

[DOI: 10.17323/2587-814X.2022.2.49.61](https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.2.49.61)

# Новые метрики энергоэффективности ИТ-отрасли

**Р.Р. Сухов**<sup>a</sup> 

E-mail: r.sukhov@uptimetechnology.ru

**М.Б. Амзараков**<sup>a</sup> 

E-mail: m.amzarakov@uptimetechnology.ru

**Е.А. Исаев**<sup>b</sup> 

E-mail: is@itaec.ru

<sup>a</sup> АНО «Институт «Аптайм»

Адрес: Россия, 123060, г. Москва, ул. Маршала Рыбалко, д. 7

<sup>b</sup> Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Адрес: Россия, 142290, Московская область, г. Пущино, ул. профессора Виткевича, д. 1

## Аннотация

Снижение техногенного влияния деятельности человека на экологию планеты – задача, которая из разряда теоретической в настоящее время все больше переходит в практическую плоскость. Экологическая ситуация серьезна, и требует пристального внимания к себе. Одним из существенных факторов отрицательного влияния человека на окружающую его среду являются выбросы вредных веществ, возникающие при производстве электроэнергии. Техническое развитие человечества и повсеместное внедрение ИТ-технологий, характеризуется взрывным ростом количества электронных устройств, объемов данных, передаваемых по информационным сетям, и способствует увеличению потребностей в вычислительных ресурсах для хранения и обработки этих данных. Как следствие – потребность в электроэнергии также значительно увеличивается. Вычислительное оборудование за последние 15 – 20 лет многократно нарастило вычислительную мощность, количество эксплуатируемых серверов в настоящее время исчисляется многими миллионами единиц, а суммарное энергопотребление серверного парка становится весьма значимым в структуре энергозатрат во всех развитых странах. В данной статье мы проанализируем способ снижения энергозатрат при работе серверов и центров обработки данных, применение которого обладает высоким потенциалом к экономии электроэнергии, а также приведем пример нового способа оценки эффективности работы ИТ оборудования с помощью нового коэффициента – коэффициента простоя сервера (SIC).

**Ключевые слова:** энергоэффективность, энергозатраты, сервер, центр обработки данных**Цитирование:** Сухов Р.Р., Амзараков М.Б., Исаев Е.А. Новые метрики энергоэффективности ИТ-отрасли // Бизнес-информатика. 2022. Т. 16. № 2. С. 49–61. DOI: 10.17323/2587-814X.2022.2.49.61

**Введение**

**Р**азвитие глобальных (мировых) и региональных (на уровне отдельных стран) социальных сетей, интернет-сервисов, повсеместное внедрение информационных технологий во всех отраслях экономики приводит к необходимости повышения эффективности использования вычислительных ресурсов. В настоящее время это выражается в консолидации серверного оборудования в специализированных местах эксплуатации – центрах обработки данных, что позволяет снизить издержки за счет глубокой оптимизации энергоснабжения и охлаждения серверного оборудования, а также в разработке и производстве серверов с улучшенными характеристиками по энергопотреблению и вычислительной мощности.

Современные центры обработки данных, использующие инновационные способы распределения энергии и охлаждения уже приблизились к теоретическим пределам энергоэффективности. Дальнейшие технологические разработки в инженерных системах центров обработки данных позволят незначительно повышать энергоэффективность [1], при этом существенно удорожая их стоимость.

С одной стороны, на основании имеющихся исследований [2] можно сделать вывод, что, например, в Великобритании примерно 10% от общего производства электроэнергии потребляется коммерческими и государственными дата центрами и размещенными в них ИТ-системами.

С другой стороны, современные серверы вплотную приблизились к пределам компактности и энергоэффективности. Текущий «кремниевый» технологический базис не даст в ближайшем будущем

существенного снижения энергопотребления при сопоставимой вычислительной мощности.

И, несмотря на активное развитие в последние десятилетия так называемой «зеленой» энергетики – то есть энергетики, использующей источники энергии альтернативные традиционным, функционирующим на нефти, добываемом природном газе и угле, традиционные источники энергии при сгорании выделяют в атмосферу углекислый газ, способствующий росту парникового эффекта и глобальному потеплению.

В настоящее время более двух третей источников энергии в мировом производстве приходится именно на традиционные, причиняющие существенный вред окружающей среде (рис. 1) [3].

Консолидация ИТ ресурсов позволяет повысить эффективность как за счет оптимизации расходов на обслуживание, так и за счет снижения издержек при энергоснабжении и последующих дополнительных расходах на охлаждение. Появление новой отрасли – центры обработки данных – это логичное развитие ИТ отрасли в целом.

Современный центр обработки данных (ЦОД) – это высокотехнологичное предприятие, обеспечивающее непрерывное и надежное энергоснабжение серверов. Основным ресурсом, которым управляет, распределяет и снабжает центр обработки данных – это электроэнергия, эффективность использования которой определяет общую эффективность ЦОД в частности и ИТ отрасли в целом.

Понимание имеющихся ограничений подталкивает исследователей во всем мире к поиску новых способов снижения энергозатрат в ИТ отрасли.

В работе ЦОД можно выделить два самых значимых потребителя электроэнергии: серверное оборудо-

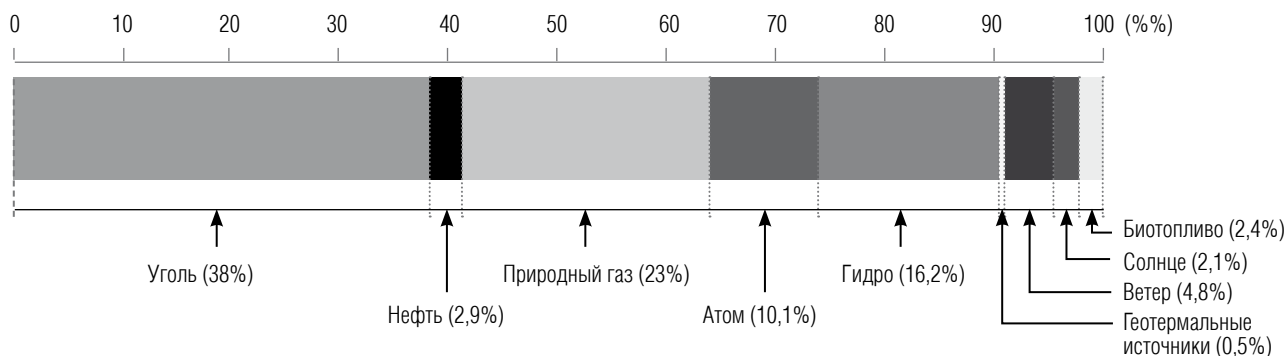


Рис. 1. Доля производства электроэнергии по источникам энергии в мире.

дование и вспомогательные инженерные системы (кондиционирование, электрораспределение и бесперебойное питание и т.п.). По каждому виду потребителей существуют различные метрики энергоэффективности, в той или иной степени позволяющие дать качественную, либо количественную оценку каждого из потребителей. Однако единая метрика, которая бы позволила комплексно объединить в себе обе оценки и дать возможность оценить влияние на итоговую энергоэффективность работы ЦОД авторам данной статьи не известна.

Именно поэтому становится важным создание единой метрики, которая позволила бы оценивать эффективность использования электроэнергии в ЦОД при проведении вычислений вне зависимости от того, какой процессор используют сервер, или какие технологии охлаждения использованы в центре обработки данных [1, 2].

Но задача измерения энергоэффективности сервера не так проста, как кажется на первый взгляд.

### 1. Актуальные показатели энергоэффективности

Эффективность ЦОД, с точки зрения энергозатрат на поддержание работы серверного оборудования, оценивается с помощью коэффициента энергоэффективности PUE [4]. Данный коэффициент появился в 2007 г., прочно вошел в обиход специалистов и позволяет мгновенно оценить энергоэффективность ЦОД как объекта инженерной инфраструктуры.

PUE вычисляется как отношение общего энергопотребления ЦОД (включая все энергозатраты, как затраты на ИТ, так и вспомогательные затраты) к затратам на энергоснабжение серверного оборудования ЦОД. Т.е. PUE показывает сколько электроэнергии расходует ЦОД на то, чтобы серверное оборудование работало должным образом.

$$PUE = \frac{P_{total}}{P_{IT}}, \text{ где } (1)$$

$P_{total}$  – общее количество энергии, затраченные дата-центром;

$P_{IT}$  – количество энергии, затраченное всем ИТ оборудованием дата-центра за то же время.

Согласно данным Uptime Institute коэффициент PUE резко снижался с 2006 по 2013 годы [5], однако после 2013 года коэффициент PUE остается примерно на одном и том же уровне (рис. 2) и колеблется на уровне 1,5–1,7.

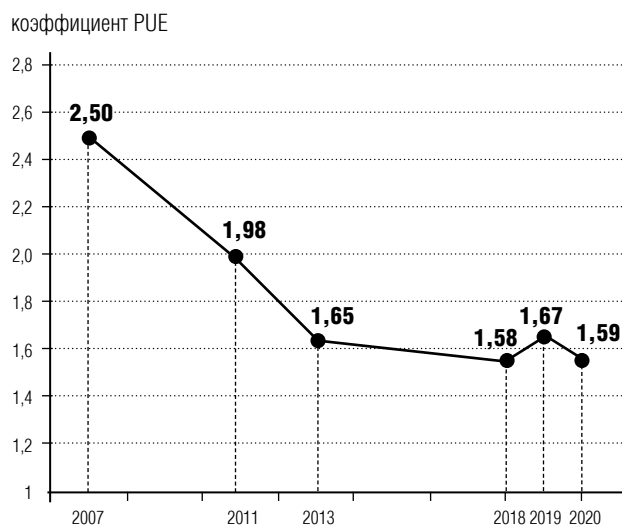


Рис. 2. Снижение динамики улучшения энергетической эффективности дата центров [5].

Каждый ватт электроэнергии, потребленный сервером, связан с энергетическими затратами на его «доставку»: передача, преобразование, охлаждение, освещение и т.п. В настоящее время эти дополнительные затраты, необходимые для обеспечения бесперебойной работы сервера, составляют 0,5–0,8 Вт на каждый ватт, потребляемый сервером.

В профессиональной среде такой эффект называется каскадным эффектом (рис. 3).



Рис. 3. Каскадный эффект.

На текущий момент не приходится ожидать, что энергоэффективность ЦОД может быть значительно улучшена. Отдельные проекты ЦОД показывают феноменально низкое значение PUE, равное 1,06–1,1. Однако стоит отметить, что такие значения достигаются при очень ограниченных условиях, при применении жестких, комплексно зависящих друг от друга условий эксплуатации инженерных систем [6] и ИТ оборудования, и в большинстве случаев сложно достижимы или практически нереализуемы [7].

Другая составляющая энергозатрат, имеющая высокий вес в общем энергопотреблении, кроется непосредственно в ИТ оборудовании.

Практически со дня появления первых компьютеров шла неустанная борьба за снижение габаритов и энергопотребления компьютеров. И в этой области достигнуты потрясающие результаты. Для примера можно посмотреть на результаты, достигнутые компанией AMD [8]. За последние 6 лет AMD повысила энергоэффективность вычислений, производимых своими процессорами, предназначенными для мобильных устройств, в 31,7 раза (рис. 4).

При этом мы наблюдаем интересный эффект. В последние 15–20 лет среднее энергопотребление непосредственно процессора и компьютера (сервера) в целом снижается несущественно, а производительность процессора, т.е. компьютера (сервера) растет значительно. Формально говоря, процессор



Рис. 4. Повышение энергоэффективности мобильных процессоров [8].

компьютера становится значительно энергетически эффективней, ведь на выполнение 1 операции требуется существенно меньше энергии, чем это требовалось раньше.

И, рассуждая в таком ключе, можно было бы предположить, что в таком случае общее энергопотребление ИТ отрасли и отрасли ЦОД должно снижаться, что является благоприятным фактором для снижения потребления ресурсов.

Однако этого не происходит. Основная причина на наш взгляд кроется в том, что все повышение производительности процессоров «расходуется» на то, чтобы в лучшем виде удовлетворять потребности общества, например, сделать более качественными видеоконтент, более быстро доставить данный контент до пользователя, сгенерировать новый контент, привлечь новых пользователей, создать новые ИТ сервисы, которые все более широко используют нейронные сети, построенные в свою очередь также на серверных кластерах и т.п.

Пока мы не видим, что в этой «гонке вооружений» есть какой-то предел, но можем ли мы при этом найти способы снижения энергопотребления, которые в меньшей степени будут зависеть от вышеописанных драйверов, порождающих спрос на ИТ услуги?

## 2. Управление энергоснабжением

Основываясь на данных, приведенных в статье [1], можно принять за основу распределение энергии в среднестатистическом сервере, приведенное в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение затрат энергии в сервере

Компонент	Потребление, Вт	Потребление, %
Процессор	115	63,89%
Оперативная память	15	8,33%
Жесткие диски	2	1,33%
Передача данных по сети	5	2,78%
Охлаждение	8,87	4,93%
Блок питания	11,13	6,18%
Прочие энергозатраты	1	0,56%

Из таблицы видно, что основным потребителем является процессор сервера – это почти 64% общего энергопотребления сервера. При этом также известно, что в среднем, в зависимости от характера производимых вычислений, серверные процессоры заняты полезной работой от 2 до 30 процентов времени [9, 10]. Из этого можно сделать вывод, что при том, что процессор потребляет значительную часть энергии в сервере, по факту процессор большую часть времени не выполняет полезную работу.

Для производителей серверов и других участников ИТ отрасли данный факт не является тайной, и они для минимизации потерь энергии при простоях сервера, а также для снижения риска перегрева процессоров и возникновения отрицательных эффектов в полупроводниках (туннельный эффект) уже достаточно давно встраивают в системы управления серверами специальные алгоритмы и способы для управления энергосбережением, которые позволяют достаточно гибко настроить работу всех элементов сервера (процессор, оперативная память, постоянная память, видеокарта и т.п.) и тем самым снизить непродуктивные потери сервера в целом. Исследования в направлении, как сделать системы управления энергосбережением сервера эффективнее ведутся непрерывно.

В качестве примеров таких исследований можно отметить:

- ◆ исследование лаборатории Беркли: Comparing server energy use and efficiency using small sample sizes (сравнение энергопотребления и эффективности серверов на примере серверов типовых размеров малого формата) [11];
- ◆ доклад на международной конференции по высоко производительным вычислениям, передаче данных, хранению и анализу: Energy-aware data transfer algorithms (энергосберегающие алгоритмы передачи данных) [12];
- ◆ доклад на 9-й международной конференции по прикладной энергетике: Development of a simple power consumption model of information technology (IT) equipment for building simulation (разработка простой модели энергопотребления оборудования информационных технологий (ИТ) для моделирования строительства) [13].

И в будущем мы увидим новые поколения серверов и телекоммуникационного оборудования, которые благодаря технологиям, созданным на базе таких исследований, будут обладать лучшими характеристиками, чем современные.

Как основные направления, которые бы позволили повысить энергоэффективность, можно выделить следующие:

- ◆ измерение энергопотребления;
- ◆ контроль энергопотребления;
- ◆ управление энергопотреблением.

### **3. Новые тенденции в повышении эффективности**

Как мы отметили ранее, энергоэффективность сервера зависит от того, на сколько он загружен полезной работой, выполняя вычисления.

Существует множество различных метрик по измерению энергоэффективности вычислений. Самая простая метрика – измерение количества энергии, затраченной для производства вычисления с плавающей запятой [14].

Для персональных компьютеров распространена метрика SPEC [15], вычисляющая количество энергии, затраченной на выполнение типовых действия на компьютере под управлением разных операционных систем.

Energy Star (организация при Агентстве по охране окружающей среды EPA, USA) разработало целую программу по измерению эффективности – SERT [16], включающую измерение электропотребления при производстве различных операций.

SUN Microsystems предложила метрику SWAP (space, wattage and performance) [17].

Однако у всех упомянутых метрик есть один общий недостаток. А именно, необходимость определить производительность сервера. Для метрики SWAP полезная работа определяется непосредственно указанием выполняемых комплексных действий. Для метрики SPEC производительность определяется производительностью работы известных программ. Для SERT – это производительность выполнения специализированного ПО.

И эти ограничения существенно сужают возможности использования таких метрик, что в свою очередь не дает возможности распространить ту или иную методику на все типы и виды серверов и вычислений.

Но со стороны общества, представляемого государством, есть серьезный запрос на поиск и внедрение новых механизмов, технологий, позволяющих получить дополнительную экономию электроэнергии при использовании серверов.

И в этом смысле государство выполняет очень важную функцию, а именно задает правила и стандарты, устанавливает метрики, либо граничные значения, достижение которых становится обязательным, тем самым стимулируя вовлеченные отрасли в поиск новых решений и их внедрения в технологии и оборудование.

Широко распространенным в мире примером повышения энергоэффективности является введение классов энергоэффективности в промышленном и бытовом электрооборудовании, а также установление контрольных дат, когда начинают действовать ограничения, либо полный запрет на оборот техники с низкими показателями энергоэффективности, как это введено в России в виде государственного отраслевого стандарта (ГОСТ) [18], или на примере положений комиссии ЕС [2, 19].

Другим показательным примером реализации программы повышения энергоэффективности является программа LEAP («Lower Energy Acceleration Program») – Программа развития пониженного энергопотребления (ПРПЭ) [20]. Данная программа является инициативой, реализуемая правительством Нидерландов, и является частью такой программы Евросоюза. В рамках этой программы производятся исследования, направленные на поиск тех направлений, где возможны значимые улучшения с точки зрения повышения энергоэффективности.

В частности, очень интересным представляется отчет, подготовленный компаниями Certios и WCoolIT по заказу Netherlands Enterprise Agency (Нидерландское промышленное агентство). Отчет называется «LEAP Track 1 “Powermanagement” Pilot analysis» – ПРПЭ Этап 1 Пилотный анализ энергосбережения [9].

Прежде чем перейти непосредственно к метрике SIC будет полезно описать критерии, применяемые при вычислении метрики.

Авторы метрики SIC не претендуют на определение производительности, либо полезной работы, однако для функционирования любого вычислительного устройства характерно выполнение «паразитных вычислений» (для процессора – инструкция NOOP). С точки зрения авторов, любое вычислительное действие является полезным, вне зависимости от того, какое именно вычисление производится, и насколько оно «полезно» потребителю. Однако, большую часть времени процессор не производит вычислительных действий, а находится в режиме ожидания, при котором выполня-

ется инструкция NOOP. Энергия, затраченная на выполнение данной операции, считается прямой потерей.

Идея исследования состояла в том, чтобы попытаться понять, насколько эффективно используется процессорное время, насколько влияют на энергосбережение, внедренные в аппаратную часть серверов, либо операционных систем, возможности по управлению энергосбережением, а также, есть ли возможность представить фактическую энергоэффективность сервера в одинаково понятном для всех виде.

Для исследования была взята статистика пула серверов, работающих с реальной нагрузкой и разными профилями самой нагрузки. Были проверены все основные режимы энергосбережения, встроенные в серверы и некоторые операционные системы в различных режимах нагрузок.

Полученные данные были проанализированы и представлены в очень наглядном виде, демонстрирующем реальную ситуацию с энергопотреблением данных серверов. На *рис. 5* показана зависимость энергопотребления в зависимости от нагрузки на сервер. Приведен пример работы сервера с включенным режимом управления энергопотреблением. Хорошо видна прямая зависимость энергопотребления от загрузки процессора. Также мы видим, что данный сервер имеет явно выраженные максимумы и минимумы полезной нагрузки на процессор, связанные со спецификой приложений, работающих на данном сервере.

Оценка энергоэффективности проводилась с применением методики измерения времени полезной работы процессора сервера и времени простоя, которые соотносились с данными контроля энергопотребления в эти моменты времени.

В качестве итогового коэффициента полезной работы сервера в данном исследовании был предложен коэффициент SIC (Server Idle Coefficient) – коэффициент простоя сервера.

$$SIC = \frac{E_{total}}{E_{total} - E_{idle}}, \quad (2)$$

$$SIC\% = 100\% \cdot \frac{E_{total}}{E_{idle}}, \quad \text{где} \quad (3)$$

$E_{total}$  — полная энергия, затраченная сервером;

$E_{idle}$  — энергия, затраченная сервером во время простоя.

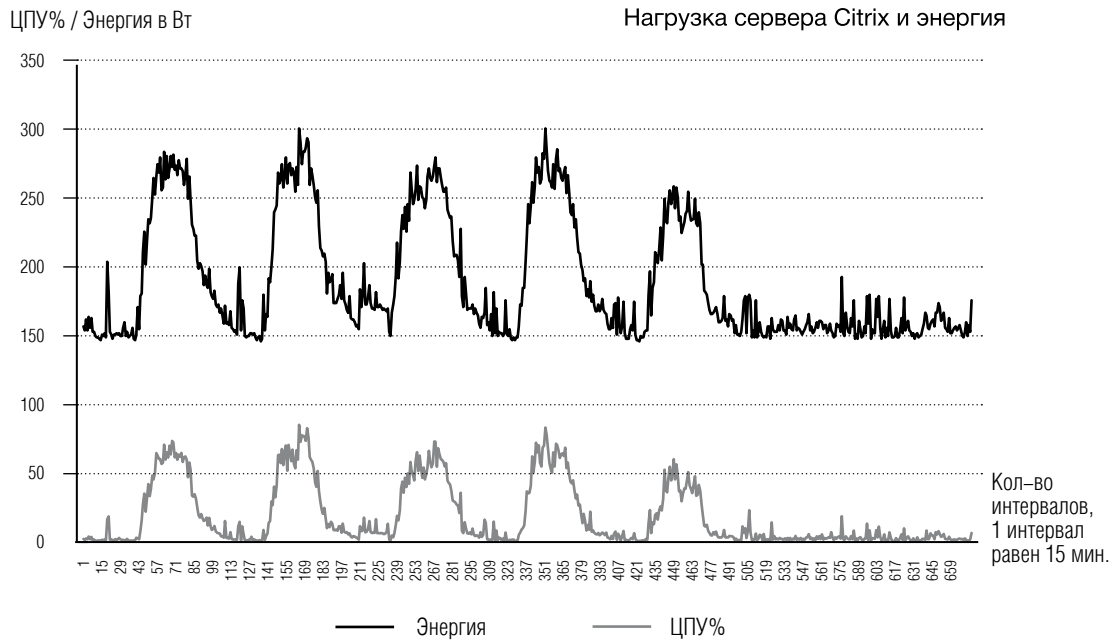


Рис. 5. Графики зависимости потребляемой энергии процессора от нагрузки [9].

Показатель (2) интерпретируется по аналогии с коэффициентом PUE, т.е. чем ближе значение к единице, тем большее количество энергии из общего количества потраченной энергии сервер тратит на полезную работу.

Показатель (3) представляет собой процентное отношение расхода энергии, когда сервер был в простое, к общему количеству потраченной энергии. Т.е., чем ближе данный показатель к 100%, тем меньше времени данный сервер производит полезную работу.

В исследовании отмечено, что:

- ◆ показатели SIC% в разных группах серверов варьировались от 34% до 91%;
- ◆ у технического персонала, отвечающего за эксплуатацию серверов, существует пробел в знаниях о роли виртуализации в управлении энергоснабжением;
- ◆ до сих пор сильны предрассудки в отношении существенного снижения производительности систем, настроенных на использование динамических режимов энергосбережения;
- ◆ у большинства эксплуатантов серверных кластеров отсутствуют какие-либо четкие правила и политики в отношении управления питанием серверов. А там, где эти политики существуют, то они чаще всего отдают предпочтение в пользу максимальной производительности сервера.

Полученные исследовательские данные демонстрируют очень высокий потенциал по снижению неэффективного расходования электроэнергии.

В качестве практического примера можно проанализировать данные, представленные на рис. 6.

На графиках рис. 6 представлены данные о загрузке процессора сервера и его энергопотреблении в двух режимах работы: верхний график – режим высокой производительности, нижний график – режим энергосбережения под управлением операционной системы сервера.

Полученные данные были обработаны и представлены в итоговых значениях потребленной энергии в разных режимах и был вычислен SIC для режима включенного энергосбережения:

- ◆ общая потребленная энергия за период: 24,5 кВт;
- ◆ общая энергия, потраченная на периоды простоя: 8,43 кВт;
- ◆ среднее значение времени простоя ЦПУ: 60,4%.

Используя формулы (2, 3), вычислен коэффициент SIC в процентном соотношении и в виде отношения количества общей потраченной энергии, к энергии, затраченной на вычислительные нужды:

$$SIC\% = 8,43/24,4 = 34,4\%;$$

$$SIC = 1,5;$$

и в режиме отключенного энергосбережения:

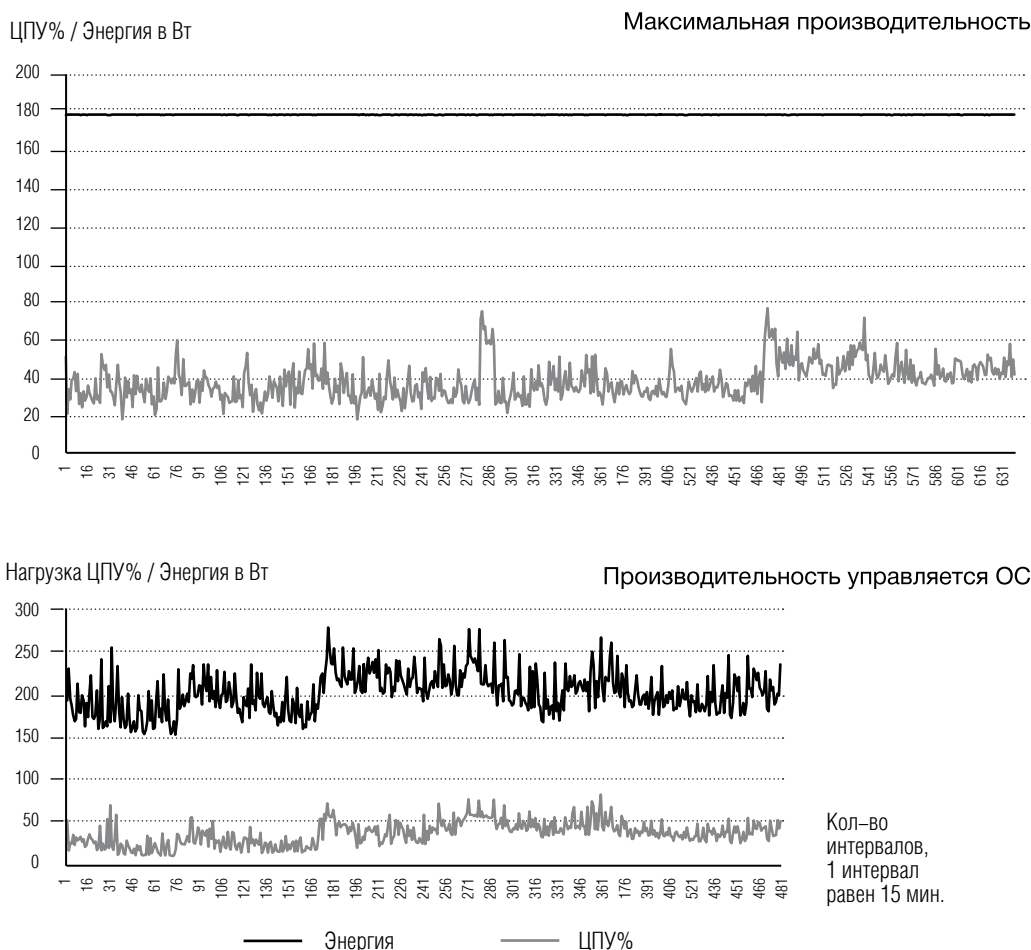


Рис. 6. Нагрузка сервера и разные режимы энергосбережения [9].

$$SIC\% = \text{время простоя ЦПУ} = 60,4\%$$

$$SIC = 2,53.$$

Таким образом, коэффициент SIC дает наглядное представление об эффективности работы сервера.

Данный подход представляется интересным и перспективным, т.к. позволяет оценивать эффективность работы серверного оборудования без привязки к его реальным параметрам энергопотребления, что дает возможность оценивать эффективность комплекса: сервер – программное обеспечение – кластеризация – динамическое управление нагрузками.

Развитие данного подхода безусловно потребует более глубокого изучения, разработки единой методологии и механизмов извлечения данных для оценки и последующей интерпретации полученных данных.

#### 4. Оценка практической пользы применения коэффициента простоя сервера

Улучшение значения коэффициента простоя возможно двумя путями. Первое направление – это улучшение планирования исполнения инструкций операционной системой и программным обеспечением. Что возможно, например, за счёт лучшего распределения вычислений между серверами. Задача повышения времени полезного использования вычислительных мощностей – это задача разработчиков информационных систем и ПО.

Второе направление – снижение электропотребления серверным оборудованием при отсутствии вычислений – это задача для разработчиков процессоров и серверного оборудования.



Можно утверждать, что повсеместное внедрение метрики SIC позволяет создать единую базисную среду для сравнимой и достоверной оценки эффективности работы современных серверов, что в комбинации с государственным регулированием даст большой стимул разработчикам программного обеспечения в повышении полезной загрузки процессоров вычислительной техники, а разработчикам оборудования в повышении энергоэффективности их устройств.

Коэффициент SIC также позволяет применить новые методы практической реализации программ повышения энергоэффективности в дата центрах с минимальными инвестиционными затратами на внедрение таких практик.

Переход на контроль энергопотребления серверами с помощью коэффициента SIC позволяет выполнять эти процедуры в режиме реального времени, не затрачивая ресурсы на дорогостоящие и длительные специальные измерения коэффициента PUE или его производных.

Автоматизированное фоновое вычисление SIC на каждом сервере и агрегация в единую систему анализа может позволить практически мгновенно выявлять серверное оборудование, используемое неэффективно.

Ориентируясь на осторожные оценки авторов исследования [9] в возможностях энергосбережения в размере не менее 10% для высоконагруженных серверов при переходе к динамическому управлению энергопотреблением серверов, оценим размер потенциальной экономии электроэнергии для небольшого типового дата центра, обладающего следующими характеристиками:

- ♦ общее количество эксплуатируемых серверов: 2 000 шт.;
- ♦ среднее энергопотребление одного сервера: 200 Вт;
- ♦ влияние каскадного эффекта (коэффициент PUE) дата центра: 1,7.

Предположим, что в результате контроля коэффициента SIC нам в среднем удалось снизить потребляемую мощность одного сервера на 10%, мы получим:

$$P_{\text{экономии}} = 200 \text{ (Вт)} \cdot 10\% = 20 \text{ (Вт)} -$$

для одного сервера;

Принимая во внимание общее количество серверов, равно 2000 шт., мы получим:

$$P_{\text{общ. экономии ИТ}} = 20 \text{ (Вт)} \cdot 2000 = 40 \text{ (кВт)} -$$

для всей ИТ нагрузки.

Таким образом мы видим, что незначительные на первый взгляд 20 Вт экономии потребляемой мощности на одном сервере на масштабе нашего примера, в количестве 2000 серверов, позволяют получить общее снижение потребляемой электрической мощности в размере 40 кВт.

Приняв во внимание коэффициент PUE, получим:

$$P_{\text{общ. экономии}} = 40 \text{ (кВт)} \cdot 1,7 = 68 \text{ (кВт)} -$$

для дата центра,

Снижение потребляемой мощности на вспомогательных инженерных системах, необходимых для нормального функционирования серверов добавляет в общую экономию еще 28 кВт электрической энергии.

Перейдем от потребляемой электроэнергии, измеряемой в кВт к потребленной, учитываемой в кВт·ч и вычислим объем экономии электрической энергии в месяц:

$$P_{\text{общ. экономии}} = 68 \text{ (кВт)} \cdot 720 \text{ (часов)} = 48\,960 \text{ (кВт·ч)},$$

где 720 часов – это усредненное количество часов в месяц.

Далее вычислим объем экономии электрической энергии в год:

$$P_{\text{общ. экономии}} = 68 \text{ (кВт)} \cdot 8640 \text{ (часов)} = 587\,250 \text{ (кВт·ч)},$$

где 8 640 часов – это усредненное количество часов в год.

Если принять, что в Москве стоимость одного кВт·ч электрической энергии в 2021 году составляет 7,11 руб., то за год мы получим общую экономию в денежной форме:

$$S_{\text{общ. экономии}} = 587\,250 \text{ (кВт·ч)} \cdot 7,11 \text{ (руб.)} = 4\,175 \text{ (млн руб.)}.$$

Приведенный пример дата центра, в сравнении с гигантами отрасли, обладает небольшой мощностью, около 700 кВт, однако этот пример наглядно показывает, какой существует потенциал в снижении общего энергопотребления дата центрами и ИТ отраслью.

## Заключение

В настоящей статье рассмотрен вопрос основных тенденций в области повышения эффективности использования электроэнергии при эксплуатации серверных кластеров и систем.

Энергоэффективность производимых вычислений на уровне отдельных устройств из расчета количества операций на единицу мощности, и снижение

эксплуатационных потерь инженерных систем дата-центров [21] – являются основным драйвером повышения энергоэффективности ИТ отрасли в целом.

Показано, что снижение энергопотребления на 10% на серверах снижает необходимую мощность с 700 до 632 кВт и дает существенную экономию в затратах на оплату потребленной электроэнергии.

Необходимо обратить пристальное внимание на новые способы повышения энергоэффективности ИТ отрасли, а именно на изменение подходов в управлении серверными системами. Объединение единичных устройств – серверов в кластеры и системы с одновременным управле-

нием загрузкой процессорных мощностей, а также динамическое управление энергопитанием элементов сервера позволяет в дополнение к основным способам повышения энергоэффективности дать еще один весомый инструмент управления и контроля.

Введение в практику новых способов оценки эффективности работы серверного оборудования, таких как коэффициент простоя сервера (SIC), могут дать качественно новую оценку эффективности производимых вычислений, вне зависимости от того, насколько сам по себе процессор сервера энергоэффективен. ■

### Литература

1. Амзараков М.Б., Сухов Р.Р., Исаев Е.А., Амзаракова А.М. Энергоэффективность центра обработки данных как совокупности инженерной и ИТ инфраструктуры // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2019. № 12. С. 47–52.
2. A new European roadmap to cleaner, greener data centres // BCS, The Chartered Institute for IT, 2021. [Электронный ресурс]: <https://www.bcs.org/content-hub/a-new-european-roadmap-to-cleaner-greener-data-centres/> (дата обращения 28.02.2022).
3. World gross electricity production by source, 2019 // IEA, 2021. [Электронный ресурс]: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2019> (дата обращения 28.02.2022 г.)
4. Power usage effectiveness // Wikipedia, the free encyclopedia, 2022. [Электронный ресурс]: [https://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_usage\\_effectiveness](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_usage_effectiveness) (дата обращения 28.02.2022).
5. Lawrence A. Data center PUEs have been flat since 2013 // Uptime Institute, 2020. [Электронный ресурс]: <https://www.datacenterdynamics.com/en/opinions/data-center-pues-have-been-flat-2013/> (дата обращения 28.02.2022).
6. Обзор «зеленых» энергетических стратегий и методик для современных центров обработки данных // Delta Power Solution, 2014. [Электронный ресурс]: [https://www.deltapowersolutions.com/media/download/White-Paper\\_Overview-of-Green-Energy-Strategies-and-Techniques-for-Modern-Data-Centers\\_WP0014\\_ru-ru.pdf](https://www.deltapowersolutions.com/media/download/White-Paper_Overview-of-Green-Energy-Strategies-and-Techniques-for-Modern-Data-Centers_WP0014_ru-ru.pdf) (дата обращения 28.02.2022).
7. Supermicro second annual green data center report finds opportunity for saving millions in energy costs, and reductions in E-Waste // Super Micro Computer, Inc., 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.supermicro.com/en/pressreleases/supermicro-second-annual-green-data-center-report-finds-opportunity-saving-millions> (дата обращения 28.02.2022).
8. AMD 25x20 energy efficiency initiative // Advanced Micro Devices, Inc, 2022. [Электронный ресурс]: <https://www.amd.com/en/technologies/25x20> (дата обращения 28.02.2022).
9. Harryvan D., Verzijl M., Amzarakov M. LEAP Track 1 ‘Powermanagement’ Pilot analysis // Netherlands Enterprise Agency, 2020. [Электронный ресурс]: <https://amsterdameconomicboard.com/app/uploads/2020/10/LEAP-Track-1-‘Powermanagement’-Pilot-analysis.pdf> (дата обращения 28.02.2022).
10. Meisner D., Gold B.T., Wenisch T.F. PowerNap: eliminating server idle power // ACM SIGARCH Computer Architecture News. 2009. Vol. 37. No. 1. P. 205–216. <https://doi.org/10.1145/2528521.1508269> (дата обращения 28.02.2022).
11. Coles H.C., Qin Y., Price P.N. Comparing server energy use and efficiency using small sample sizes // Lawrence Berkeley National Laboratory, 2014. [Электронный ресурс]: <https://buildings.lbl.gov/publications/comparing-server-energy-use-and> (дата обращения 28.02.2022).
12. Alan I., Arslan E., Kosar T. Energy-aware data transfer algorithms // Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC’15). 2015. Article No.: 44. P. 1–12. <https://doi.org/10.1145/2807591.2807628>
13. Cheung H., Wang S., Zhuang C. Development of a simple power consumption model of information technology (IT) equipment for building simulation // Energy Procedia. 2017. Vol. 142. P. 1787–1792. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.564>
14. Green500 results // TOP500.org. [Электронный ресурс]: <https://www.top500.org/lists/green500/> (дата обращения 28.02.2022).
15. Standard Performance Evaluation Corporation. [Электронный ресурс]: <http://www.spec.org/index.html> (дата обращения 28.02.2022).
16. Fogle R. How to measure server efficiency with SERT // Energy Star. [Электронный ресурс]: <https://www.energystar.gov/products/ask-the-experts/how-to-measure-server-efficiency-with-sert-> (дата обращения 28.02.2022).

17. Sun introduces new metric for server efficiency // Phys.org, 2005. [Электронный ресурс]: <https://phys.org/news/2005-12-sun-metric-server-efficiency.html> (дата обращения 28.02.2022).
18. ГОСТ Р 51749-2001. Энергосбережение. Энергопотребляющее оборудование общепромышленного применения. 2002. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200012993> (дата обращения 28.02.2022).
19. Commission Regulation (EU) 2019/424 of 15 March 2019 // Official Journal of the European Union. 2019. No. L 74. P. 46–66. [Электронный ресурс]: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/424/oj> (дата обращения 28.02.2022).
20. LEAP – Lower Energy Acceleration Program // The Amsterdam Economic Board, 2020. [Электронный ресурс]: <https://amsterdameconomicboard.com/en/results/lancering-lower-energy-acceleration-programme-leap/> (дата обращения 28.02.2022).
21. Амзараков М.Б., Сухов Р.Р., Исаев Е.А. Модульный центр обработки данных: Целостный взгляд // Бизнес-информатика. 2014. Т. 29. № 3. С. 7–14.

### Об авторах

#### **Сухов Рафаэль Ряхимович**

финансовый управляющий, АНО «Институт «Аптайм», 123060, г. Москва, ул. Маршала Рыбалко, д. 7;  
E-mail: [r.sukhov@uptimetechnology.ru](mailto:r.sukhov@uptimetechnology.ru)  
ORCID: 0000-0002-8124-137X

#### **Амзараков Максим Борисович**

директор АНО «Институт «Аптайм», 123060, г. Москва, ул. Маршала Рыбалко, д. 7;  
E-mail: [m.amzarakov@uptimetechnology.ru](mailto:m.amzarakov@uptimetechnology.ru)  
ORCID: 0000-0001-6229-8592

#### **Исаев Евгений Анатольевич**

кандидат технических наук;  
старший научный сотрудник. Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 142290, Московская область, г. Пушкино, ул. профессора Виткевича, д. 1;  
E-mail: [is@itaec.ru](mailto:is@itaec.ru)  
ORCID: 0000-0002-3703-447X

---

## New energy efficiency metrics for the IT industry

### **Rafael R. Sukhov<sup>a</sup>**

E-mail: [r.sukhov@uptimetechnology.ru](mailto:r.sukhov@uptimetechnology.ru)

### **Maxim B. Amzarakov<sup>a</sup>**

E-mail: [m.amzarakov@uptimetechnology.ru](mailto:m.amzarakov@uptimetechnology.ru)

### **Evgeny A. Isaev<sup>b</sup>**

E-mail: [is@itaec.ru](mailto:is@itaec.ru)

<sup>a</sup> INO Uptime Technology

Address: 7, Marshala Rybalko st., Moscow 123060, Russia

<sup>b</sup> Institute of Mathematical Problems of Biology RAS – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences

Address: 1, Professor Vitkevich st., Pushchino 142290, Russia

## Abstract

Reducing the technogenic impact of human activity on the ecology of the planet is a problem that is increasingly moving from a theoretical category into a practical one. The environmental situation is serious and requires more attention. One of the significant factors of the negative impact of humans on their environment is the emissions of harmful substances that occur during the production of electricity. The technical development of humanity and the widespread introduction of information technologies are characterized by an explosive growth in the number of electronic devices and the amount of data transmitted over information networks. This contributes to an increase in the need for computing resources for storing and processing this data, and as a result, the need for electricity is also increasing. Over the past 15–20 years, computing equipment has increased its computing power many times. The number of servers in operation is currently estimated at many millions of units, and the total energy consumption of the server park is becoming very significant in the structure of energy costs in all developed countries. In this article, we will analyze a way to reduce energy costs in the operation of servers and data centers, the application of which has a high potential for saving energy. We will give an example of a new way to evaluate the efficiency of IT equipment using a new factor – the server idle coefficient (SIC).

**Keywords:** energy efficiency, energy consumption, server, data center

**Citation:** Sukhov R.R., Amzarakov M.B., Isaev E.A. (2022) New energy efficiency metrics for the IT industry. *Business Informatics*, vol. 16, no. 2, pp. 49–61. DOI: 10.17323/2587-814X.2022.2.49.61

## References

1. Amzarakov M.B., Sukhov R.R., Isaev E.A., Amzarakova A.M. (2019) Energy efficiency of the Data Processing Center as a combination of engineering and IT infrastructure. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, no. 12, pp. 47–52 (in Russian).
2. BCS, the Chartered Institute for IT (2021) *A new European roadmap to cleaner, greener data centres*. Available at: <https://www.bcs.org/content-hub/a-new-european-roadmap-to-cleaner-greener-data-centres/> (accessed 28 February 2022).
3. IEA (2021) *World gross electricity production by source, 2019*. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2019> (accessed 28 February 2022).
4. Wikipedia, the free encyclopedia (2022) *Power usage effectiveness*. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_usage\\_effectiveness](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_usage_effectiveness) (accessed 28 February 2022).
5. Lawrence A. (2020) *Data center PUEs have been flat since 2013*. Uptime Institute. Available at: <https://www.datacenterdynamics.com/en/opinions/data-center-pues-have-been-flat-2013/> (accessed 28 February 2022).
6. Delta Power Solution (2014) *Overview of green energy strategies and methodologies for modern data centers*. Available at: <https://www.deltapowersolutions.com/en-us/mcis/white-paper-overview-of-green-energy-strategies-and-techniques-for-modern-data-centers.php> (accessed 28 February 2022).
7. Super Micro Computer, Inc. (2019) *Supermicro second annual green data center report finds opportunity for saving millions in energy costs, and reductions in E-Waste*. Available at: <https://www.supermicro.com/en/pressreleases/supermicro-second-annual-green-data-center-report-finds-opportunity-saving-millions> (accessed 28 February 2022).
8. Advanced Micro Devices, Inc. (2022) *AMD 25x20 energy efficiency initiative*. Available at: <https://www.amd.com/en/technologies/25x20> (accessed 28 February 2022).
9. Harryvan D., Verzijl M., Amzarakov M. (2020) *LEAP Track 1 'Powermanagement' Pilot analysis*. Netherlands Enterprise Agency. Available at: <https://amsterdameconomicboard.com/app/uploads/2020/10/LEAP-Track-1-'Powermanagement-Pilot-analysis.pdf> (accessed 28 February 2022).
10. Meisner D., Gold B.T., Wenisch T.F. (2009) PowerNap: eliminating server idle power. *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, vol. 37, no. 1, pp. 205–216. <https://doi.org/10.1145/2528521.1508269>
11. Coles H.C., Qin Y., Price P.N. (2014) *Comparing server energy use and efficiency using small sample sizes*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Available at: <https://buildings.lbl.gov/publications/comparing-server-energy-use-and> (accessed 28 February 2022).
12. Alan I., Arslan E., Kosar T. (2015) Energy-aware data transfer algorithms. Proceedings of the *International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC'15)*. Article No.: 44, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1145/2807591.2807628>
13. Cheung H., Wang S., Zhuang C. (2017) Development of a simple power consumption model of information technology (IT) equipment for building simulation. *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 1787–1792. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.564>

14. TOP500.org (2021) *Green500 results*. Available at: <https://www.top500.org/lists/green500/> (accessed 28 February 2022).
15. *Standard Performance Evaluation Corporation*. Available at: <http://www.spec.org/index.html> (accessed 28 February 2022).
16. Fogle R. *How to measure server efficiency with SERT*. Energy Star. Available at: <https://www.energystar.gov/products/ask-the-experts/how-to-measure-server-efficiency-with-sert-> (accessed 28 February 2022).
17. Phys.org (2005) *Sun introduces new metric for server efficiency*. Available at: <https://phys.org/news/2005-12-sun-metric-server-efficiency.html> (accessed 28 February 2022).
18. GOST R 51749-2001 (2002) *Energy saving. Energy-consuming equipment for general industrial use*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200012993> (accessed 28 February 2022).
19. Commission Regulation (EU) 2019/424 of 15 March 2019 (2019) *Official Journal of the European Union*, no. L 74, pp. 46–66. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/424/oj> (accessed 28 February 2022).
20. The Amsterdam Economic Board (2020) *LEAP – Lower Energy Acceleration Program*. Available at: <https://amsterdameconomicboard.com/en/results/lancering-lower-energy-acceleration-programme-leap/> (accessed 28 February 2022).
21. Amzarakov M.B., Sukhov R.R., Isaev E.A. (2014) The modular data center: a holistic view. *Business Informatics*, vol. 29, no. 3, pp. 7–14.

### About authors

**Rafael R. Sukhov**

Financial manager, INO Uptime Technology, 7, Marshala Rybalko st., Moscow 123060, Russia;

E-mail: [r.sukhov@uptimetechnology.ru](mailto:r.sukhov@uptimetechnology.ru)

ORCID: 0000-0002-8124-137X

**Maxim B. Amzarakov**

Director, INO Uptime Technology, 7, Marshala Rybalko st., Moscow 123060, Russia;

E-mail: [m.amzarakov@uptimetechnology.ru](mailto:m.amzarakov@uptimetechnology.ru)

ORCID: 0000-0001-6229-8592

**Evgeny A. Isaev**

Cand. Sci. (Tech.);

Senior Research Fellow, Institute of Mathematical Problems of Biology RAS – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, 1, Professor Vitkevich st., Pushchino 142290, Russia;

E-mail: [is@itaec.ru](mailto:is@itaec.ru)

ORCID: 0000-0002-3703-447X