

УДК 004.45+519.22

И. Б. ТУРКИН, А. В. ВДОВИТЧЕНКО, С. С. АЛЬ-КХШАБ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ПРИНЦИПЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ**

В статье отражено текущее состояние проблемы использования энергоресурсов, рассматриваются принципы экологических информационных технологий. Выделены основные стандарты, регулирующие сферу энергопотребления компьютерной техники. Показаны средства управления энергопотреблением на аппаратном и программном уровне. Рассмотрено текущее состояние возможности управления режимами энергопотребления в ОС Windows, где можно выделить три основные схемы энергопотребления: высокая производительность, сбалансированная, энергосберегающая. Рассмотрены основные принципы планирования экспериментальных исследований зависимости производительности вычислительной системы от потребляемой энергии. Для проведения эксперимента выбраны следующие инструментари: PCMark 7 – интегральный тест всех подсистем компьютера и Joulemeter – профилировщик, использующий метрики производительности для оценки затраченной энергии. В результате эксперимента получены зависимости производительности вычислительной системы от потребляемой энергии. Данные зависимости являются базой для разработки рекомендаций по использованию существующих схем электропитания в зависимости от решаемой прикладной задачи.

Ключевые слова: вычислительная система, производительность, энергосберегающая технология, эксперимент, режимы электропитания, энергетический профилировщик, компьютерный бенчмарк.

Введение

Воздействие информационных технологий на окружающую среду может быть как положительным, так и отрицательным. Задачи Green IT направлены на содействие положительным экологическим эффектам и сведение к минимуму негативных последствий. Среди достаточно эффективных средств минимизации таких последствий выделим программы Energy Star [1], стандарт управления питанием и конфигурацией ACPI (Advanced Configuration and Power Interface), стандарт на источники питания – 80 PLUS, сертификацию EPEAT (Electronic Products Environmental Assessment Tool), директиву RoHS (Restriction of Hazardous Substances), набор эталонных тестов для оценки экологической безопасности электронных устройств – PC Magazine Green Tech Approved и т.д.

В то же время вычислительные системы имеют широкий спектр воздействий на энергопотребление, которое зависит от вида решаемых задач. Такие метрики, как потребляемая мощность, время, производительность, должны быть тщательно проанализированы для удовлетворения соотношения потребления энергии и производительности. Когда некоторые параметры фиксируются во время проектирования вычислительных систем, другие, такие как производительность и энергопотребление могут динамически изменяться во время выполнения. Данные

возможности уже реализованы в современных операционных системах, но сами механизмы остались не доступны. Те, что известны, в малой степени зависят от вида решаемой прикладной задачи.

Обзор публикаций

Эффективное использование энергии в вычислительной системе достигается согласованной работой трех уровней.

На аппаратном уровне применяются технологии контроля энергопотребления и рабочих характеристик SmartReflex [2].

На уровне ОС существуют перспективные разработки новых принципов управления, например:

– ресурсоориентированная архитектура ОС (Nemesis) [3];

– проект GRACE (Global Resource Adaptation through Cooperation), реализующий трехуровневую адаптацию [4];

– framework ECOSystem, обеспечивающий управление энергией на уровне ОС в 2 плоскостях: устройств и приложений [5];

– ОС Odyssey, обеспечивающая инициирование и управление приложениями с учетом доступности ресурсов и требуемого качества мультимедийных данных [6].

На уровне отдельных приложений – распараллеливание задачи, уменьшение количества систем-

ных вызовов, объединение операций работы с ресурсами, минимизация использования оперативной памяти, адаптация под текущий источник питания, перенос вычислительной нагрузки в облако и т.д [7].

Современные операционные системы обладают функциями, которые отслеживают работу системы и отключают некоторые элементы с высоким энергопотреблением, когда они не используются (переводят их в режим ожидания), после чего переводят в режим приостановки с низким энергопотреблением, если бездействие продолжается.

В ждущем режиме выключается питание жесткого диска, монитора и большинства периферийных устройств, а также (если это поддерживается) снижается энергопотребление процессора. При этом компьютер продолжает работать, рабочие данные находятся в оперативной памяти.

Спящий режим – это режим пониженного потребления электроэнергии, который позволяет быстро возобновить работу в режиме обычного потребления энергии (обычно в течение нескольких секунд) по требованию пользователя. В спящем режиме содержимое ОЗУ записывается в файл на жестком диске, после чего система полностью выключается. Во время перезапуска системы функция считывает содержимое файла спящего режима обратно в память, и обычная работа возобновляется с места своего приостанова. Перевод компьютера в спящий режим напоминает нажатие кнопки Пауза на проигрывателе: компьютер немедленно останавливает все операции и в любой момент готов к продолжению работы. Восстановление из спящего режима происходит значительно быстрее, чем обычная загрузка, что позволяет экономить заряд батарей переносных компьютеров. При разрешении использования спящего режима в корневой папке раздела, на котором установлена система, создается скрытый файл, размер которого равен размеру оперативной памяти: в этот файл сохраняется ОЗУ системы при переходе в спящий режим.

Операционные системы Windows (XP, Vista, 7, 8) имеют схему управления питанием – набор аппаратных и системных параметров, с помощью которых осуществляется управление процессом потребления электроэнергии компьютером. Схемы управления питанием можно использовать для экономии потребляемой электроэнергии, повышения производительности компьютера или для обеспечения баланса между тем и другим.

Начиная с Windows 7, доступны следующие три предустановленные схемы электрического питания:

- схема с высокой производительностью;
- сбалансированная;
- энергосберегающая.

Каждая схема питания предназначена для своей целевой группы объектов различных применений. Возможно простое переключение между различными схемами управления питанием для обеспечения компромисса между производительностью и энергопотреблением. По умолчанию установлен сбалансированный режим, поскольку он реализует динамическое масштабирование производительности в зависимости от требований текущей рабочей нагрузки. Режим энергосбережения предназначен для максимизации экономии энергии и хорошо подходит для увеличения времени автономной работы в мобильных ПК. План электропитания с высокой производительностью отключает динамическое масштабирование производительности в соответствии с рабочей нагрузкой и вместо этого предоставляет уровни постоянного повышения производительности при соответствующем росте энергопотребления.

Обобщая изложенное выше, можно утверждать, что, несмотря на возможности, предоставляемые современными аппаратно-программными платформами, в доступных публикациях в недостаточном объеме рассматривается вопрос экспериментальных исследований зависимости производительности вычислительной системы от потребляемой энергии. Поэтому цель работы – показать принципы планирования экспериментальных исследований зависимости производительности вычислительной системы от потребляемой энергии.

Выбор нагрузочного приложения

По мере развития вычислительных систем и появления технологий распараллеливания задач между несколькими вычислительными узлами, все большее количество задач стали решаться с использованием высокопроизводительных систем и чаще стал возникать вопрос энергоэффективности. Возникла потребность в определении производительности и потреблении энергии вычислительных комплексов и создании механизма, позволившего максимально объективно сравнивать эти показатели относительно друг друга.

Выделим три разновидности тестов, пригодных для определения производительности и потреблении энергии вычислительных комплексов.

1. Синтетические тесты (synthetic benchmarks) представляют собой наборы программ, с помощью которых воспроизводится типовая рабочая нагрузка процессора. К синтетическим относится множество тестов, среди которых тесты Whetstone [8], Dhrystone [9] и LINPACK [10]. Тест Whetstone был предложен командой исследователей H. J. Curnow и B. A. Wichmann из Британской национальной физи-

ческой лаборатории в 1976 г. Они презентовали набор программ для измерения производительности вычислительных систем. Тест Whetstone представляет из себя набор синтетических тестов, разработанных с использованием экспериментальных статистических данных распределения инструкций промежуточного уровня компилятора Whetstone Algol.

2. Прикладные алгоритмы. Вместо того чтобы создавать искусственный тест, можно использовать реальное приложение (application benchmarks). Такой подход исключает необходимость создания специального тестового кода, однако требует определенных усилий. Для получения существенных результатов необходимо определить условия тестирования, например используемые для теста исходные данные.

3. Гибридные методы тестирования. Перечисленные типы тестов не являются единственно возможными. Например, имеется возможность построения теста, сочетающего базовые и прикладные алгоритмы. Примером такого подхода могут служить тесты реализации видеокодирования компании BDTI (BDTI Video Encoder and Decoder Benchmarks). Однако часто такой тип тестов обладает не самыми лучшими качествами базовых и прикладных алгоритмов: он довольно объемный, его сложно реализовать и, кроме того, возникают трудности при представлении его результатов в виде реальных рабочих показателей системы.

Количество бенчмарков с каждым днём растёт. Тем не менее, общепризнанными являются лишь несколько десятков из них, на результатах которых часто базируются рейтинги производительности тех или иных компьютерных компонентов:

– LavaLys Everest тестирование подсистем ALU и FPU процессора, кэша, пропускной способности памяти, скорости работы жёсткого диска;

– 3DMark тест, используемый для определения производительности компьютера в игровой трёхмерной графике;

– PCMark интегральный тест всех подсистем компьютера.

PCMark – название серии компьютерных бенчмарков, разработанных финской компанией Futuremark, которая спроектирована для тестирования следующих компонентов персонального компьютера: центральный процессор, материнская плата, оперативная память, винчестер. Программы серии PCMark тестируют стабильность и производительность работы процессоров, скоростные характеристики и пропускную способность оперативной и постоянной памяти, а также множество других характеристик компьютерных компонентов. Для тестирования используются различные тесты, как син-

тетические, нагружающие определённые блоки компьютера, так и прикладные, например архивация данных, кодирование и декодирование аудио и видео, производительность физического движка и т. д.

Для использования PCMark-7 рекомендованы следующие параметры системы:

| | |
|---------------------|---|
| ОС: | Windows 7 Home Premium или выше |
| Процессор: | 1 ГГц или быстрее 32-разрядный (x86) или 64-разрядный (x64) процессор |
| Память | 1 Гб для x86 систем или 2 Гбайт для систем x64 |
| Графика: | DirectX 11 совместимый графический адаптер |
| Разрешение дисплея: | 1280x1024 разрешение |
| Жесткий диск: | 10 Гб свободного пространства, файловая система NTFS. |

Для экспериментальной оценки зависимости производительности вычислительной системы от потребляемой энергии выбран LightWeight Test (Легкий тест) (рис. 1), который содержит коллекцию нагрузок для измерения характеристик систем с невысокой производительностью, таких как, персональные компьютеры начального уровня, планшеты и ноутбуки, то есть систем, которые редко применяются для запуска вычислительно тяжелых приложений.

Выбор энергетического профилировщика

До процессоров Pentium аппаратных средств измерения абсолютных показателей потребления энергии у процессоров Intel просто не было, такие средства могли быть реализованы только как отдельные устройства - ваттметры, подключаемые к материнской плате. Процессоры Pentium содержали в себе модуль измерения производительности (Performance Monitoring Unit), который давал возможность собирать статистику по количеству аппаратных событий, происходящих в процессоре (например, количество исполненных инструкций, промахов кешей и т.д.). На базе этой статистики долгое время и производились оценки энергопотребления. Происходило это следующим образом: строилось некоторое предположение о корреляции между измеряемыми метриками и энергопотреблением системы (энергетическая модель) и далее, когда профайлер с заложенной моделью попадал на целевую машину, запускался процесс калибровки, связывающий оригинальные метрики и реальное энергопотребление. Далее по полученным коэффициентам можно оценивать энергопотребление.

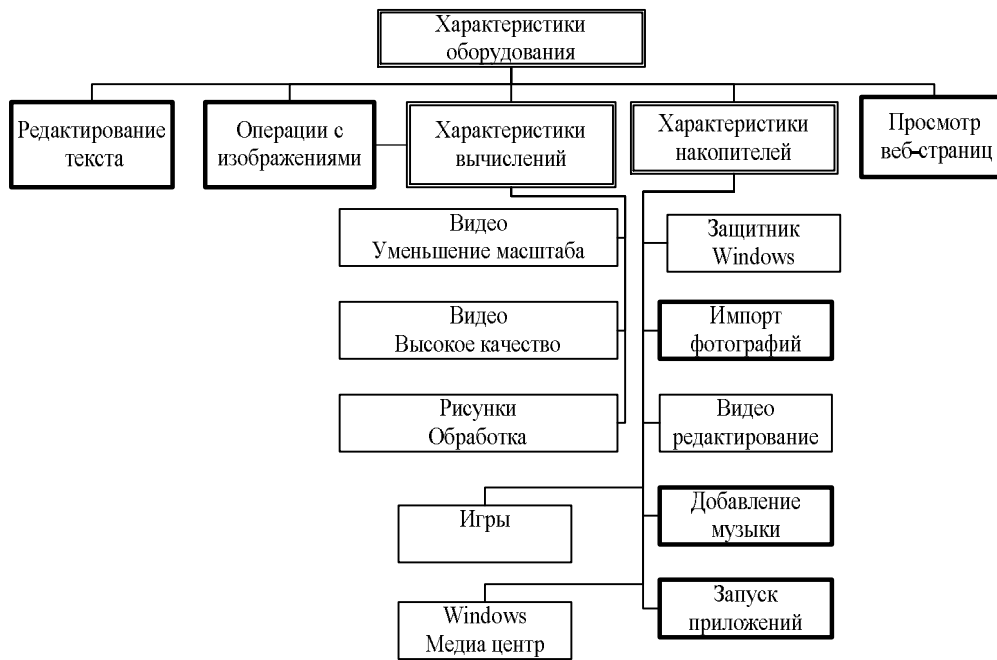


Рис. 1. Перечень прикладных задач в PCMark-7 (выделены входящие в LightWeight Test)

Таблица 1
Нагрузочные профили для прикладных задач
LightWeight Test

| Прикладная задача | Нагрузочный профиль |
|--------------------------|---|
| Операции с изображениями | <p>22% 21% 7% 50%</p> <p>0% 20% 40% 60% 80% 100%</p> <p>■ CPU ■ MEM ■ GFX ■ HDD</p> |
| Добавление музыки | <p>50% 3% 13% 34%</p> <p>0% 20% 40% 60% 80% 100%</p> <p>■ CPU ■ MEM ■ GFX ■ HDD</p> |
| Импорт фотографий | <p>22% 21% 7% 50%</p> <p>0% 20% 40% 60% 80% 100%</p> <p>■ CPU ■ MEM ■ GFX ■ HDD</p> |
| Запуск приложений | <p>30% 2% 18% 50%</p> <p>0% 20% 40% 60% 80% 100%</p> <p>■ CPU ■ MEM ■ GFX ■ HDD</p> |
| Редактирование текста | <p>60% 5% 35%</p> <p>0% 20% 40% 60% 80% 100%</p> <p>■ CPU ■ MEM ■ GFX ■ HDD</p> |
| Просмотр Web-страниц | <p>50% 3% 13% 34%</p> <p>0% 20% 40% 60% 80% 100%</p> <p>■ CPU ■ MEM ■ GFX ■ HDD</p> |

В архитектуру процессоров Sandy Bridge (2011 г.) был заложен RAPL интерфейс (Running Average Power Limit), после чего стало возможно получить информацию о количестве энергии, потребленной системой с момента запуска. Вместе с тем, профилировщики, основанные на энергетических моделях, также сохранили свое значение, поскольку вполне можно все еще встретить машину, неоснащенную процессором на архитектуре Sandy Bridge.

Ниже рассмотрены некоторые существующие утилиты измерения энергопотребления, перечислены их сильные и слабые стороны.

PowerTop (Linux) – предоставляет информацию по энергопотреблению процессов системы в режиме реального времени, в своих выводах опирается на энергетическую модель, учитывающую потребление CPU, Network-devices, GPU и HDD. Инструмент предоставляет простой доступ к ряду параметров управления энергопотреблением системы, а также показывает, какие компоненты наиболее проблемные и дает конкретные предложения по настройке с целью уменьшения потребления энергии. Примерами таких рекомендаций могут служить – выключение энергосбережения Wi-Fi, перевод AC97 в режим энергосбережения, выключение звука, включение режима энергосбережения PCI Express и SATA-устройств, выключение опроса CDROM с помощью HAL, включение экономии энергии в настройках звукового чипа HDA и т.д. Также PowerTop может посоветовать изменения некоторых конфигураций ядра, например, dirty ratio, dirty background ratio, sched_mc_power_savings и т.п. Вместе с тем, утилита

может выдавать статистику только по процессам, что значит, что профилирование конкретного приложения при помощи PowerTop является нетривиальной задачей, так как нет никакой привязки полученной статистики к исходному коду. В качестве источника данных PowerTop полагается на данные от PMU, которые по некоторым коэффициентам ставит в соответствие потребляемой электроэнергии.

Joulemeter (Windows) [11] – профилировщик, использующий метрики производительности для оценки затраченной энергии. Учитывает затраты CPU, HDD, GPU, сетевых устройств и монитора. Так же, как и PowerTop, не дает возможности связывать статистику с исходным кодом приложения, хотя и является удобным инструментом для анализа энергопотребления системы в целом. Аналогично профилировщику PowerTop, Joulemeter полагается на статистику от PMU и работает, начиная с процессоров Intel Core 2 Duo. Текущая версия Joulemeter 1.20 (05.10.2014) имеет три вкладки.

Вкладка «калибровка» позволяет выбрать автоматический вариант калибровки на основе 3 предустановок (рис. 2):

- Running on batteries, используется на laptops машинах, работающих от батареи;
- WattsUp PRO (Monitor(s) not on WattsUp), если настольный ПК подключен к ваттметру WattsUp PRO, без монитора;
- WattsUp PRO (Laptop OR Monitor(s) also on WattsUp) используется, если настольный ПУ и монитор подключены к одному сетевому фильтру, который в свою очередь подключен к WattsUp PRO или если компьютер и его монитор рассчитаны на питание от одной розетки, например, ноутбук, работающий от сети, розетка подключена к WattsUp PRO.

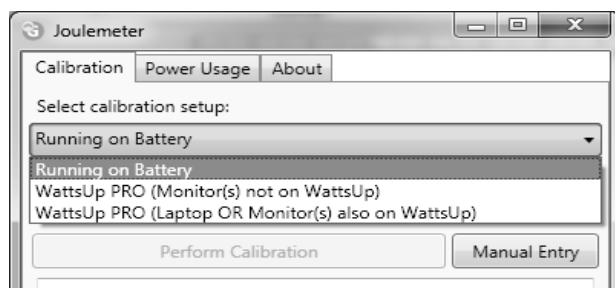


Рис.2. Автоматическая калибровка

Возможна ручная калибровка, если известны мощности, потребляемые процессором и монитором (рис 3).

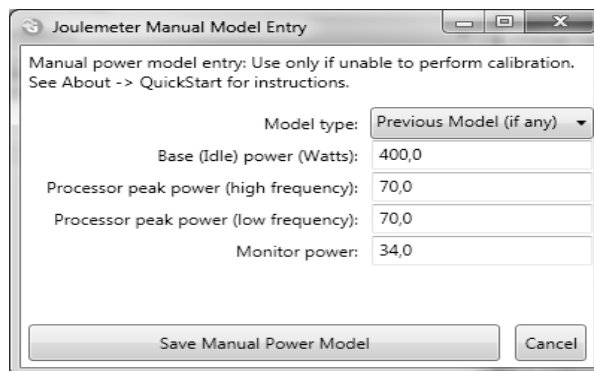


Рис. 3. Ручные настройки калибровки

После калибровки получаем доступ к вкладке используемой мощности, на которой доступны текущая потребляемая мощность ЦП, жесткого диска, монитора и общая потребляемая мощность. Есть возможность просматривать потребляемую мощность ЦП для выбранного приложения (рис. 4).

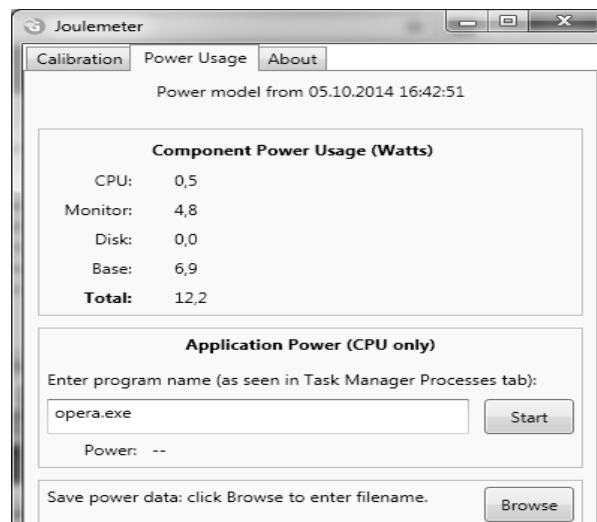


Рис.4. Потребляемая мощность

План эксперимента

В данном исследовании единственным фактором является режим электропитания (схема питания) ПК под управлением Windows 7, который выбирается через «Панель управления»-«Схема электропитания». Данный фактор принимает 3 значения:

- высокая производительность;
- сбалансированная схема;
- энергосберегающая схема.

Откликами эксперимента являются результаты выполнения 2-х инструментальных программ.

1. PCMark-7 при каждом тестировании выполняет трижды прикладные задачи, которые входят в

LightWeight Test. В выходной протокол результатов сохраняются следующие интегральные и пооперационные показатели.

Интегральные показатели PCMark-7:

– продолжительность выполнения LightWeight Test, с.

– показатель производительности - итоговое количество очков Score (определяется как взвешенная по операциям величина по формулам PCMark-7);

Пооперационные показатели PCMark-7:

– операции с изображениями, пиксель/с;

– добавление музыки, б/с;

– импорт фотографий, б/с;

– запуск приложений, б/с;

– редактирование текста, операций/с;

– просмотр Web-страниц, страниц/с.

2. Joulemeter в формате текстового CSV-файла сохраняет таблицу, в каждой строчке которой содержится

– отметка времени, мс;

– общая потребляемая мощность, Вт;

– потребляемая мощность CPU, Вт;

– потребляемая мощность монитором, Вт;

– потребляемая мощность диском, Вт

– потребляемая мощность указанным приложением, Вт (только CPU).

Для измерения мощности нескольких приложений возможен запуск соответствующего количества экземпляров Joulemeter.

Методы обработки результатов

Описательная статистика определяется по известным правилам [12] и включает в себя:

– минимальное и максимальное значения метрик;

– математическое ожидание – среднее значение случайной величины;

– среднеквадратическое (стандартное) отклонение – показатель рассеивания значений случайной величины относительно её математического ожидания;

– скошенность кривой (асимметрия):

– отклонение крутизны – эксцесс;

– ошибки среднего арифметического, стандартного (среднего квадратического) отклонения, показателей асимметрии и эксцесса;

Проверка наличия выбросов производится по критерию, равному нормированному отклонению выброса:

$$T = \frac{\hat{X}_i - \mu}{\sigma} \geq T_{st}, \quad (1)$$

где T – критерий выброса;

\hat{X}_i – выделяющееся значение признака;

μ , σ – среднее и стандартное отклонение, рассчитанные для группы, включающей артефакт;

T_{st} – стандартные значения критерия выбросов.

Если $T \geq T_{st}$, то анализируемое значение признака является выбросом. Альтернатива $T < T_{st}$ не позволяет исключить из анализа значение признака.

Для того чтобы оценить генеральный параметр для количественных признаков в форме доверительных границ необходимо:

1. Проверить на нормальность распределения исходных данных.

2. Установить число степеней свободы по правилам, приведенным при описании оценки каждого параметра.

3. Установить, исходя из ответственности исследования, порог вероятности безошибочных прогнозов ($\beta_1 = 0,95$, $\beta_2 = 0,99$, $\beta_3 = 0,999$).

4. В соответствии с числом степеней свободы найти значение критерия надежности t по таблице стандартных значений критерия Стьюдента.

5. Рассчитать ошибку выборочного показателя.

6. Определить возможную погрешность оценки генерального параметра, помножив критерий надежности на ошибку репрезентативности: $\Delta = t \cdot s_{\mu}$

7. Установить доверительные границы генерального параметра; возможный максимум $\bar{\mu} = \mu + \Delta$ и гарантированный минимум $\underline{\mu} = \mu - \Delta$.

Корреляция – статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин [13].

При регрессионном анализе использованы оценки центральных моментов и предельных значений, полученных в результате предварительной обработки данных. В данной работе целью является получение *линейной модели регрессии*:

$$\bar{y} = \theta_0 \phi_0(\bar{x}) + \dots + \theta_{m-1} \phi_{m-1}(\bar{x}); \quad (3)$$

здесь $\phi_0, \dots, \phi_{m-1}$ – некоторые заранее известные функции, а коэффициенты $\theta_0, \dots, \theta_{m-1}$ подлежат определению.

Поиск минимума производится методом наименьших квадратов.

Результаты пробных экспериментальных исследований

С использованием изложенных выше принципов планирования проведены пробные экспериментальные исследования на ноутбуке с конфигурацией:

CPU: AMD E-450 APU with
Radeon(tm) HD Graphics;
GPU: AMD Radeon HD 6320M;
Operating system: Microsoft Windows 7 Service
Pack 1 32-bit 7601;
Memory: 1640 МБ.

Для каждого из трех запланированных режимов (схем) электропитания выполнено по 3 запуска программы PCMark-7 с одновременной регистрацией энергопотребления с помощью программы Joulemeter.

При расчете таблицы 3 учтено, что результаты одного из 9 тестов содержат выброс (рис. 5). Помимо этого, поскольку пооперационные показатели PCMark-7 характеризуются очень хорошей повторяемостью, вместо трех значений пооперационных показателей, зафиксированных в каждом тесте, в таблице 3 приведено их среднее значение.

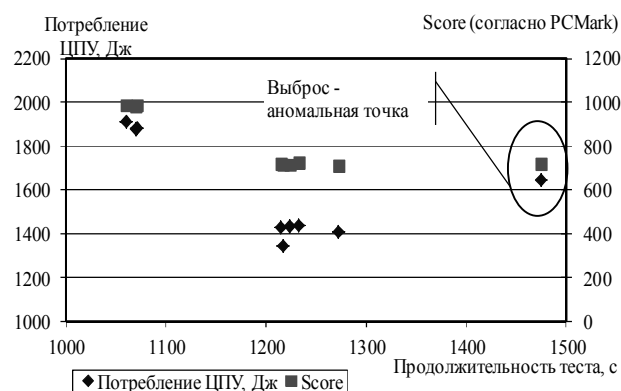


Рис. 5. Результаты измерений (показатель производительности - Score и продолжительность теста измерены PCMark-7, потребление ЦПУ – Joulemeter)

Результаты работы Joulemeter отображены на рис. 6.

В результате обработки экспериментальных данных установлено (рис. 7), что переход электропотребления ПК от экономной схемы к режиму максимальной производительности приводит к:

- увеличению энергии, затрачиваемой ЦП на вычисления в тестовом режиме, на 40 %
- уменьшению времени выполнения теста на 20 %;
- повышению рейтинга производительности (Score) согласно результатам PCMark-7 на 35 %.

Заключение

Задачи Green ИТ направлены на содействие положительным экологическим эффектам и сведение к минимуму негативных последствий.

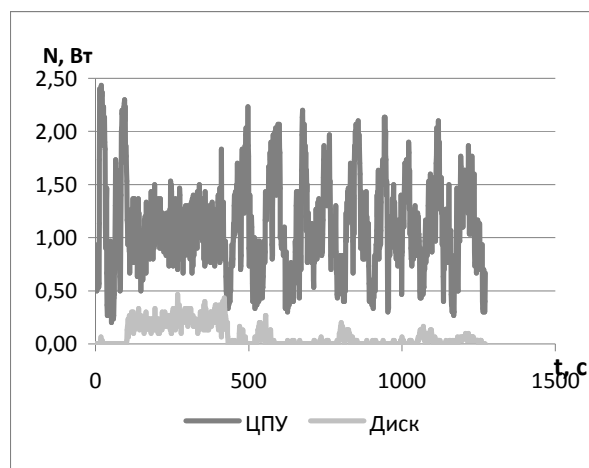


Рис. 6. Пример полученных с помощью программы Joulemeter результатов для мощностей потребляемых центральным процессором и диском

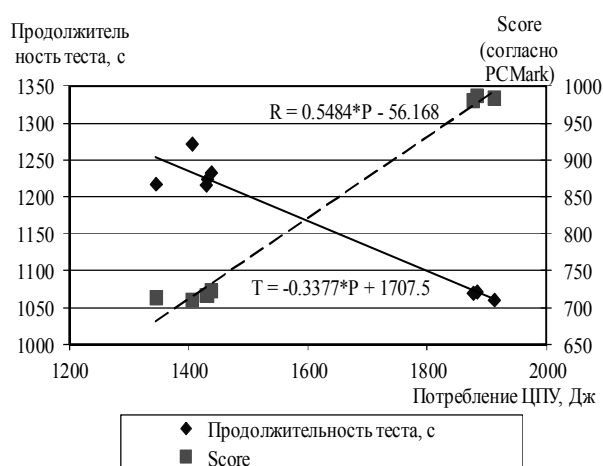


Рис. 7. Экспериментальные данные и модельные зависимости временных затрат на выполнение теста (продолжительности теста) и рейтинга производительности (Score) от общего потребления ЦПУ согласно результатам PCMark-7 и Joulemeter

Среди известных направлений управления контроля и управления энергопотреблением компьютерных устройств в качестве предмета исследований выбрана экспериментальная оценка эффективности применения режимов электропитания ОС Windows для энергетически эффективного решения прикладных задач. Целью работы являлось обобщение принципов планирования экспериментальных исследований зависимости производительности вычислительной системы от потребляемой энергии.

Для определения производительности и потребления энергии вычислительных комплексов необходимы, по меньшей мере, 2 инструментальных средства.

Первое из них – это коллекция нагрузок для измерения производительности вычислительных

систем. В качестве такого средства выбран LightWeight Test (Легкий тест) PCMark-7 общепризнанный компьютерный бенчмарк, PCMark-7 с известными нагрузочными профилями для характерных прикладных задач, что позволяет оценить свойства системы в комплексе.

Второе – инструментарий энергетического профилирования Joulemeter.

Перед расчетом описательной статистики показателей, измеренных PCMark-7 и Joulemeter для определения общих и покомпонентных энергетических затрат выполнено численное интегрирование мгновенных мощностей процессора, диска и отдельных приложений тестового набора PCMark-7.

Результаты корреляционного анализа позволили оценить наличие линейной связи между полученными наборами данных.

Литература

1. Energy Star [Электронный ресурс] / inc. Energy Star. – Режим доступа: <http://www.energystar.gov>. – 21.05.2015.

2. Технологии контроля энергопотребления и рабочих характеристик SmartReflex™: снижение потребляемой мощности и оптимизация производительности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://scanti.ru/journal_ti_components/test/2008/2008-4%2820%29_35.htm. – 29.01.2015.

3. Snowdon, D. Power Management and Dynamic Voltage Scaling. [Text] / D. Snowdon // Myths and Facts. Proceedings of the National ICT Australia and School of Computer Science and Engineering University of NSW. – Australia, 2005. – 323 p.

4. Neugebauer, R. Energy is just another resource: Energy accounting and energy pricing in the Nemesis OS. [Text] / R. Neugebauer, D. McAuley // Proceedings

of the Eighth Workshop on Hot Topics in Operating Systems. – 2001. – P. 67-72.

5. GRACE: a hierarchical adaptation framework for saving energy [Text] / D. G. Sachs, W. Yuan, C. J. Hughes, A. Harris, S. V. Adve, D. L. Jones, et al. // University of Illinois at Urbana-Champaign, Technical Report, UIUCDCS. – 2003. – P. 2004–2409.

6. Zeng, H. Experiences in managing energy with ecosystem [Text] / H. Zeng, C. S. Ellis, A. R. Lebeck // IEEE Pervasive Comput. – 2005. – № 4 (1). – P. 62–68.

7. A Taxonomy and Survey of Energy-Efficient Data Centers and Cloud Computing Systems [Text] / A. Beloglazov, R. Buyya, Y. C. Lee, A. ZOMAYA // Advances in computers. – 2011. – Vol. 82. – P. 47–111.

8. Харченко, В. С. Зеленая ИТ-инженерия. [Текст] : лекц. материал : в 2 т. / В. С. Харченко. – Харьков : Изд-во Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", 2014. – С. 138 – 185.

9. Weicker, R. P. An overview of common benchmarks [Text] / R. P. Weicker // Computer. – 2012. – Vol. 23, № 12. – P. 65-75.

10. Weicker, R. P. Dhrystone: a synthetic systems programming benchmark [Text] / R. P. Weicker // Communications of the ACM. – 1984. – Vol. 27, № 10. – P. 1013-1030.

11. Dongarra, J. J. The LINPACK benchmark: An explanation [Text] / J. J. Dongarra // Supercomputing. – Springer Berlin Heidelberg, 1988. – P. 456-474.

12. Joulemeter: Computational Energy Measurement and Optimization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://research.microsoft.com/en-us/projects/joulemeter>. – 12.07.2015.

13. Bol, Georg. Deskriptive Statistik [Text] / Georg Bol. – Oldenbourg : Oldenbourg Verlag, 2004. – 288 p.

14. Correlation and dependence [Electronic resource] – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Correlation_and_dependence. – 22.06.2015.

Поступила в редакцию 23.07.2015, рассмотрена на редколлегии 11.09.2015

ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВІД СПОЖИВАНОЇ ЕНЕРГІЇ

І. Б. Туркін, О. В. Вдовітченко, С. С. Аль-Кхшаб

У статті відображено поточний стан проблеми використання енергоресурсів, розглядаються принципи екологічних інформаційних технологій. Виділено основні стандарти, що регулюють сферу енергоспоживання комп'ютерної техніки. Показано засоби управління енергоспоживанням на апаратному та програмному рівні. Розглянуто поточний стан можливості управління режимами енергоспоживання в ОС Windows, де можна виділити три основні схеми енергоспоживання: висока продуктивність, збалансована, енергозберігаюча. Розглянуто основні принципи планування експериментальних досліджень залежності продуктивності обчислювальної системи від споживаної енергії. Для проведення експерименту обрано наступні інструментарії: PCMark 7 - інтегральний тест всіх підсистем комп'ютера і Joulemeter - профілювальник, що використовує метрики продуктивності для оцінки витраченої енергії. В результаті експерименту отримано залежності продуктивності обчислювальної системи від споживаної енергії. Дані залежності є базою для розробки систем управління та рекомендацій по користуванню існуючих схем електроживлення залежно від розв'язуваної прикладної задачі.

Ключові слова: обчислювальна система, продуктивність, енергозберігаюча технологія, експеримент, режими електроживлення, енергетичний профілювальник, комп'ютерний бенчмарк.

PRINCIPLES OF PLANNING OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DEPENDING PERFORMANCE COMPUTING SYSTEMS ON ENERGY CONSUMPTION

I. B. Turkin, A. V. Vdovitchenko, S. S. Al-Khshab

The current state of the problem of energy use is reflected at the article, the principles of environmental information technology is considered. The basic standards which are governing the area of energy consumption of computer technology are distinguished. Power management of hardware and software are shown. The current state of control over power consumption modes in OS Windows, which can be divided into three main power scheme: a high performance, balanced and energy-saving is considered. The basic principles of planning experimental studies, depending on the performance of the computer system from power consumption are considered. The following tools are selected for the experiment: PC Mark 7 - integral benchmark of all subsystems of the computer and Joulemeter – profiler, which uses performance metrics for rating the expended energy. At the result of the experiment dependences on the performance of the computer system power consumption are produced. These dependences are the basis for the development of control systems and recommendations for the using of existing power schemes, depending on the chosen application.

Key words: computer system performance, energy-saving technology, experiment, power modes, power profiler, computer benchmark.

Туркин Игорь Борисович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. инженерии программного обеспечения, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина. e-mail: nikrutrogi@mail.ru.

Вдовитченко Александр Валерьевич – аспирант каф. инженерии программного обеспечения, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина. e-mail: kentsanya91@gmail.com.

Аль-Кхшаб Синан Самир – аспирант каф. инженерии программного обеспечения, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина. e-mail: sinan_alkhshab@mail.ru.