

## ЗЕЛЕНАЯ ВОЛНА

**Сергей Феофентович Тюрин**, проф., проф. кафедры автоматики и телемеханики

E-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

<http://pstu.ru>

**Юрий Александрович Аляев**, доц., доц. кафедры математики и естественно-

научных дисциплин

E-mail: alyr1@yandex.ru

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (Пермский филиал)

<http://perm.ranepa.ru>

Анализируются основные цели, направления и технологии «зеленых», энергосберегающих вычислений, исследуемых в Международном образовательном проекте ТЕМПУС. В скором времени с большой долей вероятности «зелёные» дисциплины будут преподаваться в университетах не только для аспирантов и магистров, но и для специалистов и бакалавров.

Ключевые слова: гринкомпьютинг – «зеленые» вычисления, масштабирование напряжения и частоты, энергосберегающие, энергоэффективные технологии в области компьютеринга, процессор, память, образование и наука, международный проект ТЕМПУС.

## Введение

В настоящее время по всему миру идет своего рода «зеленая волна» – бурно продвигаются «экологически чистые», «зеленые» технологии, ресурсосберегающие технологии, в



**С.Ф. Тюрин**

том числе технологии энергосбережения. Сегодня не только производители автомобилей борются за рынок сбыта, улучшая показатели потребления топлива (например, в некоторых продвинутых автомобилях введен режим «start-stop», с целью еще большей экономии топлива и снижения выброса пресловутого углекислого газа во время остановок на светофорах и стоянок в пробках), но и другие производители, например, стиральных машин, улучшают показатели потребления воды и электроэнергии.

А сколько домашней техники часто томится без дела, но под напряжением?! Телевизоры, микроволновые печи, газовые плиты, кондиционеры... Продвинутый домашний компьютер может потреблять до киловатта и больше энергии.

«Зеленая» тема – одна из основных тем, в так называемых цивилизованных странах. И у нас в России буквально у всех еще на слуху недавние дебаты об использовании бытовых ламп освещения с низким энергопотреблением.

По некоторым оценкам в США на питание и охлаждение информационных центров тратится порядка \$4,5 млрд и ожидается, что эти затраты вырастут до \$8 млрд в ближайшие 5 лет [1]. В типовом офисе компьютеры расходуют примерно половину всей электроэнергии, причем серверы потребляют около двух третей, остальное приходится на рабочие станции и периферию. Центры обработки данных потребляют в 100–200 раз больше стандартного офиса, расходы на питание компьютеров в среднем составляют половину цены оборудования, 50% от них – стоимость охлаждения. В США порядка 50% ПК не выключаются ночью, в результате чего, ежегодные потери энергии – около 30 млрд кВтч стоимостью \$3 млрд в год. В Европе потери на порядок меньше, а в России,



**Ю.А. Аляев**

по нашей вековой традиции, – никто не считал...

Активно ведутся научные исследования и в области так называемого «гринкомпьютинга» (Green computing), – эту область также осваивает и образование.

Целью статьи является обзор основных направлений «зелёных» вычислений на практике и анализ основных тенденций их развития в образовании и науке в соответствие с международным проектом ЕС Fostering Innovations on Green Computing and Communications TEMPUS GreenCo project «Технологии зеленых вычислений».

### Основные цели и направления зеленых вычислений

Как справедливо указано в [1] в последнее время борьба за экономию ресурсов в области компьютерной техники начинает преобладать над борьбой за скорость вычислений, за производительность.

Считается, что «зеленая» гонка началась около 1992 г., когда Агентство по охране окружающей среды США запустило проект Energy Star для поощрения добровольных тенденций энергоэффективности при разработке мониторов, оборудования климат-контроля, и в других продуктах и технологиях.

Как предполагается, это и дало толчок широкому распространению «спящего» режима среди потребительской электроники. Энергосберегающие функции теперь имеются на любом компьютере, введены спящий [suspend] и ждущий [hibernate] режимы: в первом случае компьютер остается включенным, но останавливается жесткий диск и процессор; во втором, – содержимое ОЗУ записывается на винчестер, и компьютер выключается полностью.

Итак, «Green computing» – это теория и практика экологически ориентированных информационных компьютерных технологий (ИКТ, ICT), это энергосберегающие, энерго-

эффективные технологии вычислений и пр. – «зеленые» вычисления – ЗВ [2].

Часто используются дополнительные экзотические понятия и термины: энергоориентированные (энергосознательные) компьютерные системы – (Energy-Aware Computer Systems), энергоэкономные (в смысле затрат энергии) компьютерные системы на основе энергосберегающих подходов (Energy-Saving Computer Systems), энергоэффективные компьютерные системы (Energy Efficient Computer Systems) и пр.

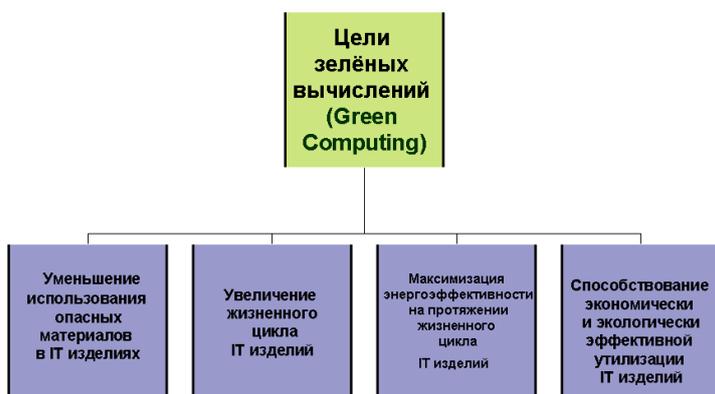


Рисунок 1 – Основные цели ЗВ

Основными целями ЗВ являются: сокращение использования опасных материалов, повышение эффективности энергопотребления на протяжении жизненного цикла IT изделий, а также эффективная в экономическом и экологическом смысле утилизация [3] (рисунок 1).

Основными целями ЗВ являются: сокращение использования опасных материалов, повышение эффективности энергопотребления на протяжении жизненного цикла IT изделий, а также эффективная в экономическом и экологическом смысле утилизация [3] (рисунок 1).

Вызывает особый интерес такое направление создания экологически ориентированной компьютерной техники, как технологии долговечности (Longevity) – продление срока службы оборудования, в том числе с использованием таких подходов, как модернизируемости и модульности. Считается, что экологически эффективней обновление, модернизация уже произведенного оборудования, чем производство нового.

Создана соответствующая международная организация – IFG (International Federation of Green ICT) и разрабатываются соответствующие стандарты IFG Standard. Созданы многочисленные организации, борющиеся за энергетическую эффективность с глобальной целью снижения выброса «парниковых» газов, например, Alliance to Save Energy, Climate

Savers Computing Initiative 2Degrees (Low Carbon ITC Network), The Green Grid, Sustainable Electronics Initiative (SEI) и др. Пропагандируется соответствующая добровольная сертификация IT изделий.

С целью минимизации энергозатрат рассматриваются направления использования пониженного напряжения питания, пониженной тактовой частоты, тогда, когда не требуется высокая скорость вычислений, причем предусматриваются специальные стандартизированные режимы управления напряжением и частотой процессора. В этом плане также развиваются новые схемотехнические технологии.

Отдельного разговора требует анализ энергоэффективного программного обеспечения ПО и соответствующих алгоритмов.



Рисунок 2 – Эмблема Energy Efficient Ethernet

Разработан и используется стандарт IEEE 1680, являющийся фактически стандартом зелёных вычислений для компьютеров, ноутбуков и мониторов. Energy Efficient Ethernet (IEEE 802.3az) (рисунок 2), позволяет повысить также энергоэффективность сетевого оборудования. Предусмотрен аналогичный переход в режим пониженного энергопотребления (тоже «сон») или работа на меньшей, по возможности, скорости. Используются помимо оптики и специальные энергосберегающие кабели [4].

Известна также еще одна инициатива – «Один ватт». Это энергосберегающая инициатива Международного энергетического агентства (МЭА), рекомендующая снизить энергопотребление в режиме ожидания использование любым устройством до одного ватта потребляемой мощности в 2010 г., и 0,5 Вт в 2013 г. Основные направления ЗВ изображены на рисунке 3.

Активно продвигаются технологии, так называемых виртуальных вычислений, в этой связи рекомендуется использование по возможности там, где нет необходимости в «мощных» вычислениях, так называемых барбеонов и Plug компьютеров. Предполагается, что они «энергоэффективнее», да и дешевле.

Основная проблема современных блоков питания персональных компьютеров – «нагревание воздуха», – низкий коэффициент полезного действия (КПД). Мощность современных блоков питания в зависимости от мощности компьютерной системы варьируется в пределах от 50 Вт (встраиваемые платформы малых формфакторов) до 1800 Вт (самые высокопроизводительные рабочие станции, серверы или геймерские машины).

Программа добровольной сертификации, стартовавшая в 2004 г., – 80 Plus – требовала повысить эффективность блоков питания с 70–75 %, по крайней мере, до 80 % при 20 %, 50 % и 100 % от номинальной нагрузки, и до 90 % или выше при 100% нагрузке [5]. Потом требования становились всё жестче. В 2012 г. компании Dell и Delta Electronics достигли уровня 80 Plus Titanium в источнике питания для серверов (рисунок 4).

80 Plus test type	115V internal non-redundant				230V internal redundant			
	10%	20%	50%	100%	10%	20%	50%	100%
80 Plus		80%	80%	80%				
80 Plus Bronze		82%	85%	82%		81%	85%	81%
80 Plus Silver		85%	88%	85%		85%	89%	85%
80 Plus Gold		87%	90%	87%		88%	92%	88%
80 Plus Platinum		90%	92%	89%		90%	94%	91%
80 Plus Titanium		90%	92%	90%		90%	94%	96%

Рисунок 4 – Требования 80 Plus Titanium для блоков питания ПК

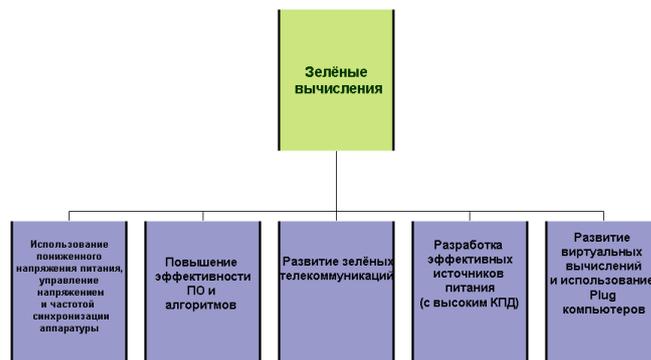


Рисунок 3 – Основные направления ЗВ

### Снижение энергопотребления аппаратного обеспечения компьютеров

Анализ доступных источников позволяет выделить следующие основные направления снижения энергопотребления аппаратного обеспечения (АО) ПК [1, 6–9] – рисунок 5.



Рисунок 5 – Основные технологии ЗВ относительно АО

Однако не следует забывать, что снижение напряжения питания снижает помехоустойчивость и увеличивает интенсивность сбоев. Поэтому предложен соответствующий показатель энергонадёжности (a new metric – the energy-reliability product) [8].

Снижение тактовой частоты увеличивает время выполнения алгоритмов, что может свести на нет экономию энергии.

То есть, как и всегда, «чудо-оружия» и панацеи нет и нужна вдумчивая, скрупулёзная оптимизация при применении всех этих методов «озеленения».

### Обеспечение энергоэффективности процессора

В начале микропроцессорной эры (40 лет с лишним тому назад) большинство процессоров использовали одно и то же напряжение и для процессора, и для схем ввода-вывода, они, как правило, работали при напряжении, равном 5 В, которое позже было снижено до 3,5 В или 3,3 В (в целях уменьшения потребляемой мощности) [6]. Тем не менее, один из первых микропроцессоров – 8080А имел даже три уровня питания: +5 В, –5 В, +12 В, и прошло несколько лет, пока не был разработан микропроцессор 8085 с одним уровнем питания +5 В.

Для повышения энергоэффективности процессоров используется технология уменьшения напряжения (Voltage Reduction Technology – VRT), в начале в портативных вариантах процессора Pentium еще в 1996 г. Далее два уровня напряжения использовались также и в процессорах для настольных систем, например, Pentium MMX был рассчитан на напряжение 2,8 В, а схемы ввода-вывода работали при напряжении 3,3 В [6]. Затем напряжение питания процессора (Mobile Pentium II) еще более снизили – до 1,6 В.

Теперь напряжение питания ядра процессора – от 1,0 В до 1,55 В и даже может быть меньше вольта – 0,98 В и 0,95 В! Память – 1,5 В и 1,35 В. Контроллеры – от 3,3 В до 2,5 В.

Как правило, в ПК имеются средства UEFI (Unified Extensible Firmware Interface) BIOS, которые позволяют менять значение напряжения ядра  $V_{core}$  вручную с шагом 0,005 В в диапазоне от 1 В до 2 В [6]. В настоящее время напряжения  $\pm 5$  В,  $\pm 12$  В, +3,3 В используются материнской платой. Для жестких дисков, оптических приводов, вентиляторов в настоящее время используются только напряжения +5 В и +12 В. Манипуляции с напряжением питания выполняют при так называемом «разгоне» процессора – увеличении его тактовой частоты выше номинальной (Overclocking). Соответственно есть и обратная операция – «торможение» (Underclocking), снижение тактовой частоты ниже номинальной.

В настоящее время для многоядерных процессоров используется технология PAIR (power aware interrupt routing – подача ядрам сигналов о прерываниях с учётом экономии энергии), которая при частичной нагрузке выбирает одно из включенных ядер для обработки всех прерываний, чтобы остальные ядра продолжали спать. Введена приоритезация

прерываний – обработка не требующих немедленной реакции событий может откладываться, пока какое-то из ядер не проснется [6]. Уровни напряжения питания процессора делят на повышенное (XE), нормальное, низкое (LV) и очень низкое (ULV).

Задается показатель теплоотвода (thermal design power, TDP, иногда thermal design point), указывающий требования к производительности системы охлаждения процессора. Компания AMD использует новую энергетическую характеристику под названием ACP (Average CPU Power, «средний уровень энергопотребления») процессоров при нагрузке [7].

Задают также сценарный уровень энергопотребления (Scenario design power, SDP) – уровень энергопотребления процессора, присущий наиболее распространённому сценарию рабочей нагрузки, температуры и частоты [8], он применяется компанией Intel только для своих процессоров серии Y, используемых в ультрабуках и планшетах. Компания AMD также начала использовать эту метрику для сравнения уровня энергопотребления некоторых своих процессоров с процессорами Intel [8].

Энергопотребление современных компьютерных систем определяется значениями токов питания в статическом и динамическом режиме функционирования. Энергопотребление в статическом режиме, определяемое токами утечки, зависит от размеров кристалла и используемых технологией его производства. Таким образом, энергопотребление в настоящее время более всего определяется тактовой частотой, чем она ниже – тем меньше энергии потребляет микросхема, но это приводит к падению производительности.

Метод динамического масштабирования напряжения и частоты (DVFS – Dynamic voltage and frequency scaling) используется для снижения динамического энергопотребления путём уменьшения напряжения питания или частоты [8] в соответствии с ACPI (Advanced Configuration and Power Interface – усовершенствованный интерфейс управления конфигурацией и питанием).

Сама схема тактирования занимает 20–40% общего потребления. Динамическую мощность можно уменьшить за счет уменьшения количества переключаемых элементов, например, путём блокировки некоторых компонентов.

Выявление неиспользуемых элементов и отключение их во время работы программы (стробирование) позволяет сэкономить 15–64% мощности потребления без существенного увеличения задержек или занимаемой площади на кристалле [9]. Такое отключение выполняют в настоящее время даже путем полного отключения питания блоков процессора.

Для оптимизации энергопотребления за счет системы команд предложены также RISP-процессоры с реконфигурируемым набором инструкций [10], ASIP-процессоры со специализированным набором команд, NISC-процессоры без набора инструкций, когда они создаются «на лету» под конкретное приложение. Отдельного рассмотрения заслуживают вопросы энергооптимизации конвейеров процессоров.

### **Обеспечение энергоэффективности памяти**

Для обеспечения энергоэффективности динамической оперативной памяти также используют снижение питающего напряжения. За последние годы энергопотребление оперативной памяти снизилось до 30% [11–13].

Напряжение питания DDR2 (double-data-rate four synchronous dynamic random access memory) – 1,8 В против 2,5 В ранее – DDR. Однако такое напряжение используется для «медленной» памяти, указано, что для обеспечения 800 МГц необходимо 2–2,2 В [11].

У DDR3 еще более уменьшено потребление энергии по сравнению с модулями DDR2, что обусловлено пониженным уже до 1,5 В напряжением питания ячеек памяти [12].

Снижение напряжения питания достигается за счет использования более тонкого техпроцесса (вначале был 90 нм, в дальнейшем 65, 50, 40 нм) при производстве микросхем и применения специальных транзисторов с двойным затвором Dual-gate, что способствует снижению токов утечки.

Существуют вариант памяти DDR3L (L означает Low) с еще более низким напряжением питания, 1,35 В, что меньше традиционного для DDR3 на 10 %. Время передачи бита в настоящее время – доли наносекунды!

В январе 2011 г. компания Samsung представила модуль DDR4. Техпроцесс составил 30 нм, объём памяти 2 ГБ, а напряжение 1,2 В! Минимальный объём одного модуля DDR4 составит 2 ГБ, максимальный – 128 ГБ.

Основное отличие DDR4 заключается в удвоенном до 16 числе банков, что позволило вдвое увеличить скорость передачи – до 3,2 Гбит/с. Пропускная способность памяти DDR4 достигает 34,1 ГБ/с (в случае максимальной эффективной частоты 4266 МГц, определённой спецификациями). Кроме того, повышена надёжность работы за счет введения механизма контроля четности на шинах адреса и команд [13]. Используется так называемое «расслоение» – многоканальная память, что увеличивает пропускную способность и, соответственно производительность ПК.

Ожидается, что использование памяти типа MRAM (magnetoresistive random-access memory) ещё более снизит энергопотребление. Такая память знаменует своего рода возврат на новом уровне к приснопамятным ФТЯ – феррит-транзисторным ячейкам.

Кэш-память, находящаяся во всех современных процессорах на ядре, – это самая быстрая память, в которую помещается информация, необходимая процессору. Первым делом процессор обращается к кэш-памяти 1-го уровня при отсутствии нужной информации, он обращается к кэш-памяти других уровней или берет ее из оперативной памяти.

Для снижения энергопотребления статической оперативной памяти – кэш-памяти – вводят буфер, чтобы брать данные из него напрямую без обращения к общему кэшу. Поскольку этот буфер относительно мал, то расход энергии существенно сокращается при условии, что обеспечивается достаточная частота попаданий [9]. Используется также метод отключения неиспользуемых уровней кэш памяти [9].

Что касается дисковой памяти, то меньшие форм-факторы (например, 2,5-дюймовый) жестких дисков приводят к потреблению меньшей энергии за гигабайт, чем физически больших дисков.

Переход на хранение данных в твердотельных накопителях также часто способствует снижению энергопотребления. Удалось снизить потребление энергии и эксплуатационные расходы центров обработки данных на 80% при одновременном увеличении производительности сверх того, что было достижимо посредством использования нескольких жестких дисков в Raid 0 [14].

Твердотельный накопитель (solid-state drive, SSD) компьютерное *немеханическое запоминающее устройство* на основе *микросхем памяти*. Кроме них, SSD содержит управляющий *контроллер*. Различают два вида твердотельных накопителей: основанных на *оперативной памяти*, и основанных на *флеш-памяти* [14].

С 2012 г. уже выпускаются твердотельные накопители со скоростью чтения и записи, во много раз превосходящие возможности *жестких дисков*. Они характеризуются относительно небольшими размерами и низким энергопотреблением. Однако, имеются и существенные недостатки, например, высокая стоимость проблемы восстановления информации и др.

Поэтому разработаны и так называемые *гибридные жесткие диски*. Такие устройства сочетают в одном устройстве *накопитель на жестких магнитных дисках (HDD)* и твердотельный накопитель относительно небольшого объема, в качестве *кэша* (для увеличения производительности и срока службы устройства, снижения энергопотребления).

В настоящее время твердотельные накопители используются не только в компактных устройствах: ноутбуках, нетбуках, коммуникаторах и смартфонах, но могут быть использованы и в стационарных компьютерах для повышения производительности [1].

Можно с уверенностью констатировать, что технологии памяти и обеспечения её энергоэффективности динамично развиваются, уже созданы экспериментальные образцы

эффективной нано-памяти порядка нескольких терабайтов, как говорится, следите за рекламой!

### Обеспечение энергоэффективности шин и устройств ввода-вывода

В связи с уменьшением размеров транзисторов практически до молекулярных параметров, определяющее значение приобретает энергопотребление соединительных проводников и задержки, вносимые ими [14]. В шинных соединениях рассеивается до трети всей потребляемой мощности [14].

Используют также уменьшение числа переключений шины путем кодирования (коды Хэмминга, Грея). Если передаются адреса, и они идут последовательно, то в дальнейшем может использоваться дополнительный разряд, а остальные разряды «замораживаются», иначе дополнительный разряд отключается и передаётся весь адрес. Кроме того, может использоваться сегментирование шины (по длине и по ширине), когда используется только активный сегмент, что обеспечивает и сокращение длины шины [14].

Предполагается также расширенное использование оптических связей, уменьшающих задержку и снижающих потери при передаче информации (преодоление «бутылочного горлышка» связей – interconnect bottleneck, введение Optical Network-on-Chip – ONoC).

Переход с ЭЛТ-мониторов на ЖК-мониторы также способствовал энергосбережению. Кроме того, ЭЛТ содержат значительные количества свинца. ЖК-мониторы, как правило, используют люминесцентные лампы. Некоторые новые дисплеи используют массив светоизлучающих диодов (LED), что уменьшает количество требуемой электроэнергии. Быстрый графический процессор может быть самым большим потребителем электроэнергии в компьютере. Поэтому разрабатываются технологии не только увеличения производительности, но и энергоэффективности, например, новая версия DirectX (Intel и Microsoft) также будет способствовать снижению уровня энергопотребления системы при сохранении высокой производительности в 3D.

### Энергоменеджмент

Кроме «метрических» стандартов на материнские платы, в последние годы активно вводятся стандарты энергоэффективности. Так, Евросоюз сформулировал требования по энергоэффективности – ErP (Energy-related Products) и EuP (Energy Using Product). По требованию ErP/EuP, система в выключенном состоянии должна потреблять менее 1 Вт энергии. Требования ErP/EuP 2.0 (вступили в действие в 2013 г.) полное энергопотребление компьютера в выключенном состоянии не должно превышать 0,5 Вт.

EPU Engine [16–18] – (Energy Processor/Processing Unit) – программно-аппаратная энергосберегающая технология, разработанная компанией ASUSTeK Computer (ASUS) и предназначенная для регулирования энергоснабжения компонентов персонального компьютера. EPU Engine присутствует на большинстве материнских плат производства ASUS, начиная с 2008 г., и позволяет динамически регулировать количество электроэнергии, потребляемой компонентами персонального компьютера.

EPU-4 Engine поддерживает четыре компонента – CPU, видеокарту, носитель информации и кулер. EPU-6 Engine поддерживает шесть компонентов: центральный процессор (CPU), чипсет, оперативную память, видеокарту, носитель информации (как правило, жёсткий диск), процессорный кулер.

EPU Engine использует специальную микросхему EPU (рисунок 6), которая встроена в материнскую плату и представляет собой ШИМ-контроллер (ШИМ – широтно-импульсная модуляция) и динамически регулирует число активных каналов питания центрального процессора (CPU) в зависимости от его нагрузки.

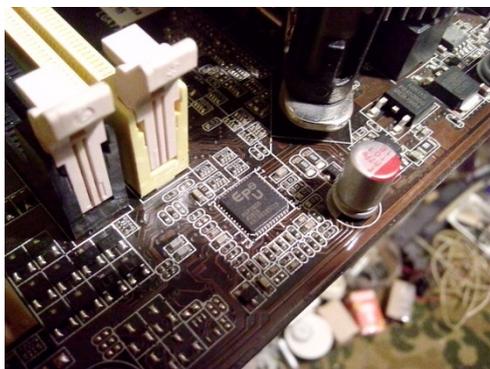


Рисунок 6 – Микросхема EPU на материнской плате ASUS P5Q SE

Также EPU может изменять частоту системной шины и множители процессора, уменьшая частоту FSB (Front Side Bus – шина, обеспечивающая соединение между x86-совместимым центральным процессором и внутренними устройствами) ниже штатной и снижая до минимума множители в моменты низкой загрузки CPU, а также слегка разгоняя процессор при ее нарастании. Причем интервалы изменения частот можно изменять, а также можно настроить несколько режимов пониженного энергопотребления или разгона, чтобы потом быстро переключаться между ними.

Кроме центрального процессора микросхема EPU способна изменять режимы питания других компонентов ПК. На программном уровне EPU Engine представлена утилитой, которая взаимодействует с микросхемой EPU. В настройках утилиты можно указать режимы энергопотребления, их конфигурации. Так, для режимов можно выставить интенсивность снижения напряжения питания того или иного компонента.

При самом энергоэффективном режиме энергопотребления EPU-6 Engine может снизить частоту процессора до 30%, а его напряжение питания – до 40%. Частота оперативной памяти уменьшается на 30–40% от номинальной частоты. Системная шина между процессором и чипсетом может уменьшить частоту до 10–50% в зависимости от модели процессора. Жесткие диски отключаются, вся необходимая для работы информация хранится в оперативной памяти. Если возникает необходимость в информации из жестких дисков, то они переводятся в номинальный режим работы за 3–5 сек. Видеокарта работает в режиме повышенной экономии энергии, по заявлениям ее энергопотребление снижается на 37% от номинального значения. Процессорный кулер переходит в бесшумный режим [16].

В 2010 г. ASUS представила новую технологию «Dual Intelligent Processors» [19], которая, согласно анонсу, может «мгновенно» ускорить ПК на 37% или уменьшить его энергопотребление на 80%. Эта технология на аппаратном уровне реализуется двумя чипами, «TurboV Processing Unit» (TPU) и EPU, которые отвечают за разгон и энергоэффективность соответственно (рисунок 7).

Ultra Durable (версии 1, 2 и 3) – технология от тайваньской компании Gigabyte, призванная улучшить температурный режим и надежность работы материнской платы за счёт новой технологии, которая, например, обеспечивает удвоенную толщину медных слоев толщиной, как для слоя питания, так и для слоя заземления системной платы, что снижает полное сопротивление платы на 50%.

ACPI (Advanced Configuration and Power Interface – усовершенствованный интерфейс управления конфигурацией и питанием) – открытый промышленный стандарт, впервые выпущенный в декабре 1996 г. и разработанный совместно компаниями HP, Intel, Microsoft, Phoenix и Toshiba, который определяет общий интерфейс для обнаружения АО, управления питанием и конфигурации материнской платы и устройств [20].

ACPI выделяет следующие основные состояния «системы в целом» [20]. Глобальные состояния:

- G0 (S0) (Working) – нормальная работа;

- G1 (Suspend, Sleeping, Sleeping Legacy) – машина выключена, однако текущий системный контекст (system context) сохранён, работа может быть продолжена без перезагрузки. Для каждого устройства определяется «степень потери информации», а также где информация должна быть сохранена и откуда будет прочитана при пробуждении и время на пробуждение;

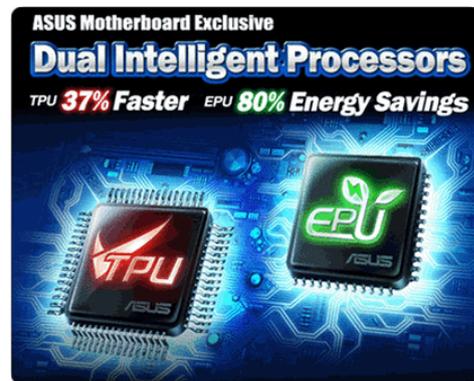


Рисунок 7 – Микросхемы для технологии «Dual Intelligent Processors» (ASUS)

- G2 (S5) (soft-off) – мягкое (программное) выключение; система полностью остановлена, но под напряжением, готова включиться в любой момент. Системный контекст утерян;

- G3 (mechanical off) – механическое выключение системы; блок питания отключен.

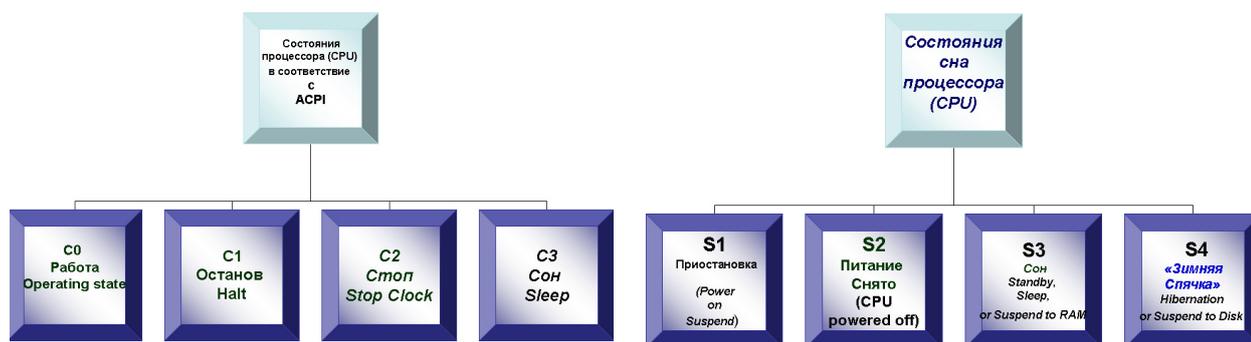


Рисунок 8 – Четыре состояния функционирования процессора

Рисунок 9 – Состояния «сна» процессора

Выделяют четыре состояния функционирования процессора (от C0 до C3) [20] (рисунок 8).

- C0 – оперативный (рабочий) режим;
- C1 (Halt) – состояние, в котором процессор не исполняет инструкции, но может незамедлительно вернуться в рабочее состояние;
- C2 (Stop Clock) – состояние, в котором процессор обнаруживается приложениями, но для перехода в рабочий режим требуется время;
- C3 (Sleep) – состояние, в котором процессор отключает собственный кэш, но готов к переходу в другие состояния.

Выделяют четыре состояния сна [20] (рисунок 9):

1) S1 – состояние, при котором все процессорные кэши сброшены и процессоры прекратили выполнение инструкций. Однако питание процессоров и оперативной памяти поддерживается; устройства, которые не требуются, могут быть отключены;

2) S2 – дополнительное более глубокое состояние сна, чем S1, когда центральный процессор отключен, обычно пока не используется;

3) S3 («Suspend to RAM») (STR) в BIOS, «Ждущий режим» (Standby) – в этом состоянии на оперативную память (ОЗУ) продолжает подаваться питание, и она остается практически единственным компонентом, потребляющим энергию. Так как состояние операционной системы и всех приложений, открытых документов и т.д. хранится в оперативной памяти, пользователь может возобновить работу точно на том месте, где он ее оставил – состояние оперативной памяти при возвращении из S3 то же, что и до входа в этот режим. S3 имеет два преимущества над следующим S4: первое, компьютер быстрее возвращается в рабочее состояние, и, второе, если запущенная программа (открытые документы и т.д.) содержит конфиденциальную информацию, то эта информация не будет принудительно записана на диск. Однако дисковые кэши могут быть сброшены на диск для предотвращения нарушения целостности данных в случае, если система не просыпается, например, из-за сбоя питания;

4) S4 («Спящий режим» (Hibernation) в Windows, «Safe Sleep» в Mac OS X, также известен как «Suspend to disk») – в этом состоянии все содержимое оперативной памяти сохраняется в энергонезависимой памяти, такой как жесткий диск: состояние операционной системы, всех приложений, открытых документов и т.д. Это означает, что после возвращения из S4, пользователь может возобновить работу с места, где она была прервана, аналогично режиму S3. Различие между S4 и S3, кроме дополнительного времени на перемещение содержимого оперативной памяти на диск и назад, в том, что перебои с питанием компьютера в S3 приведут к потере всех данных в оперативной памяти, включая все несохраненные документы, в то время как компьютер в S4 этому не подвержен.



Рисунок 10 – Масштабирование рабочих состояний процессора

питания и частоты синхронизации показано на рисунке 10.

Международная инициатива – рейтинг Green500 оценивает суперкомпьютеры по показателю MFLOPS/W исходя из количества электроэнергии, необходимого для выполнения фиксированного набора задач [21] (рисунок 11).

Некоторые результаты представлены на рисунке 12.

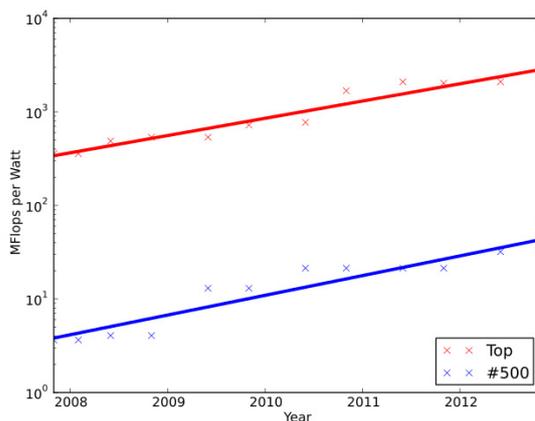


Рисунок 12 – Рейтинг Green500

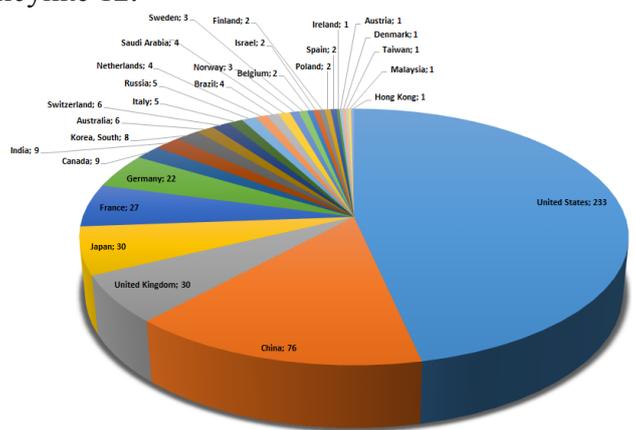
Выделяют также четыре состояния функционирования других устройств (монитор, модем, шины, сетевые карты, видеокарта, диски, флоппи и т.д.) – от D0 до D3:

- D0 – полностью рабочее (оперативное) состояние, устройство включено;
- D1 и D2 – промежуточные состояния, активность определяется устройством;
- D3 – устройство выключено.

Масштабирование рабочих состояний процессора по используемому напряжению



Рисунок 11 – Международная инициатива – рейтинг Green500



Supercomputer Share by Countries (June 2014)  
Source: www.top500.org

В настоящее время на первом месте – TSUBAME-KFC-GSIC1 (Токийский технологический институт) с 4,503 MFLOPS/W и общим энергопотреблением 27,78 кВт. К сожалению, в этом топе РФ представлена всего пятью (!) суперкомпьютерами.

### «Зеленые» наука и образование

В настоящее время направление «зеленых» вычислений активно развивается, проводятся масштабные научно-технические конференции [22–23]. Здесь следует упомянуть оптокомпьютинг или оптоинформатику [24], поскольку использование оптической обработки информации (оптокомпьютинг, фотоника и фотонные микросхемы), использования оптических сетей на уровне электронного кристалла ONoC также могут быть отнесены к зеленому компьютеру. Однако уже существующие сейчас фотонные микросхемы, например, в навигации, по существу пока используют аналоговую обработку информации с последующим преобразованием в электронную форму.

Проектирование микромощных устройств производства и обработки информации (Low Power Design – LPD) является одним из приоритетных направлений современной микроэлектроники [25]. Методы LPD включают совершенствование технологии (сниже-

ние паразитных емкостей за счет уменьшения размеров и снижение питающих напряжений за счет уменьшения пороговых напряжений), оптимизацию топологических размеров, разработку энергетически эффективной архитектуры больших БИС и ультрабольших интегральных схем УБИС, использование новой схемотехники [26].

Большие перспективы, как ожидается, имеет адиабатическая или термодинамически обратимая логика – АТОЛ (Adiabatic circuits) [25]. Такие схемы используют передачу накопленной энергии обратно к источнику, что основано на возможности возврата в систему энергии, затраченной на производство информации, и ее повторного использования для последующих вычислений. Практическая реализация адиабатических устройств производства информации требует создания не только соответствующей элементной базы (адиабатических базовых вентилях – логических элементов), но и адиабатических источников питания [26].

Продвигается также самосинхронная схемотехника, одной из особенностей которой является, помимо повышенного быстродействия, устойчивая работа при сверхнизком напряжении питания [27]. Это направление развивает институт проблем управления (ИПИ) РАН – группа Ю.А. Степченкова. Уже имеются примеры соответствующих микросхем. Так, компания Epsilon заявляет 70% снижение энергопотребления по сравнению с синхронной схемотехникой.

Развиваются также некоторые другие технологии, учитывающие упомянутый выше принцип энергонадежности (energy-reliability) в соответствии с предлагаемым принципом «зелёной» логики [28–33]. Так активно развивается научное направление «зелёных» программируемых логических интегральных микросхем – ПЛИС [34].

Имеются также соответствующие образовательные программы – магистерские и аспирантские, например, в Австралийском Национальном университете, в университете Атабаски (Канада), в Метрополитен университете (Великобритания) и др. [1]. Таким образом, речь идёт о «зеленой» инженерии – Green IT-engineering и даже об энергетической «сознательности» – Energy\_Awareness! Имеются также обширные интернет – ресурсы в этой области (например, [35–36]).

В 2012 г. на Украине, в Харьковском национальном исследовательском аэрокосмическом университете (Харьковском авиационном институте ХАИ) под эгидой ЕС и университета Нью-Касла (Великобритания) успешно дан старт международному проекту «Fostering Innovations on Green Computing and Communications TEMPUS GreenCo project «Технологии зеленых вычислений», финансируемому ЕС (Project Number: 530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR Grant Holder: University of Newcastle upon Tyne (UK)) [37] (рисунок 13).



**Рисунок 13 – Эмблема TEMPUS GreenCo project**

подавателей и распространение результатов выполнения проекта и запуск пилотного образовательного процесса.

Программа TEMPUS использует широкое международное партнерство – Великобритания (Университет Ньюкасла проф. К. Филипс – координатор, Лидс Метрополитен университет), Украина (Харьковский Авиационный институт (Харьковский Авиационный университет), национальный координатор Заслуженный изобретатель Украины проф. В.С. Харченко, Одесский национальный политехнический университет, Ужгородский национальный университет, Институт моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАНУ МОН), Греция (университет Иоанния), Италия (институт информационных наук и техноло-

Целями являются создание центров переподготовки специалистов и подготовки аспирантов и магистров в области «зелёных» вычислений на основе разработки соответствующих учебных программ. Предполагается разработать 4 магистерских и 7 аспирантских дисциплин. Готовятся к публикации соответствующие учебные пособия, планируется закупка оборудования. Планируется также переподготовка пре-

гий), Словакия (университет Жилины), Россия (Саратовский государственный университет им. Н. Чернышевского, Саратовский институт точной механики и проблем управления, Белгородский государственный технический университет им. В. Шухова, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Северо-Кавказский федеральный университет – Ставрополь) и др.

Основными направлениями исследований являются: создание энергоэффективного аппаратного (в том числе разработка ПЛИС типа FPGA – Green FPGA) и программного обеспечения, проблемы энергосбережения в информационно-коммуникационных технологиях, мобильные приложения, «зелёные» высокопроизводительные системы, Гар-анализ Green IT (гар – разрыв между текущим состоянием и желаемым), «зелёные» управляющие системы, Green робототехника, Green IT-технологии в системах жизнеобеспечения и др.

### **Выводы**

Таким образом, «зеленая» волна растет и ширится. Следует ожидать ужесточения соответствующих стандартов и государственного регулирования в этой области.

Современные энергосберегающие технологии компьютеров используют в качестве основного – принцип динамического масштабирования напряжения и тактовой частоты в зависимости от ситуации. Широко используются состояния «сна», которые, так же как и другие состояния, стандартизируются.

Перспективными технологиями являются оптические (фотонные) технологии, технологии создания микромощных устройств производства и обработки информации (LPD), например, изготовления специальных транзисторов 3D tri-gate transistors, которые уже используются в процессоре Haswell фирмы Интел.

Особый интерес вызывает адиабатическая или термодинамически обратимая логика – АТОЛ, а также самосинхронная (self timed) схемотехника, которые пока широко не применяются, но, видимо, их звездный час уже близится.

Тем не менее, пока относительно немногие источники подчёркивают необходимость учёта надёжности, которая входит в противоречие с требованиями снижения логических уровней – целесообразно использовать более «тонкий» показатель энергонадёжности (the energy-reliability product).

Международный образовательный проект ТЕМПУС продвигает «зеленую» тематику, по которой уже есть курсы в зарубежных университетах, в университеты России и Украины. Вероятно, соответствующие «зелёные» дисциплины в скором времени будут преподаваться не только для аспирантов и магистров, но и для специалистов и бакалавров.

### **Литература:**

1. Что такое зеленые вычисления или зеленые информационные технологии. URL: <http://nature-time.ru/2014/07/zelenyie-vyichisleniya-ili-zelenyie-informatsionnyie-tehnologii/> (дата обращения 21.10.14 г.)

2. San Murugesan, «Harnessing Green IT: Principles and Practices» IEEE IT Professional, January–February. 2008. P. 24–33.

3. Donnellan, Brian and Sheridan, Charles and Curry, Edward (Jan–Feb 2011). «A Capability Maturity Framework for Sustainable Information and Communication Technology». IEEE IT Professional 13 (1). P. 33–40.

4. [http://www.tadviser.ru/index.php/Статьи:IEEE\\_802.3az\\_-\\_Energy\\_Efficient\\_Ethernet](http://www.tadviser.ru/index.php/Статьи:IEEE_802.3az_-_Energy_Efficient_Ethernet) (дата обращения 02.11.14 г.)

5. 80 Plus. – URL: [http://www.nix.ru/support/faq/show\\_articles.php?number=684&faq\\_topics=Plus](http://www.nix.ru/support/faq/show_articles.php?number=684&faq_topics=Plus) (дата обращения 29.10.14 г.)

6. Устройство процессоров Intel Ivy Bridge. URL: <http://www.ixbt.com/cpu/ivy-bridge-architecture-2.shtml> (дата обращения 25.10.14 г.)

7. Handbook of Energy-Aware and Green Computing – Two Volume Set. URL: <http://www.crcpress.com/product/isbn/9781466501164>. (дата обращения 26.10.14 г.)

8. The Green Computing Book: Tackling Energy Efficiency at Large. URL: [http://www.crcpress.com/product/isbn/9781439819876?source=crcpress.com&utm\\_source=product\\_page&utm\\_medium=website&utm\\_campaign=RelatedTitles](http://www.crcpress.com/product/isbn/9781439819876?source=crcpress.com&utm_source=product_page&utm_medium=website&utm_campaign=RelatedTitles). (дата обращения 26.10.14 г.)
9. Архитектуры малопотребляющих процессоров и способы оптимизации энергопотребления. URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2192/doc/52461/> (дата обращения 26.10.14 г.)
10. *Каляев А.В.* Микропроцессорные системы с программируемой архитектурой. М.: Радио и связь, 1984. 240 с.
11. Оперативная память DDR2 SDRAM. URL: <http://www.ixbt.com/mainboard/ram-faq-2006.shtml> (дата обращения 26.10.14 г.)
12. Оперативная память DDR3. URL: [http://perm.blizko.ru/predl/computer/computer/accessority/operativnaya\\_pamyat/DDR3](http://perm.blizko.ru/predl/computer/computer/accessority/operativnaya_pamyat/DDR3) (дата обращения 27.10.14 г.)
13. Оперативная память DDR4. URL: <http://faqhard.ru/articles/4/11.php> (дата обращения 27.10.14 г.)
14. Материнская плата. URL: <http://www.thg.ru/mainboard/> (дата обращения 27.10.14 г.)
15. DirectX 12 повысит энергоэффективность совместимых графических решений. URL: <http://www.3dnews.ru/900110/?feed> (дата обращения 29.10.14 г.)
16. EPU Engine. URL: <http://admindoc.ru/121/ePU-6-part1/> (дата обращения 27.10.14 г.)
17. IT energy management. URL: <http://www.scotthyoung.com/blog/2006/07/14/energy-management/> (дата обращения 29.10.14 г.)
18. Central processing unit power dissipation. URL: [http://www.cpu-world.com/Glossary/M/Minimum\\_Maximum\\_power\\_dissipation.html](http://www.cpu-world.com/Glossary/M/Minimum_Maximum_power_dissipation.html) (дата обращения 29.10.14 г.)
19. ASUS Dual Intelligent Processors ускоряет работу ПК и позволяет экономить энергию. URL: <http://www.ferra.ru/ru/system/news/2010/07/05/asus-dual-intelligent-processors-uskoryaet-rabotu-pk-i-razvolyaet-ekonomit-energiyu/> (дата обращения 07.11.14 г.)
20. Advanced Configuration and Power Interface (ACPI). URL: <http://www.acpi.info/> (дата обращения 07.11.14 г.)
21. Green500. URL: <http://www.green500.org/> (дата обращения 07.11.14 г.)
22. International Conference on Energy Aware Computing (ICEAC) 2011. URL: <http://www.bvents.com/event/401773-international-conference-on-energy-aware-computing-iceac> (дата обращения 25.10.14 г.)
23. The International Conference on Green Computing, Intelligent and Renewable Energies (GCIRE2015). URL: <http://www.clocate.com/conference/The-International-Conference-on-Green-Computing-Intelligent-and-Renewable-Energies-GCIRE2015/47730/> (дата обращения 26.10.14 г.)
24. Оптоинформатика. URL: <http://edu.glavsprav.ru/spb/vpo/journal/506/> (дата обращения 26.10.14 г.)
25. Adiabatic circuits. URL: <http://www.adv-radio-sci.net/1/247/2003/ars-1-247-2003.pdf> (дата обращения 02.11.14 г.)
26. *Лосев В.В.* Исследование и разработка элементной базы цифровых устройств обработки информации на основе принципа термодинамической обратимости. URL: <http://tekhnosfera.com/issledovanie-i-razrabotka-elementnoy-bazy-tsifrovyyh-ustroystv-obrabotki-informatsii-na-osnove-printsipa-termodinamicheskoy-obratimosti> (дата обращения 02.11.14 г.)
27. *Соколов И.А.* и др. Самосинхронная схемотехника – перспективный путь реализации аппаратуры / И.А. Соколов, Ю.А. Степченко, В.С. Петрухин [и др.]. URL: <http://uchebana5.ru/cont/1639604.html> (дата обращения 02.11.14 г.)
28. *Tyurin S.F.* Retention of Functional Completeness of Boolean Functions under «Failures» of the Arguments (1999) Automation and Remote Control 60 (9 PART 2). P. 1360–1367.
29. *Tyurin S.* Redundant Bases for Critical Systems and Infrastructures General Approach and Variants of Implementation [Text] / S. Tyurin, V. Kharchenko // Proceedings of the 1st International Workshop on Critical Infrastructures Safety and Security, Kirovograd, Ukraine 11–13, May, 2011 / V. Kharchenko, V. Tagarev (eds). Vol. 2. 2011. P. 300–307.
30. *Tyurin S.F., Grekov A.V., Gromov O.A.* The Principle of Recovery Logic FPGA for Critical Applications by Adapting to Failures of Logic Elements (2013) World Applied Sciences Journal 26 (3). P. 328–332. URL: 10.5829/idosi.wasj.2013.26.03.13474
31. *Tyurin S.F., Gromov O.A.* A residual basis search algorithm of fault-tolerant programmable logic integrated circuits (2013) Russian Electrical Engineering 84 (11). P. 647–651. URL: 10.3103/S1068371213110163

32. *Kamenskih A.N., Tyurin S.F.* Application of Redundant Basis Elements to Increase Self-timed circuits Reliability Proceedings of the 2014 IEEE North West Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRusNW, 2014.

33. *Шалтырев В.А.* Средства и методы повышения производительности и снижения энергопотребления систем на кристалле, реализуемых на базе программируемых логических интегральных схем: дис. ... канд. технич. наук: 05.13.05 / Шалтырев Владимир Алексеевич. [Место защиты: Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ»]. М., 2009. 149 с.: ил. РГБ ОД, 6110–5/537

34. Green it is as much about people as it is about technology! URL: <http://ygreenit.wordpress.com/> (дата обращения 26.10.14 г.)

35. Green Team for Green IT URL: <http://greenteamforgreenit.blogspot.com.es/> (Дата обращения 26.10.14 г.)

36. Зеленый компьютеринг и коммуникации. URL: [http://csn.khai.edu/projects/-/asset\\_publisher/9yWh0PD4WOL9/content/tempus-greenco](http://csn.khai.edu/projects/-/asset_publisher/9yWh0PD4WOL9/content/tempus-greenco) (дата обращения 30.10.14 г.)

### Green wave

*Sergey Tyurin, professor, professor of the pulpit of the automation and tele mechanical engineers, Perm national research polytechnic university*

*Yuri Alyaev, assistant professor, assistant professor of the pulpit mathematicians and naturally-scientific discipline, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Permskiy branch)*

*They are analysed main purposes, directions and technologies «green», energy saving calculations, under investigation in International educational project TEMPUS. In a short time with big share of probability «green» discipline will be taught in university not only for graduate students and masters, but also for specialists and bachelors.*

*The Keywords: green computing – «green» calculations, scaling the voltage and frequencies, energy saving, energy efficient to technologies in the field of computing, processor, memory, formation and science, international project TEMPUS.*

УДК 165.12

## КОНВЕРГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОЗНАНИЯ

*Елена Александровна Никитина, д-р филос. наук, проф.*

*E-mail: [nikitina@mirea.ru](mailto:nikitina@mirea.ru)*

*Московский государственный технический университет радиотехники,  
электроники и автоматики*

*<http://www.mirea.ru>*

*Вступление передовых стран в общество, основанное на знаниях, развитие конвергентных технологий (нано-, био-, информационных, когнитивных и социальных технологий) свидетельствуют о формировании качественно иного уровня проектно-конструктивной деятельности человека и возрастании роли субъекта. В статье исследуется проблема единства индивидуального, коллективного (микросоциального) и социального (макросоциального) субъектов в аспекте растущей информатизации общества и автоматизации интеллектуальной деятельности человека.*

*Ключевые слова: конвергентные технологии, эпистемологии, познание, субъект, информационные технологии.*

Создание общества и экономики, основанных на знаниях, конвергентное развитие технологий влияют на гецивилизационные, геоэкономические процессы, существенно меняют жизненный мир человека [1, 2]. Обостряются проблемы, связанные с совершенствова-