

# Динамические изменения нагрузки на систему питания в центрах обработки данных и помещениях для сетевого оборудования

Джим Спителз

Информационная  
статья № 43

**APC**<sup>®</sup>  
Legendary Reliability<sup>®</sup>

## Краткий обзор

Потребность центров обработки данных и помещений для сетевого оборудования в электроэнергии ежеминутно варьируется, находясь в зависимости от вычислительной нагрузки. Величина этих колебаний в последнее время сильно выросла и продолжает постоянно расти в связи с внедрением технологий управления электропитанием в серверах и коммуникационном оборудовании. Данные колебания приводят к возникновению новых проблем в сфере эксплуатационной готовности и управления.

## Введение

Энергопотребление центров обработки данных и помещений для сетевого оборудования складывается из электроэнергии, потребляемой установленным в них ИТ-оборудованием. Раньше величина энергопотребления этого оборудования лишь незначительно варьировалась в зависимости от вычислительной нагрузки и режима работы.

С появлением переносных компьютеров возникла потребность в управлении питанием процессора для продления срока работы от батарей. Технологии управления питанием позволили снизить энергопотребление процессоров мобильных компьютеров при незначительной загрузке на величину, достигающую 90%. Став более совершенной, эта технология начала появляться в серверах. В результате недавно разработанные серверы могут иметь энергопотребление, сильно варьирующееся во времени в зависимости от нагрузки.

Изменение энергопотребления с течением времени создает целый ряд новых проблем в проектировании и управлении центрами обработки данных и помещениями для сетевого оборудования. Несколько лет назад этими проблемами можно было пренебречь. Сейчас они достигли значительных масштабов, и их серьезность продолжает расти.

Колебания энергопотребления могут иметь непредвиденные и нежелательные последствия для оборудования центров обработки данных и сетевых центров, такие как срабатывание автоматов защиты, перегрев, а также потеря избыточности в системах электропитания с резервированием. Эта ситуация создает новые проблемы для людей при проектировании и эксплуатации центров обработки данных и помещений для сетевого оборудования.

## Масштабы динамического изменения нагрузки на систему питания

В 90-е годы почти все серверы постоянно потребляли примерно одинаковое количество энергии. Основные изменения энергопотребления серверов были связаны с разгоном дисков и изменениями скорости вращения вентиляторов с тепловым управлением. Вычислительная нагрузка на процессоры и подсистемы памяти приводила к пренебрежимо малым вариациям общего энергопотребления. В типичных серверах, использовавшихся как малыми, так и крупными предприятиями, изменение нагрузки на систему питания находилось в пределах 5% и практически не зависело от вычислительной нагрузки.

Существенное снижение энергопотребления требует согласованной работы базовой системы ввода-вывода (BIOS), набора микросхем материнской платы, процессора и операционной системы. В системе, где реализована такая схема управления энергопотреблением, при загрузке процессора менее 100% операционная система будет переключать рабочие потоки на холостой ход, вызывая переход процессора в режим пониженного потребления энергии. Количество времени, проводимого в состоянии пониженного энергопотребления, обратно пропорционально вычислительной нагрузке на систему (например, процессор, работающий с загрузкой в 20%, будет проводить 80% времени в состоянии пониженного энергопотребления).

Технология понижения энергопотребления, используемая в процессоре, зависит от его марки и производителя, однако чаще всего используются такие приемы, как снижение (вплоть до нуля) тактовой частоты или понижения напряжений, подаваемых на различные части процессора, набор микросхем и память.

В последнее время производители процессоров представили технологии, направленные на сокращение энергопотребления работающих процессоров. Для этого используются такие методы, как понижение тактовой частоты и напряжений, подаваемых на процессоры, в соответствии с их загрузкой в рабочем состоянии.

Важно отметить, что любая технология, условно понижающая энергопотребление процессора, приводит к снижению лишь среднего количества энергии, потребляемого системой; максимальное энергопотребление остается неизменным и имеет тенденцию увеличиваться с каждым новым поколением процессоров. Важно также осознавать, что при увеличении доли процессора в общем энергопотреблении сервера, колебания общего объема потребляемой сервером энергии, обусловленные вычислительной нагрузкой, также соответственно увеличиваются в процентном отношении. Самый высокий процент динамического изменения мощности будет наблюдаться в многопроцессорных серверах и серверах с очень маленьким числом дисковых приводов (например, сверхтонких серверах).

В **Таблице 1** приведены реальные показатели некоторых серверов. Эти цифры демонстрируют изменения в потреблении переменного тока при различной вычислительной нагрузке на компьютер.

**Таблица 1** – Показатели динамического изменения мощности реальных серверов

Платформа	Процессор	Потребление энергии при низкой нагрузке	Потребление энергии при высокой нагрузке	Процентное изменение
Dell PowerEdge 1150	Dual Pentium III - 1000	110 Вт	160 Вт	45%
Intel Whitebox	Pentium 4 - 2000	69 Вт	142 Вт	106%

IBM BladeCenter HS20 Полная стойка — 14 сверхтонких серверов	Dual Xeon 3,4 ГГц	2,16 кВт	4,05 кВт	88%
HP BladeSystem BL20pG2 Полная стойка — 8 сверхтонких серверов	Dual Xeon 3,06 ГГц	1,55 кВт	2,77 кВт	79%

## Проблемы, связанные с динамическим изменением мощности

Ниже перечислен ряд новых проблем, возникающих в связи с динамическим изменением мощности.

### Перегрузка ответвлений электросети

Большинство серверов основную часть времени работают с малой нагрузкой. Это означает, что серверы, в которых реализовано управление энергопотреблением, будут потреблять энергии меньше, чем потенциально способны. Однако большинство людей, занимающихся внедрением и обслуживанием центров обработки данных и помещений для сетевого оборудования, не осознают, что среднее фиксируемое энергопотребление сервера может быть намного ниже его возможного энергопотребления в условиях высокой вычислительной нагрузки. Эта ситуация может привести к тому, что оператор или сотрудник ИТ-службы случайно подключит к одному ответвлению сети слишком много серверов.

Если суммарное энергопотребление серверов, подключенных к одному ответвлению сети, превышает номинал этого ответвления, возникает опасность перегрузки. В таких условиях группа серверов может нормально работать до тех пор, пока не возникнет ситуация, при которой достаточно большое число серверов одновременно окажутся сильно загруженными. Условия, при которых возникает такая перегрузка, могут складываться не слишком часто, поэтому система может успешно работать без отказов в течение недель и даже месяцев.

При возникновении перегрузки, вызванной описанной выше ситуацией, сила тока в ответвлении цепи будет превышать номинал. В центре обработки данных или помещении для сетевого оборудования самым серьезным последствием этого может стать срабатывание автоматического выключателя и прекращение подачи энергии на компьютерное оборудование. Очевидно, что такое событие является крайне нежелательным. Более того, поскольку это происходит при повышенной вычислительной нагрузке, весьма вероятно, что компьютерное оборудование в это время будет обрабатывать большое число транзакций, и сбой, таким образом, произойдет в самый неподходящий момент.

## Перегрев

Вся электроэнергия, потребляемая оборудованием в центрах обработки данных и помещениях для сетевых устройств, рассеивается в виде тепла (единственным исключением являются коммутаторы PoE, передающие значительную часть потребляемой мощности по кабелям Ethernet на VoIP-телефоны, точки доступа Wi-Fi и другие устройства). При колебаниях энергопотребления компьютерного оборудования вследствие изменения вычислительной нагрузки меняется и тепловыделение. Если энергопотребление оборудования, расположенного в одной части центра обработки данных, резко возрастает, это может привести к появлению локальной зоны повышенной температуры. Система охлаждения центра обработки данных может быть сбалансирована с расчетом на обычное рассеяние энергии и удвоение энергии на отдельно взятом участке может привести к нежелательному повышению температуры, на которое система охлаждения не рассчитана. Это может привести к отключению оборудования из-за перегрева, нарушению его работы и прекращению гарантии на оборудование.

## Потеря избыточности

Во многих серверах имеются двойные резервированные разъемы питания, и многие центры обработки данных и помещения для сетевого оборудования с высоким уровнем эксплуатационной готовности используют данную конструктивную особенность для дублирования подводов питания к серверу. Эти системы могут перенести полный выход из строя одной из линий питания, продолжая работать. Конструкция таких компьютеров предполагает равномерное распределение нагрузки между обеими линиями в нормальном режиме работы.

При возникновении сбоя на одной из линий сервер полностью переключается на питание от другой. Это приводит к удвоению нагрузки на эту линию подачи питания. Поэтому каждое из ответвлений сети переменного тока в системе питания оборудования с дублированными линиями, всегда должно быть загружено менее чем на 50% от номинальной токовой нагрузки, чтобы иметь достаточный резерв для взятия на себя полной нагрузки, если в этом возникнет необходимость.

Если нагрузка демонстрирует динамическое изменение энергопотребления, это дополнительно усложняет задачу обеспечения нагрузки менее 50% от номинала на каждое ответвление цепи. При тестировании системы после установки можно прийти к выводу, что ответвления цепи задействованы значительно меньше, чем на 50% от номинала, а затем, при возникновении в будущем высокой вычислительной нагрузки на систему, она может оказаться задействована более чем на 50% от номинала.

При переходе одного из ответвлений цепи в системе с дублированными линиями в состояние, при котором нагрузка превышает 50% его возможностей, избыточность системы утрачивается. При отказе одной из линий на второй мгновенно возникнет перегрузка, что вполне может привести к срабатыванию автоматического выключателя (см. предыдущий раздел). Опять же, поскольку это происходит при повышенной вычислительной нагрузке, весьма вероятно, что компьютерное оборудование в это время будет обрабатывать большое число транзакций, и утрата избыточности, таким образом, произойдет в самый неподходящий момент.

## Неочевидность проблемы

На оборудование с динамическим изменением энергопотребления может приходиться лишь малая часть общего энергопотребления центра обработки данных или помещения для сетевого оборудования. Если 5% оборудования центра обработки данных имеет динамическое энергопотребление с двукратной разницей между минимальным и максимальным потреблением, а энергопотребление остального оборудования является постоянным, общие вариации мощности на главной линии электропитания или устройстве распределения электропитания (PDU) составят лишь 2,5%. Оператор может полагать, что серьезных проблем, связанных с динамическим изменением энергопотребления, в такой ситуации не существует, однако в реальности может иметься достаточно большой риск срабатывания автомата защиты, перегрева или потери избыточности. Таким образом, существует вполне реальная возможность того, что неопытные операторы могут не подозревать о существовании данной проблемы.

## Управление динамическим изменением энергопотребления

Чтобы смягчить проблемы, описанные в предыдущих разделах, проектировщики и менеджеры центров обработки данных и помещений для сетевого оборудования должны адаптироваться к новым реалиям динамического изменения энергопотребления. Существует ряд способов, которые могут быть полезны для достижения этого, и некоторые из них описаны ниже.

### Отдельное ответвление электросети для каждого сервера

Подвод к каждому серверу отдельной линии питания позволяет исключить перегрузку ответвления сети. Это становится возможным, благодаря тому, что конструкция серверов обеспечивает их работу от выделенных ответвлений. Таким образом можно решить проблему перегрузки ответвлений цепи и утраты избыточности. Данный подход не решает проблему перегрева, но она обычно представляет не самую большую опасность. Однако при использовании небольших серверов высотой 1U или 2U такое решение оказывается очень сложным и дорогим, поскольку может потребовать подвода чрезвычайно большого числа ответвлений цепи к каждой стойке. В самом худшем случае на стойку, заполненную двухкабельными серверами высотой 1U, может потребоваться 84 ответвления цепи, что соответствует двум большим панелям автоматов защиты. Данное решение более практично при использовании больших серверов или сверхтонких серверов.

## **Выработка стандартов ограничения мощности с расчетом на экстремальную ситуацию и контроль их соблюдения при установке**

У большинства операторов центров обработки данных и помещений для сетевого оборудования имеются стандарты для ограничения нагрузки, обычно выражаемые в процентах от номинала полной нагрузки ответвления цепи. Обычно их величина лежит в диапазоне от 60% до 80% от номинала ответвления, причем, величина порядка 75% считается разумным компромиссом между мощностью, стоимостью и эксплуатационной готовностью. Проверка и обеспечение соответствия стандарту производятся путем измерения реальной стандартной нагрузки. Следует отметить, что в случае с динамически изменяющимся энергопотреблением системы с данным подходом возникают серьезные проблемы, поскольку может быть сложно определить вычислительную нагрузку во время проведения измерения. В идеале, чтобы обеспечить соответствие техническим условиям при худшем сценарии развития событий необходимо во время измерений создать интенсивную вычислительную нагрузку на защищаемое оборудование.

## **Выработка стандартов ограничения мощности с расчетом на экстремальную ситуацию и вычисление соответствующих величин**

Другим вариантом решения является детальный учет всего оборудования, подключенного к каждому ответвлению цепи. При этом также необходимо вести подсчет и суммирование максимальной заявленной или измеренной нагрузки, создаваемой оборудованием. Таким образом можно исключить возможность перегрузки в какой-либо из ветвей электросети. Информацию о максимальной нагрузке для различного оборудования можно получить у его производителей (которые часто значительно преувеличивают нагрузку) или при помощи программ выбора ИБП, которые, в частности, можно найти на сайте [www.apcc.com](http://www.apcc.com). Ведение детального учета подключенного к цепям оборудования является обычной практикой в центрах обработки данных, отличающихся высокой эксплуатационной готовностью. Однако для этого оператор должен всегда точно знать, что именно подключено к каждому ответвлению цепи. В большинстве помещений для сетевого оборудования отсутствует достаточный контроль пользователей, который не позволял бы им перемещать оборудование, заменять его или просто переключать в другую розетку. Поэтому такой подход во многих случаях нецелесообразен.

Ограничения могут быть снижены еще сильнее для учета динамического повышения мощности. Например, в спецификациях на ограничение мощности может быть указано, что измеренная нагрузка не может превышать 35% от номинала ответвления цепи при работе оборудования с малой нагрузкой.



## Выработка стандартов ограничения мощности с расчетом на экстремальную ситуацию и постоянный контроль их соблюдения

В данном случае устанавливается ограничение мощности, а затем все ответвления цепи постоянно контролируются автоматической системой мониторинга. Когда нагрузка в цепи начинает превышать установленное значение, производится рассылка уведомлений. Например, если стандарт нагрузки цепи установлен в размере 60%, уведомления рассылаются при превышении этой цифры. Запас мощности устанавливается таким образом, чтобы операторы получали заблаговременное уведомление о появлении проблемного участка и могли принять меры до возникновения перегрузки по току. Данный метод может использоваться в сочетании с другими методами, описанными выше. Большим преимуществом данного метода является то, что он работает в ситуациях, когда пользователи могут установить дополнительное оборудование или переключить его в другую розетку, не уведомив менеджера центра обработки данных — такая ситуация очень типична для помещений для сетевого оборудования, залов для размещения оборудования заказчиков и центров обработки данных со средним уровнем безопасности. Данный подход также позволяет заранее узнать об угрозе утери избыточности. Это наиболее мощное средство, которое менеджер центра обработки данных может использовать для управления динамическими изменениями мощности в условиях постоянно меняющегося окружения.

## Заключение

Доля установленного в помещениях для сетевого оборудования и центрах обработки данных ИТ-оборудования, энергопотребление которого заметно варьируется в зависимости от нагрузки, со временем растет. В этой ситуации операторам центров обработки данных приходится сталкиваться с рядом непредвиденных проблем. Необходимо адаптировать к новым реалиям процедуры, ранее использовавшиеся для сведения к минимуму опасности перегрузки. Тщательное планирование и мониторинг питания в сетях чрезвычайно важны для обеспечения эксплуатационной готовности вновь создаваемых и уже существующих объектов, где будет устанавливаться большое число серверов.

### Об авторе

Джим Спителз работает инженером-консультантом в APC. Он закончил Политехнический институт Ворчестера, получив степени бакалавра и магистра в области электротехники. За 14 лет работы в APC он разработал ряд ИБП, коммуникационных продуктов, архитектур и протоколов, шкафов для оборудования и продуктов для распределения питания, а также много раз руководил группами разработчиков. Джиму также принадлежат три патента США в области ИБП и систем питания.