе существуют обширные возможности сокращения энергопотребления и углеродных выбросов: около 20–90%, при условии скоординированного управления инженерной инфраструктурой и контроля поведения ИТ-потребителей.
- Оценки сами по себе не приносят никакой пользы. Невозможно использовать их как центральную часть какого-либо плана сокращения энергопотребления и углеродных выбросов. Главное для чего они нужны – определение объема ресурсов, который было бы целесообразно выделить на управление энергопотреблением.
- Распределение энергозатрат и углеродных выбросов по ИТ-потребителям стимулирует принятие при развертывании ИТ-систем рациональных с точки зрения сбережения энергии решений.
- Обе последних цели: (а) распределение энергозатрат по ИТ-потребителям и (б) управление энергопотреблением инженерной инфраструктуры, – открывают существенные перспективы экономии, а их сочетание дает значительный синергетический эффект.

Если задача состоит в общем сокращении энергопотребления и углеродных выбросов, наилучшей стратегией будет сочетание двух названных целей с меньшим акцентом на измерения и оценку. Насколько увеличится уровень сложности и масштаб усилий в случае преследования сразу всех трех названных целей? Будет ли приемлемым уровень рентабельности инвестиций в такое предприятие? При правильной постановке задачи достижение всех этих целей – замечательно простое и недорогое дело. Более того, эксплуатант ЦОДа сможет начать получать результаты немедленно. Остальная часть настоящей статьи посвящена более подробному рассмотрению этого утверждения.

Измерения и моделирование

Основная дискуссия о составе информации, необходимой для управления потреблением энергии, идет вокруг измерений, или учета потребления энергии. Однако необходима еще интерпретация результатов. Для внедрения каких-либо усовершенствований или принятия мер необходимо понимать, каким образом те или иные изменения могут сказаться на энергопотреблении.

Для количественной оценки возможностей совершенствования недостаточно только самих результатов измерений: необходима модель функционирования ЦОДа. Например, по мощности потребления электронасоса чиллерной воды невозможно судить, находятся ли параметры его работы в пределах нормы (прежде всего, верно ли выбрана номинальная производительность); нет ли возможности как-либо настроить клапаны или программное управление, чтобы снизить энергопотребление; возможна ли замена на модель с меньшим потреблением энергии, способную выполнять те же функции. Для оценки возможностей повышения эффективности использования энергии необходима явная (например, в форме специального ПО) или неявная (в форме знаний специалистов) модель.

Даже распределение энергозатрат по ИТ-потребителям требует модели. Хотя потребление самих серверов можно измерять и напрямую распределять по ИТ-пользователям, большая часть мощности потребления ЦОДа приходится на другое оборудование, и для ее распределения необходима модель.

На **рис. 2** представлен типичный процесс управления энергопотреблением центра обработки данных.

Рисунок 2

Схема информационных потоков процесса управления энергопотреблением центра обработки данных, отображающая интеграцию модели и функций анализа в существующие процессы планирования развертывания средств ИТ и инфраструктуры, что ведет к изменениям, обеспечивающим сокращение энергопотребления



Процесс управления энергопотреблением, представленный на **рис. 2**, открывает два основных пути усовершенствования. Вверху диаграммы показаны стрелкой изменения в ИТ-системе, осуществляемые на основании данных об энергопотреблении и углеродных выбросах, рассчитанных по модели ЦОДа. Аналогично внизу диаграммы показаны изменения в инженерной инфраструктуре. В обоих случаях используются результаты измерений, а их интерпретацию и формирование рекомендаций обеспечивает модель.

Обратите внимание: представленная на диаграмме модель ориентирована на все три цели в области управления потреблением энергии, описанные в предыдущем разделе: она предусматривает сбор данных для оценок, распределение энергозатрат и углеродных выбросов по ИТ-потребителям, а также выдачу рекомендаций по усовершенствованию инженерной инфраструктуры. Без модели и процесса ценность измерений невелика. Напротив, даже самые простые модели позволяют делать ценные выводы, и даже на основании неполных данных измерений.

Ссылка на литературу
Информационная
статья 154
Измерение эффективности
электропитания центра
обработки данных

Подводя итог можно сказать, что основной смысл измерения энергопотребления – сбор данных для создания модели ЦОДа. Именно такая модель, а не измерения, дает информацию, на основании которой можно принимать конкретные меры по повышению эффективности использования энергии в ЦОДе. Более подробно этот вопрос обсуждается в информационной статье APC №154 *Измерение эффективности электропитания центра обработки данных*.

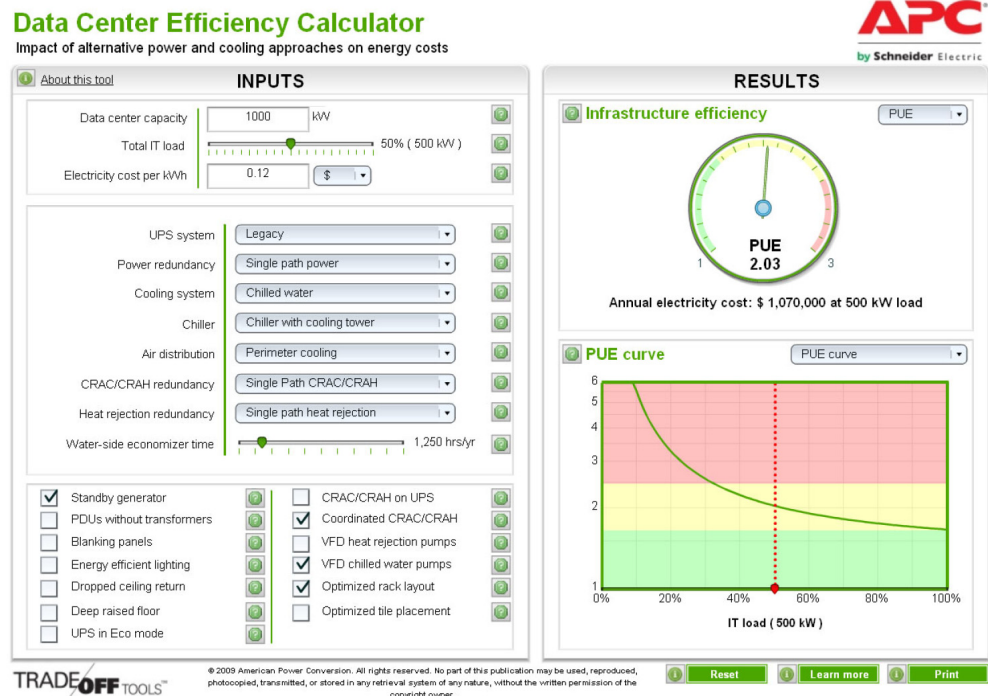
Моделирование на основе измерений

Совершенная модель центра обработки данных сделала бы любые измерения ненужными. Она заключала бы в себе всю информацию о характеристиках, количестве и рабочем состоянии ИТ-нагрузок, а также о характеристиках и рабочем состоянии инфраструктурного оборудования и учитывала бы историю воздействия различных погодных условий. С ее помощью можно было бы просто рассчитать все что нужно. Однако построить такую модель невозможно – из-за сложностей получения точных сведений о конфигурации и рабочем состоянии ИТ-устройств, интерфейсах и рабочем состоянии инфраструктурного оборудования, а также неисправностей, засорения фильтров, «войн» кондиционеров и иных непредвиденных условий.

Создание совершенной модели ЦОДа могло бы потребовать огромного объема заказного программирования и обработки данных, и в то же время удивительно хорошую модель можно получить с использованием довольно приблизительного списка инфраструктурного оборудования и ИТ-устройств, информации об их конфигурации (резервирование по схеме N+1 или 2N и т. п.), а также основных сведений об электрических характеристиках. Пример программной реализации такой упрощенной модели инженерной инфраструктуры типового центра обработки данных представлен на **рис. 3**.

Рисунок 3

Пример инструмента моделирования инфраструктуры ЦОДа для типичных конфигураций (бесплатный интернет-калькулятор)



Очевидно, что для управления потреблением энергии в центре обработки данных необходима некоторая модель. Может ли она исключить потребность в измерениях либо упростить задачу проведения измерений? Насколько простой может быть такая модель и какое количество измерений потребуется для получения всей информации, необходимой для успешного управления энергопотреблением инфраструктурного оборудования и распределения энергозатрат и углеродных выбросов по ИТ-потребителям? Правильный ответ состоит в том, что для получения приемлемой (с точки зрения программы управления потреблением энергии) точности вполне достаточно самой простой модели и очень небольшого объема измерений.

Необходимое число точек измерения

Основа проведения любых измерений – четкое понимание, для чего они нужны. Неверный выбор времени или уровня точности, отсутствие сведений об условиях проведения измерения, может сделать его результат неадекватным или вообще бесполезным. С другой стороны, излишний объем измерений с завышенным уровнем точности может потребовать чрезмерных затрат сил и средств, не давая существенных преимуществ. В процессе разработки эксплуатантами ЦОДов собственных систем управления потреблением энергии все эти проблемы начинают проявляться. Система проведения измерений должна использовать самый простой и дешевый протокол, обеспечивающий достижение поставленных целей.

Насколько сложной или простой может быть система, адекватно обеспечивающая сбор информации об использовании энергии в центре обработки данных? Рассмотрим два крайних случая: системы, обеспечивающие одна – сбор исчерпывающих сведений, а другая – самую грубую оценку.



Рисунок 4

Сравнение подходов к измерению энергопотребления

Крайний случай №1: система сбора исчерпывающих сведений

Важнейшие характеристики системы управления – точность и периодичность измерений – сильно влияют на уровень сложности и цену. В **табл. 1** приведены данные по системе измерения и регистрации объемов потребления энергии каждым устройством в ЦОДе в режиме реального времени с точностью 2%.

С ее помощью можно точно определить энергопотребление каждого ИТ-устройства и проинформировать пользователей либо выставить им счета. Более того, можно определить энергопотребление каждого инфраструктурного устройства, сравнить с ожидаемой величиной и определить перспективные направления усовершенствований. Однако такая система требует сложного ПО, больших затрат на конфигурирование и обработку данных. Ее доля в стоимости инфраструктуры ЦОДа весьма существенна и примерно равна полугодовым затратам на энергоснабжение. Учитывая ожидаемый уровень рентабельности инвестиций, в создании такой системы нет смысла, если только не удешевить ее раз в 10. Но даже и в этом случае установка требует значительных капитальных вложений, сложного и рискованного – особенно если речь идет о развертывании в действующем центре обработки данных – процесса монтажа.

Таким образом, система сбора исчерпывающих данных может быть создана, но практического смысла в этом нет.

Таблица 1

Затраты на высокоточную систему мониторинга энергопотребления ЦОДа номинальной мощностью 1 МВт

Охваченные измерениями цепи	Кол-во	Цена единицы (с установкой)	Частный итог
Измерение мощности потребления центра обработки данных ¹	1	\$9000	\$9000
Измерение мощности потребления цепей инфраструктурных подсистем	80	\$1500	\$120 000
Измерение мощности потребления цепей ИТ-систем	1000	\$100	\$100 000
Измерение мощности потребления ИТ-систем, подключенных к электророзеткам	4000	\$40	\$160 000
Обслуживание (10 лет)		\$100 000	\$100 000
ПО (лицензия на 10 лет)		\$50 000	\$50 000
Конфигурирование, сдача в эксплуатацию, обслуживание ПО		\$60 000	\$60 000
Итого			\$600 000

Крайний случай №2: практически бесплатная система сбора данных

Рассмотрим другой крайний случай: вообще без специальных измерений. Такая система практически бесплатна. Все исходные данные – количество серверов в ЦОДе. Не используется даже месячный счет за электроэнергию, поскольку во многих случаях потребление ЦОДа не учитывается отдельно.

В дополнение к количеству серверов можно грубо оценить потребление на сервер (собственное плюс доля в потреблении сетевого оборудования, средств хранения, аппаратуры электропитания и кондиционирования, систем освещения и вспомогательных устройств). В случае типичной для ЦОДов с обычными серверами конфигурации инженерной инфраструктуры и типичного комплекта средств хранения и сетевого оборудования вместо результатов измерений можно использовать усредненные статистические данные (полученные от консультанта или из специальной программы, такой как бесплатный калькулятор, представленный на **рис. 3**). Характеристики точности полученной грубой модели ЦОДа приведены в **табл. 2**.

Распределение энергозатрат и углеродных выбросов по потребителям по числу серверов дает погрешность около +/- 36% – далеко от идеала, но позволяет делать вполне обоснованные выводы о необходимости корректировки поведения ИТ-пользователей; дополнительный положительный эффект от повышения точности распределения был бы не слишком велик. В то же время, эта система не позволяет сформировать необходимые рекомендации в отношении совершенствования инфраструктуры электропитания или кондиционирования, поскольку потребление оценивается среднеотраслевыми значениями. Тем не менее, для бесплатной системы, не требующей никаких измерений, достигаемые преимущества весьма значительны, так что она может быть очень привлекательна для любого эксплуатанта центра обработки данных, заинтересованного в скорейшем внедрении средств управления энергопотреблением и не располагающего значительным временем и ресурсами. Практические рекомендации по начальному этапу внедрения этого подхода приведены в Приложении.

¹ Как правило, не измеряется непосредственно, а рассчитывается по показаниям нескольких приборов учета.

Таблица 2

Точность недорогой системы мониторинга энергопотребления ЦОДа номинальной мощностью 1 МВт

Энергопотребление	Доля в общем потреблении	Погрешность оценки	Взвешенная погрешность ²
Серверы	36%	+/- 50%	+/- 18%
Средства хранения	10%	+/- 70%	+/- 7%
Сетевая аппаратура	4%	+/- 50%	+/- 2%
Инфраструктура электропитания	8%	+/- 50%	+/- 4%
Системы кондиционирования	38%	+/- 80%	+/- 30%
Системы освещения	2%	+/- 60%	+/- 1%
Вспомогательное оборудование	2%	+/- 80%	+/- 2%
Погрешность оценки общего энергопотребления			+/- 36%

«Достаточно хорошая» система сбора данных об энергопотреблении

Естественно возникает вопрос о некотором среднем пути, который обеспечивал бы «достаточно хорошую» для управления энергопотреблением точность и в то же время отличался малыми затратами и высокой рентабельностью инвестиций. Выбрать такой путь поможет **табл. 3**, в которой приведены данные о влиянии различных дополнительных функций системы управления энергопотреблением на ее стоимость и точность.

Каждая строка таблицы соответствует определенной функции моделирования или измерений, начиная с бесплатного подсчета числа серверов (как во втором крайнем случае из предыдущего раздела). По мере добавления функций погрешность снижается, а стоимость системы растет.

Погрешность распределения по ИТ-пользователям определяется как погрешность определения объемов потребления энергии или углеродных выбросов, приходящихся на определенный элемент ИТ-оборудования, такой как стандартный сервер. Для конкретного сервера погрешность может быть значительно выше указанного в таблице значения. Некоторые из приведенных функций, такие как учет типа сервера или охват измерениями всех ИТ-устройств, значительно повышают точность определения объемов потребления энергии или углеродных выбросов, приходящихся на конкретный сервер. Этот вопрос будет обсужден более подробно ниже.

² Погрешности оценки энергопотребления различных подсистем независимы, так что погрешность оценки общего энергопотребления рассчитывается как корень квадратный из суммы квадратов.

Таблица 3

Влияние дополнительных функций моделирования и измерения на точность и затраты системы мониторинга энергопотребления ЦОДа номинальной мощностью 1 МВт

Добавленная функция моделирования или измерения	Погрешность PUE	Погрешность распределения по ИТ-пользователям ^{3,4}	Стоимость системы (на МВт)
Учет числа серверов	61%	39%	0
+ Мощность ИБП	55%	33%	0
+ Простейший инвентарный список ⁵	23%	20%	0
+ Детализированный инвентарный список	14%	12%	\$2000
+ Учет типа серверов	14%	12%	\$4000
+ Аудит различных подсистем	8%	7%	\$10 000
+ Измерения по важнейшим подсистемам	6%	4%	\$50 000
+ Измерения по всем подсистемам	3%	2%	\$130 000
+ Измерения по всем ИТ-устройствам	2%	2%	\$600 000

Для лучшего понимания соотношения точности измерений и стоимости в системе управления потреблением энергии мы построили по данным **табл. 3** график, представленный на **рис. 5**.

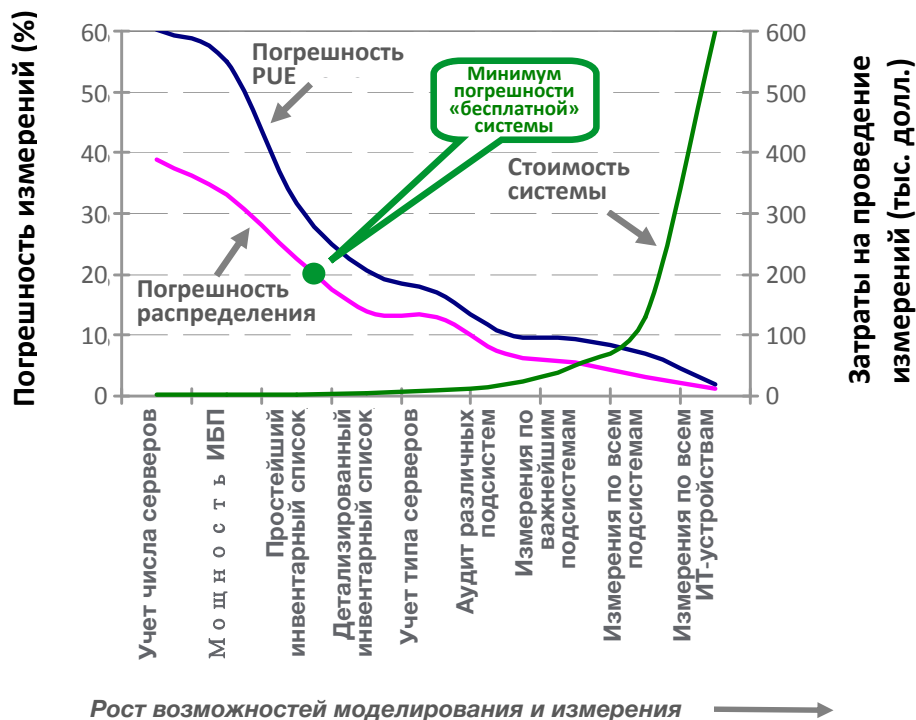
³ Погрешность распределения по ИТ-пользователям может быть меньше погрешности PUE, поскольку с этим параметром связана лишь часть общего энергопотребления и общих выбросов.

⁴ Погрешность распределения по ИТ-пользователям в настоящей таблице относится к «стандартному среднему серверу». Для конкретного сервера она может быть намного больше; а учет типа серверов позволяет значительно ее снизить, о чем говорится ниже в настоящей статье.

⁵ Простейший инвентарный список содержит сведения о мощности и типе основного оборудования электропитания и кондиционирования, а также ИТ-устройств в центре обработки данных. В сочетании с паспортными данными этого оборудования он позволяет значительно уточнить оценки энергопотребления. Составление такого списка может быть выполнено внешним специалистом при проведении экспертной оценки или эксплуатантом ЦОДа самостоятельно. Дополнительные указания по использованию этой функции можно найти в информационных статьях APC из списка Литературы.

Рисунок 5

Дополнительные функции моделирования и измерения снижают погрешность, но увеличивают затраты



Как можно видеть на **рис. 5**, добавление простейших функций моделирования и измерения резко улучшает точность оценки энергопотребления ЦОДа при самых небольших затратах. Однако после уровня примерно в 10% дальнейшее снижение погрешности требует значительного увеличения расходов.

Проведенный анализ позволяет дать следующие рекомендации в отношении стратегии измерения и моделирования в рамках программы управления энергопотреблением ЦОДа.

- «Бесплатная» система, использующая для моделирования число серверов, данные о мощности ИБП и простейший инвентарный список, достаточно хороша для распределения энергозатрат по ИТ-пользователям.
- Добавление со временем дополнительных функций, не требующих больших затрат: детализированный инвентарный список, учет типа серверов, периодический аудит энергопотребления, охват приборами учета наиболее важных подсистем, – повышает качество системы управления энергопотреблением.
- Распространение охвата измерений на все инфраструктурные подсистемы и ИТ-устройства дает лишь незначительное повышение качества системы управления энергопотреблением при низкой рентабельности инвестиций.

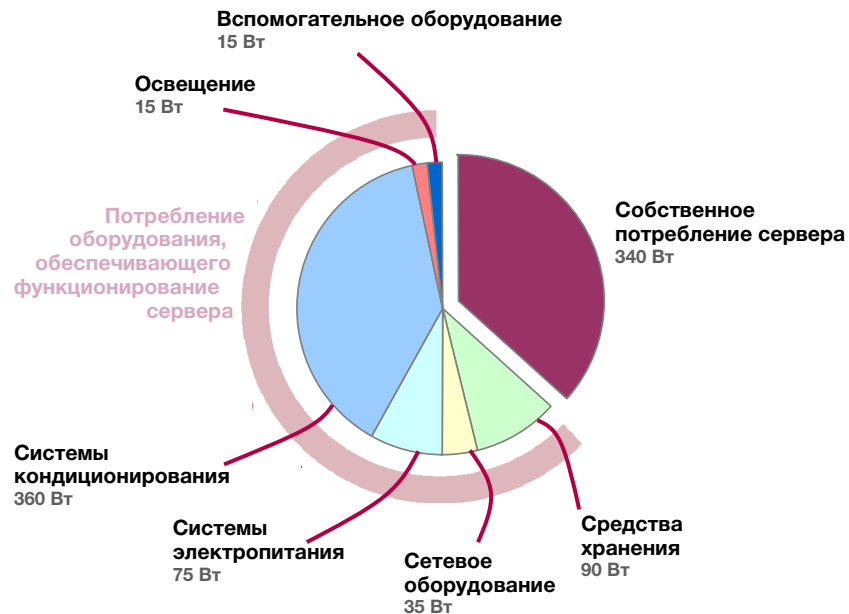
Распределение объемов потребления энергии по ИТ-пользователям

Измерение и распределение ИТ-мощностей может осуществляться по числу тактов процессора, серверов, ядер, терабайт емкости хранения, шкафов с оборудованием, квадратных футов занимаемой площади, виртуальных серверов и т.д. Идеальная модель использования ИТ-ресурсов должна была бы учитывать при распределении затрат, энергопотребления и углеродных выбросов все эти факторы. Мы, однако, начнем с более простой, основанной на учете только числа серверов. Это чрезвычайно популярный подход, демонстрирующий хорошее соответствие другим, более сложным способам учета.

Для расчета энергопотребления и углеродных выбросов, приходящихся на ИТ-пользователя, достаточно умножить эти показатели для одного сервера на число используемых серверов. Таким образом, вполне достаточно определить энергопотребление ЦОДа в целом и разложить его по серверам. Полное энергопотребление сервера помимо собственного включает потребление обслуживающих его сетевых устройств, средств электропитания и кондиционирования, освещения и вспомогательного оборудования. Состав полного энергопотребления сервера в типичном центре обработки данных представлен на **рис. 6**.

Рисунок 6

Разбивка полного энергопотребления сервера в 930 Вт по различным подсистемам центра обработки данных. Собственное потребление сервера составляет всего 340 Вт.



В этом случае собственное потребление типичного сервера составляет 340 Вт, а полное – 930 Вт: значительно больше.

Усредненные данные и показатели конкретного ИТ-устройства

Распределение энергопотребления по ИТ-пользователям на основе «числа усредненных серверов» содержит ряд источников погрешности. В частности, предполагается, что все серверы одинаковы и потребляют ресурсы поровну. Однако фактическое полное потребление энергии конкретного сервера зависит от его типа, от настроек управления энергопотреблением, от использования внешних ИТ-ресурсов.

Для центров обработки данных со сравнительно однородным парком серверов такое приближение обычно бывает оправдано. Однако если используемые серверы значительно различаются по своим характеристикам, концепция «усредненного сервера» может давать неудовлетворительные результаты. Например, у одного пользователя может быть восемь одноплатных серверов, служащих простыми серверами приложений, а у другого – восемь мейнфреймов с несколькими терабайтами внешнего пространства хранения каждый. Очевидно последнему требуется значительно больше электрической мощности, но распределение по принципу числа серверов даст для обоих пользователей один результат. Таким образом, суммарное количество энергии будет точным, но первый пользователь окажется вынужден оплачивать часть затрат второго.

Описанная проблема может быть устранена, например, путем измерения энергопотребления всех ИТ-устройств и распределения затрат в соответствии с полученным результатом. Однако, как мы уже показывали, этот способ неосостоятелен по следующим причинам.

- Значительная часть энергии потребляется инфраструктурой электропитания и кондиционирования, сетевыми устройствами и другими нагрузками, которые невозможно напрямую связать с конкретным ИТ-пользователем.
- Стоимость необходимой контрольно-измерительной аппаратуры, а также стоимость и уровень сложности программной системы оказываются чрезвычайно высокими.

Простым и экономичным решением проблемы может быть распределение серверов по ограниченному числу «стандартных» категорий, каждая со своим профилем энергопотребления. Пример набора таких категорий показан в **табл. 4**.

Категория Серверов	Мощность потребления	К-т использования сетевого оборудования	К-т использования средств хранения
Сервер приложений высотой 1U	250 Вт	0,2	0,1
Виртуальный сервер ⁶	90 Вт	0,4	0,2
Одноплатный веб-сервер	200 Вт	0,3	0,1
Одноплатный сервер ERP	200 Вт	0,1	0,4
Мейнфрейм	4000 Вт	0,1	0,5
Сервер высотой 3U–10U	2000 Вт	0,1	0,1

Таблица 4

Пример набора категорий серверов

Приведенный выше список можно использовать в готовом виде (с подстановкой соответствующих значений мощности) либо предварительно дополнить и уточнить для приведения в лучшее соответствие профилям пользователей конкретного центра обработки данных.

Каждой категории серверов соответствует стандартный уровень потребления, который умножается на определенные коэффициенты для получения приходящегося на сервер потребления сетевого оборудования и средств хранения. Затраты на электропитание, кондиционирование и освещение распределяются пропорционально мощности потребления ИТ-устройств вне зависимости от категории сервера.

Список категорий применяется следующим образом.

- Распределение всех серверов по категориям.
- Распределение серверов различных категорий по ИТ-пользователям.

⁶ При использовании категории виртуальных серверов общее количество серверов превышает число физических. В таком случае виртуализованные физические серверы не распределяются между ИТ-пользователями.

- Суммирование мощности по всем категориям серверов, нормирование по фактическому потреблению ИТ-нагрузки (определяемому с помощью модели либо по результатам измерений).
- Применение к каждой категории серверов данных PUE.

Таким образом общее энергопотребление центра обработки данных распределяется по серверам различных категорий, а затем по ИТ-пользователям. Эта процедура может выполняться с помощью специального ПО, такого как поставляется APC by Schneider Electric, либо электронных таблиц.

Пересчет энергии в углеродные выбросы

После определения энергопотребления ИТ-нагрузок или инфраструктурного оборудования ЦОДа можно приступить к распределению углеродных выбросов по устройствам. Основных источников таких выбросов три.

- Строительство здания ЦОДа; производство используемого ИТ- и инфраструктурного оборудования (так называемые «внедренные выбросы»).
- Локальные выбросы систем отопления, резервных генераторов, теплоэлектростанций.
- Выбросы при производстве потребляемой ЦОДом электроэнергии.

Чаще всего обсуждаются, оцениваются и документируются углеродные выбросы в процессе эксплуатации. «Внедренные выбросы» составляют существенную часть общего объема, однако методы и стандарты их оценки еще только разрабатываются.

В центрах обработки данных отсутствует значительное собственное выделение углекислого либо иных эквивалентных газов. На резервные генераторы обычно приходится менее 0,01% общего объема углеродных выбросов и эту величину можно игнорировать. Благодаря высокой плотности мощности современные центры обработки данных практически никогда не нуждаются в дополнительном отоплении, так что соответствующими выбросами также можно пренебречь. Наконец, лишь очень немногие ЦОДы располагают собственными электростанциями, так что и эта составляющая в большинстве случаев отсутствует.

99% всех эксплуатационных выбросов приходится на производство потребляемой ЦОДом электроэнергии; их рассмотрением мы и ограничимся в настоящей статье.

Углеродный эквивалент электроэнергии

Количество потребленной ЦОДом энергии соответствует определенному объему углеродных выбросов (в зависимости от состава источников, задействованных при производстве электричества). Эту информацию можно получить у поставщика коммунальных услуг. (Примечание. Альтернативный метод – анализ устраненных углеродных выбросов, основанный на использовании данных о последнем задействованном источнике энергии, обычно дает более высокие объемы. Дело в том, что при снижении потребления нагрузка на различные источники энергии уменьшается не в равной мере – в первую очередь сокращаются объемы более дорогих способов генерации, таких как сжигание природного газа.) Если получить необходимые сведения у поставщика электроэнергии не удастся, можно воспользоваться широко публикуемыми региональными данными. Как правило, объем выбросов в расчете на киловатт-час электроэнергии составляет 0,1–1 тонну. Для расчета создаваемой нагрузки на генерирующие мощности необходимо увеличить потребление ЦОДа на величину потерь передачи и распределения (как правило, около 10%). Расчет годового объема углеродных выбросов по величине нагрузки выполняется по следующей формуле:

$$\text{Годовые выбросы } CO_2 \text{ (тонн)} = \text{Нагрузка (кВт)} \cdot \frac{CO_2 \text{ (тонн)} \cdot 8760 \text{ ч}}{\text{кВт}\cdot\text{ч} \cdot \text{год}} \cdot 1$$

(1 - Потери передачи и распределения)

Рекомендации ИТ-пользователям

Пользователю не обязательно вникать во все принципы и методы, описываемые в настоящей статье, чтобы учитывать энергопотребление при планировании и развертывании ИТ-систем. Все что действительно необходимо – это составить простейшую сводку энергопотребления и углеродных выбросов используемых ИТ-ресурсов. Пример такой сводки приведен в **табл. 5**.

Таблица 5
Пример расчета годового энергопотребления и углеродных выбросов на одного ИТ-пользователя.

Категория Серверов	Кол-во	Энергопотребление на один сервер	Углеродные выбросы на один сервер
Сервер приложений высотой 1U	50	6000	2,7
Виртуальный сервер ⁷	30	2650	1,2
Одноплатный веб-сервер	15	5200	2,3
Одноплатный сервер ERP	10	5500	2,5
Мейнфрейм	2	117 000	53,0
Сервер высотой 3U–10U	15	44 000	20,0
Общее энергопотребление и углеродные выбросы (в год)		1 409 000 кВт*ч	634 тонны
Стоимость энергии (в год)		\$169 000	

⁷ При использовании категории виртуальных серверов общее количество серверов превышает число физических. В таком случае виртуализованные физические серверы не распределяются между ИТ-пользователями.

Заключение

В настоящей статье описана рациональная стратегия распределения энергопотребления и углеродных выбросов по ИТ-пользователям.

Простые недорогие модели потребления энергии, основанные на использовании стандартных усредненных единиц ИТ-производительности – таких как «единичный сервер» – обладают невысокой точностью, но могут быть эффективны при использовании в составе системы управления энергопотреблением ЦОДа.

Такую простую систему можно дополнить со временем дополнительными функциями моделирования и измерения, обеспечивающими повышение точности и дополнительные сведения о характере использования энергии. В настоящей статье предложена рациональная последовательность внедрения таких дополнений. Удивительно эффективная и недорогая система может быть реализована на основе очень небольшого числа приборов учета, простого ПО и специальной схемы проведения аудита энергопотребления ЦОДа.

Не стоит думать, что для эффективного управления эффективностью потребления энергии или для распределения энергопотребления и углеродных выбросов по ИТ-пользователям необходима сложная система с разветвленной сетью датчиков. На самом деле подобные системы характеризуются очень низкой рентабельностью инвестиций.

В настоящей статье описан подход начального этапа, который любой эксплуатант ЦОДа, неважно какого масштаба, может внедрить немедленно и без затрат. Каждый ватт излишнего потребления ЦОДа уходит в безвозвратные потери. Грубая, но простая система управления энергопотреблением, развернутая прямо сегодня, значительно эффективнее идеальной, но развернутой позже, поскольку никакая система не может вернуть уже потерянную энергию.



Об авторе

Neil Rasmussen – старший вице-президент APC (подразделения компании Schneider Electric, специализирующегося на ИТ-решениях) по новаторским решениям.

Распоряжается крупнейшим в мире бюджетом исследований в области систем электропитания, кондиционирования и стоечной инфраструктуры ответственных сетей. Владеет 14 патентами в области высокоэффективной инфраструктуры электропитания и кондиционирования для центров обработки данных высокой энергетической плотности. Опубликовал более 50 статей по тематике систем электропитания и кондиционирования, в том числе в переводах более чем на 10 языков. В последнее время пишет, в основном, по тематике повышения эффективности использования энергии. Пользуется международным признанием в качестве докладчика по вопросам высокоэффективных центров обработки данных. В настоящее время занимается научными исследованиями в области решений для построения инфраструктуры высокоэффективных масштабируемых центров обработки данных высокой энергетической плотности, а также является главным архитектором системы APC InfraStruXure®.

До основания APC в 1981 году получил степени бакалавра и магистра по специальности «инженер-электрик», защитив диплом на тему «Анализ системы питания термоядерного реактора токамак мощностью 200 МВт». С 1979 по 1981 год работал в лаборатории им. Линкольна Массачусетского технологического института над созданием маховиковых систем аккумулирования энергии и солнечных



Дополнительные материалы

Значки служат ссылками на дополнительные материалы



Измерение эффективности электропитания центра обработки данных

Информационная статья 154



Рекомендации по расчету эффективности использования энергии (PUE) в реальных центрах обработки данных

Информационная статья 158



Моделирование эффективности электропитания в центрах обработки данных

Информационная статья 113



Развертывание центров обработки данных с высокой энергетической эффективностью

Информационная статья 114



к библиотеке информационных статей APC

whitepapers.apc.com



к инструментарию TradeOff Tools™

tools.apc.com



Контактные данные

Отклики и комментарии к настоящей статье просьба направлять:

Data Center Science Center
DCSC@Schneider-Electric.com

С вопросами по конкретным проектам заказчикам следует обращаться:

Обратитесь к представителю компании [Schneider Electric](http://www.apc.com)
www.apc.com/support/contact/index.cfm

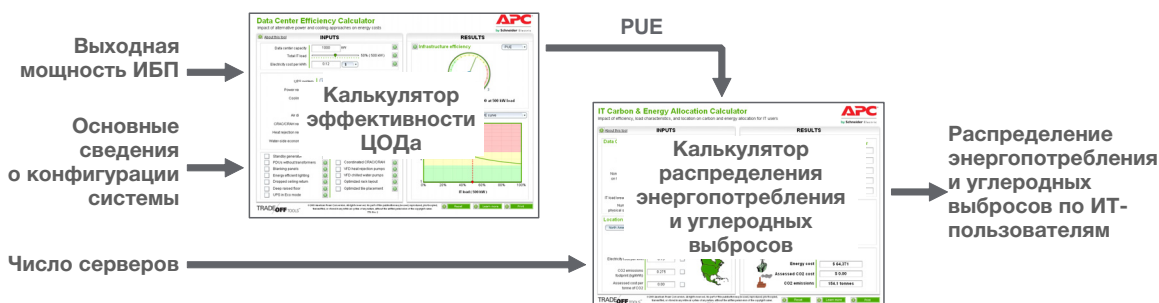
Приложение. Пример расчета распределения энергопотребления и углеродных выбросов в центре обработки данных

В настоящей статье описан простой подход к распределению энергозатрат и углеродных выбросов по ИТ-нагрузкам в центре обработки данных, включая ряд функций моделирования и измерения, обеспечивающих повышение точности за счет некоторых дополнительных расходов. Простейшие методы практически бесплатны и тем не менее дают удивительно хорошую точность и могут эффективно использоваться в программе управления энергопотреблением.

В настоящем приложении показано, каким образом в любом центре обработки данных можно немедленно развернуть систему распределения энергозатрат и углеродных выбросов по ИТ-нагрузкам с точностью порядка +/- 20%. Описанный ниже метод соответствует уровню «Простейший инвентарный список» по классификации настоящей статьи – наивысшему, достижимому для типичного эксплуатанта ЦОДа без привлечения внешних специалистов. Этот метод может быть реализован с использованием бесплатного программного инструментария APC или иного аналогичного. Схема процесса представлена на **рис. А1** ниже.

Рисунок А1

Общая схема процесса формирования схемы распределения энергопотребления и углеродных выбросов по конкретным нагрузкам в центре обработки данных



Пользователю достаточно собрать основные сведения о конфигурации ЦОДа и числе серверов, а также текущие значения мощности нагрузки ИБП (по данным собственного инструментального оснащения ИБП – в подавляющем большинстве ЦОДов других измерителей электрической мощности и нет). Программа сама запрашивает необходимые данные – и только те, которые бывают под рукой у любого специалиста ЦОДа или ИТ-специалиста либо для получения которых достаточно пройти по помещениям центра.

Первый калькулятор служит для оценки показателя PUE центра обработки данных. Второй использует результаты работы первого для расчета распределения энергопотребления и углеродных выбросов по «средним серверам». Затем эти «средние серверы» распределяются по ИТ-пользователям на основе того или иного метода в зависимости от конкретной бизнес-модели. ПО снабжено справочной подсистемой.

На **рис. А2** показан экран калькулятора распределения. В данном примере на каждый сервер приходится \$1482 стоимости электричества и 15,4 тонны CO₂ в год. Таким образом на пользователя со 100 серверами будет распределено \$148 200 и 1540 тонн CO₂ в год.

IT Carbon & Energy Allocation Calculator

Impact of efficiency, load characteristics, and location on carbon and energy allocation for IT users



INPUTS

Data Center Attributes

PUE: 2.10 (DCiE=48%)

UPS load: 1000 kW

Non-IT devices on UPS power:

- ☒ Transformer based PDU:
- ☐ CRAH
- ☐ CRAC
- ☐ Lighting

IT load breakdown: Servers 80% + Storage 15% + Networking 5% = 100%

Number of physical servers: 1,043

Location of Data Center

North America | United States | Ohio

Location default: [] Override default? [] Override value: []

Currency: \$ []

Electricity cost per kWh: 0.09 []

CO2 emissions footprint (kg/kWh): 0.817 []

Assessed cost per tonne of CO2: 0.00 [] [] 20.00

RESULTS

	Total	Per Server
Data center input power (kW)	2,016	1.93
kWh per year	17,860,160	16,939
Electricity cost per year	\$ 1,524,072	\$ 1,462
CO2 tonnes per year (footprint)	16,032	15.4
Assessed CO2 cost per year	\$ 320,630	\$ 308

Percent Allocation of Energy per Server

15 Year Allocation per Server

Energy cost	\$ 21,927
Assessed CO2 cost	\$ 4,612.94
CO2 emissions	230.6 tonnes

TRADEOFF TOOLS™ © 2009 American Power Conversion. All rights reserved. No part of this publication may be used, reproduced, photocopied, transmitted, or stored in any retrieval system of any nature, without the written permission of the copyright owner.

Reset Learn more

Рисунок A2

Пример экрана результатов расчета программы IT Carbon & Energy Allocation Calculator

Приведенный пример выбран с учетом простоты реализации. Такая система может быть очень полезна, способствуя лучшему информированию людей и стимулированию поведенческих улучшений. Однако она имеет ряд важных ограничений.

- Точность составляет лишь около +/- 20%, что вряд ли достаточно для выставления счетов клиентам; поэтому рекомендуется использовать также некоторые описанные в статье дополнительные функции.
- Затраты и углеродные выбросы распределяются по «средним серверам», что не позволяет справедливо распределить издержки, например, между пользователями одноплатных серверов и мейнфреймов; решить эту проблему позволяет описанная в статье функция учета типа серверов.
- Без точного распределения потерь в инфраструктуре невозможно сформировать рекомендации по ее усовершенствованию; для этого необходимы описанные в статье аудит инфраструктурных подсистем и измерения по важнейшим подсистемам.