

За критеріями енергоспоживання та рейтингу продуктивності комп'ютера досліджено ефективність використання режимів електроживлення, вибір яких реалізовано в ОС Windows. Отримані данні оцінено методами математичної статистики. Встановлено, що перехід енергоспоживання ПК від економної схеми до режиму максимальної продуктивності приводить до збільшення затраченої енергії на 40 % та зменшення часу виконання тесту на 20 %

Ключові слова: екологічні інформаційні технології, режими електроживлення, операційна система, навантажувальні тести, енергетичний профілювальник

По критериям энергопотребления и рейтинга продуктивности компьютера исследована эффективность использования режимов электропитания, выбор которых реализован в ОС Windows. Полученные данные оценены методами математической статистики. Установлено, что переход электропотребления ПК от экономной схемы к режиму максимальной производительности приводит к увеличению затрачиваемой энергии на 40 % и уменьшению времени выполнения теста на 20 %.

Ключевые слова: экологические информационные технологии, режимы электропитания, операционная система, нагрузочные тесты, энергетический профилировщик

УДК 004.45+519.22

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47600

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ПК

А. В. Вдовитченко

Аспирант

Кафедра инженерии программного обеспечения
Национальный аэрокосмический университет
им. Н. Е. Жуковского

«Харьковский авиационный институт»

ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61000

E-mail: kentsanya91@gmail.com

1. Введение

Проблема эффективного использования доступных энергетических ресурсов нашей планеты с каждым годом становится все более актуальной. Транспорт – один из основных потребителей энергии и один из главных источников выбросов парниковых газов. Согласно данным Международного Энергетического Агентства [1], приблизительно 60 % нефти в мире расходуется транспортным сектором. После транспорта по объемам расходуемой энергии следующим фактором является энергетическая неэффективность современных информационных технологий. Сейчас полагают, что выбросы, вызванные работой вычислительной техники, превышают выбросы всего авиационного транспорта, а недавно было подсчитано, что среднестатистический сеанс поиска по запросу к поисковой машине Google приводит к выбросу в атмосферу 7 граммов углекислого газа, что соответствует половине эмиссии CO₂ от кипячения воды в чайнике. Если вспомнить требования Евросоюза о том, что выбросы углекислого газа у автомобилей не должны превышать 140 грамм CO₂ на один километр пути, то получится, что 20 запросов к Google эквивалентны (в смысле экологического вреда) 1 километру проезда на автомобиле. Приведенные факты сделали актуальными исследования в области экологических информационных технологий, цель которых максимизировать энергетическую эффективность всех процессов обработки информации [2].

2. Анализ литературы и постановка проблемы

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. Эти эффекты и последствия могут быть структурированы по трем уровням:

– IT приводят к загрязнению окружающей среды, из-за использования ресурсов для создания и поддержания производственной инфраструктуры в области информационных технологий, необходимости утилизации отходов производства и собственно устаревшей компьютерной техники;

– IT положительно влияют на окружающую среду в результате воздействия информационных технологий на структуру экономики и организацию производственных процессов;

– в долгосрочной перспективе IT косвенно воздействуют на окружающую среду, в основном, за счет стимулирования более высокого темпа роста потребления.

Первый уровень воздействия информационных технологий на окружающую среду стал предметом нескольких промышленных стандартов, направленных на уменьшение потребления энергоресурсов. Выделим: Energy Star, TCO, 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 энергетической эффективности электронных устройств – PC Magazine Green Tech Approved и т. д.

Программа Energy Star [3] была значительно расширена и доработана в версии 5.0 выпущенной в 2009 году, что было ответом на критику агентства Environmental Protection Agency опубликованную в 2008 году [4].

Шведская программа сертификации TCO, разработанная комитетом TCO Development [5] распространена на принтеры, факсимильные аппараты, МФУ, ноутбуки, тоже продолжает дорабатываться и расширяться.

Стандарт управления питанием и конфигурацией ACPI (Advanced Configuration and Power Interface) представляет собой открытый промышленный стандарт, который определяет общий интерфейс для обнаружения аппаратного обеспечения, управления питанием и конфигурации материнской платы и устройств. На данный момент последней версией спецификации ACPI является версия 5.0 от 6 декабря 2011 года. Задачей ACPI является обеспечение взаимодействия между операционной системой, оборудованием и BIOS материнских плат [6]. Операционная система автоматически управляет режимом энергопитания устройств компьютера (отключение монитора и накопителей данных по истечению периода неактивности, спящий режим, управление напряжением питания процессора).

Сертификат EPEAT, наличие которого свидетельствует о важных достоинствах ПК [7], одним из которых является минимальное энергопотребление.

Перечисленные выше стандарты предоставляют возможность энергетически эффективной работы аппаратной части компьютера. Для их полноценного использования необходимо соответствующее программное обеспечение. Появился термин, которым обозначается область исследования свойств, поведения и законов систем программного обеспечения и их влияния на среду обитания и деятельности человека – «Экология программного обеспечения» [8].

D. G. Sachs и др. создали Иллинойский проект GRACE (Global Resource Adaptation through Cooperation) [9], затем развили его в GRACE-2 [10], в котором предложили экономить энергию путем координированной адаптации на трех уровнях системы в соответствии с изменениями потребностей. Эти 3 уровня включают:

- глобальную адаптацию, учитывающую все приложения, запущенные в системе, и все системные уровни, которая выполняется в случае значительных изменений в системе, таких как запуск или завершение работы приложения;

- адаптацию приложения, которая проводится после завершения кванта времени, выделенного приложению;
- внутренняя адаптация отвечает за приспособление к фактическому состоянию ресурсов.

Идеи GRACE-2 были реализованы как часть ядра Linux, и доказали возможность экономии до 33 % энергии.

Функции энергосбережения в той либо иной степени реализованы практически во всех операционных системах. Операционные системы Windows (XP, Vista, 7, 8) имеют схему управления питанием – набор аппаратных и системных параметров, с помо-

щью 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 [11]. Последнее предполагает, что существует противоречие между потребляемой электрической энергией и необходимым для комфортности работы пользователя запасом вычислительной мощности компьютера. В условиях автономной работы мобильного вычислительного устройства эта проблема усугубляется из-за ограниченности запаса энергии в источнике питания.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – на основе полученных экспериментальных данных сформулировать практические рекомендации по применению режимов электропитания ОС Windows для энергетически эффективного решения прикладных задач.

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

- выполнить планирование эксперимента для исследования эффективности применения режимов электропитания ОС Windows;

- провести эксперимент, на основе анализа результатов которого сформулировать практические рекомендации применения режимов электропитания ОС Windows для энергетически эффективного решения прикладных задач.

4. Планирование компьютерного эксперимента исследования зависимостей энергопотребления и рейтинга продуктивности компьютера от выбранной схемы электропитания операционной системы MS Windows

4.1. Техническое и программное оснащение, которое использовалось в эксперименте

В данном исследовании единственным фактором является схема 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.

Конфигурация ПК следующая:

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.

Откликами эксперимента являются результаты выполнения 2-х инструментальных программ:

1. Нагрузочный тест (benchmark) PCMark-7 [12] при каждом тестировании трижды выполняется прикладные задачи из выбранного набора (сюиты). В эксперименте использован LightWeight Test, предназначенный для оценки производительности систем стартового уровня

с небольшой вычислительной мощностью. В выходной протокол результатов PCMark-7 сохраняет следующие интегральные и пооперационные показатели.

1. 1. 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);

1. 2. Пооперационные показатели PCMark-7 характеризуют производительность при выполнении операций:

– просмотр изображений, 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 [13] 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 применяется запуск соответствующего количества экземпляров Joulemeter.

4. 2. Методы математической статистики и корреляционно-регрессионный анализ, как механизм обработки результатов эксперимента

Описательная статистика определяется по известным правилам [14] 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. При отсутствии таблицы показатель надежности для данного исследования можно приближенно определить по приведенным формулам. Если объем выборки превышает нижние пределы больших выборок ($n > 30$, $n > 100$, $n > 200$), то показатели надежности берутся постоянные для каждого порога вероятности: $t_1=2,0$; $t_2=2,6$; $t_3=3,3$.

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 $\mu = \mu + \Delta$ и гарантированный минимум $\mu = \mu - \Delta$.

Корреляция – статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин [15]. Математической мерой корреляции двух случайных величин служит коэффициент корреляции.

Некоторые виды коэффициентов корреляции могут быть положительными или отрицательными. В случае положительного коэффициента корреляции предполагается, что можно оценить лишь сам факт наличия или отсутствия взаимосвязи случайных величин, в случае отрицательного можно также определить её направление. Увеличение значения первой случайной величины в таком случае ведет к уменьшению значения второй. Соответственно, положительное значение коэффициента корреляции в таких условиях указывает на такую связь, при которой увеличение первой переменной связано с увеличением и второй. Кроме того, возможна ситуация, когда коэффициент корреляции близок к нулю, – это говорит об отсутствии статистической взаимосвязи между анализируемыми случайными величинами.

Метод вычисления коэффициента корреляции зависит от вида шкалы, к которой относятся переменные. Так, для измерения переменных с интервальной и количественной шкалами необходимо использовать коэффициент корреляции Пирсона, который предназначен для расчета силы и направления линейной зависимости между переменными исследования [16].

Общая формула для вычисления коэффициента линейной корреляции Пирсона:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

где x_i – значения, принимаемые переменной X ; y_i – значения, принимаемые переменной Y ; \bar{x} – средняя по X ; \bar{y} – средняя по Y .

При регрессионном анализе использованы оценки центральных моментов и предельных значений, полученных в результате предварительной обработки

данных, что позволяет получить линейную модель регрессии:

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

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

Поиск минимума проводится методом наименьших квадратов.

5. Результаты исследований режимов электропитания ОС Windows для энергетически эффективного решения прикладных задач

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

В результате работы программы PCMark-7 из ее файлов-отчетов и файлов-протоколов получены данные табл. 1, в которую не вошел 1 выброс (рис. 1). Остальные пооперационные показатели PCMark-7 характеризуются хорошей повторяемостью, вместо трех значений пооперационных показателей, зафиксированных в каждом тесте, в табл. 1 приведено их среднее значение.

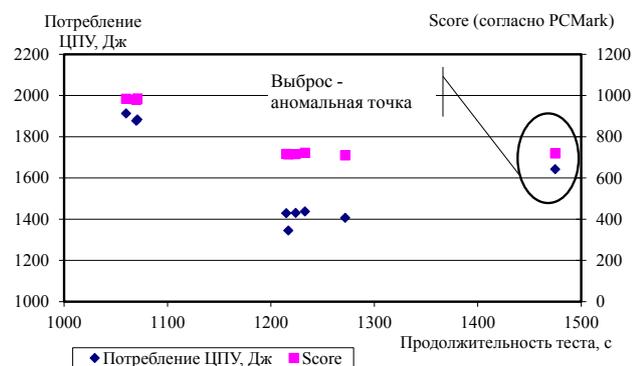


Рис. 1. Результаты измерений (показатель производительности – Score, и продолжительность теста измерены PCMark-7, потребление ЦПУ – Joulemeter)

Примеры результатов работы Joulemeter, полученные после обработки текстовых CSV-файлов с таблицами приведены на рис. 2 (мощности, потребляемые CPU и диском), рис. 3 (мощности, потребляемые CPU, при работе данных приложений. В данной работе зависимость мощности, потребляемой монитором, от режима электропитания не являлась предметом изучения, поскольку эта мощность зависит, прежде всего, от требований пользователя к качеству изображения (яркости, контрастности и т. д.) монитора.

Перед расчетом описательной статистики показателей, измеренных PCMark-7 и Joulemeter (табл. 2), для расчета общих и покомпонентных энергетических затрат выполнено численное интегрирование мгновенных мощностей (рис. 2, 3):

$$P \approx \int_0^{T_3} N(\tau) g d\tau \approx \sum N(\tau) g \Delta\tau. \tag{8}$$

Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 2.

Таблица 1

Интегральные и пооперационные показатели программы PCMark-7

Режим (схема) электропитания	продолжительность выполнения Light Weight Test, с	Score	Производительность при выполнении операций					
			просмотра изображений, Кпиксель/с	добавления музыки, Кб/с	импорта фотографий, Кб/с	запуска приложений, Кб/с	редактирования текста, операций/с	просмотра Web-страниц, страниц/с
Экономный	1272	710	2597	1052	4321	1665	1.281	1.569
	1217	714	2605	1049	4227	1673	1.328	1.590
Максимальная производительность	1070	980	4958	1060	4315	1678	2.418	2.979
	1060	984	4940	1072	4451	1683	2.401	2.942
	1071	986	4959	1073	4360	1699	2.407	2.982
Оптимальный	1233	722	2547	1059	4478	1725	1.323	1.581
	1224	716	2586	1053	4402	1718	1.292	1.558
	1215	717	2578	1047	4386	1677	1.325	1.598

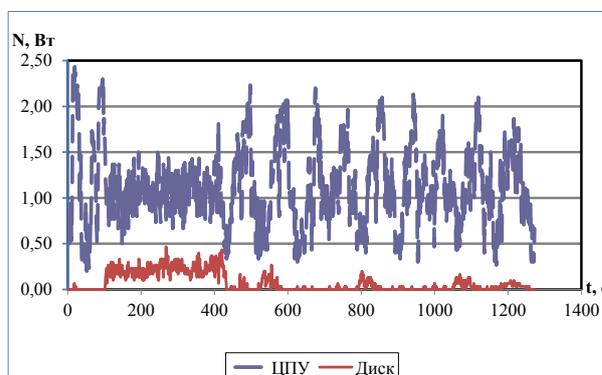


Рис. 2. Пример полученных с помощью программы Joulemeter результатов для мощностей, потребляемых центральным процессором и диском

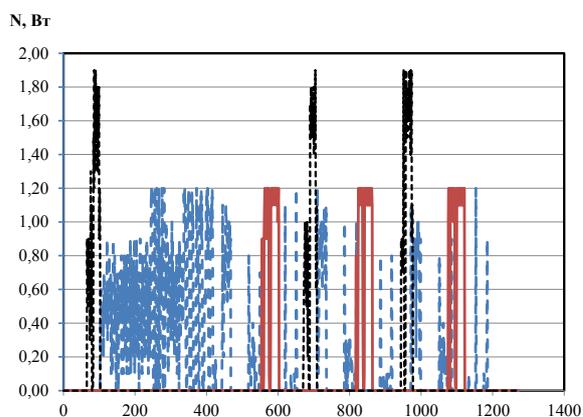


Рис. 3. Пример полученных с помощью программы Joulemeter мощностей центрального процессора для соответствующих приложений

Таблица 2

Корреляция показателей, измеренных PCMark-7 и Joulemeter

Показатели	Score	Показатели											
		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	Время, с	Потребление ЦПУ, Дж	Потребление диска, Дж	Потребление программы для работы с изображениями, Дж	Потребление программы редактирования текста, Дж	Потребление программы Web-серфинга, Дж
Score	1.0	1.0	0.85	0.10	-0.10	1.00	1.00	-0.9	0.99	-0.32	1.00	1.00	1.00
Операции с изображениями, пиксель/с	-	1.0	0.84	0.07	-0.13	1.00	1.00	-0.9	0.99	-0.31	1.00	1.00	1.00
добавление музыки, б/с	-	-	1.00	0.41	0.24	0.84	0.84	-0.81	0.87	-0.17	0.85	0.86	0.84
импорт фотографий, б/с	-	-	-	1.00	0.66	0.08	0.07	-0.10	0.19	0.05	0.10	0.11	0.08
запуск приложений, б/с	-	-	-	-	1.00	-0.12	-0.13	0.07	-0.06	-0.21	-0.13	-0.11	-0.12
редактирование текста, операций/с	-	-	-	-	-	1.00	1.00	-0.9	0.99	-0.33	1.00	1.00	1.00
просмотр Web-страниц, страниц/с	-	-	-	-	-	-	1.00	-0.9	0.99	-0.32	1.00	1.00	1.00
Время, с	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-0.97	0.49	-0.98	-0.98	-0.98
Потребление ЦПУ, Дж	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-0.28	0.99	0.99	0.99
Потребление диска, Дж	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-0.33	-0.30	-0.30
Потребление программы для работы с изображениями, Дж	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00
Потребление программы редактирования текста, Дж	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00
Потребление программы Web-серфинга, Дж	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00

Линейная аппроксимация зависимостей времени выполнения теста (Т) в секундах и рейтинга производительности (Score) (R) от энергии (Р), затрачиваемой ЦП на вычисления в тестовом режиме (Дж) (рис. 4), имеют следующий вид:

$$R = 0,5484 \cdot P - 56,168, \tag{9}$$

$$T = -0,3377 \cdot P + 1707,5. \tag{10}$$

Получены оценки энергопотребляющих характеристик отдельных приложений. В качестве примера экспериментальные данные и их линейная аппроксимация приведены для задач:

- редактирования текста – на рис. 5;
- Web-серфинга – на рис. 6.

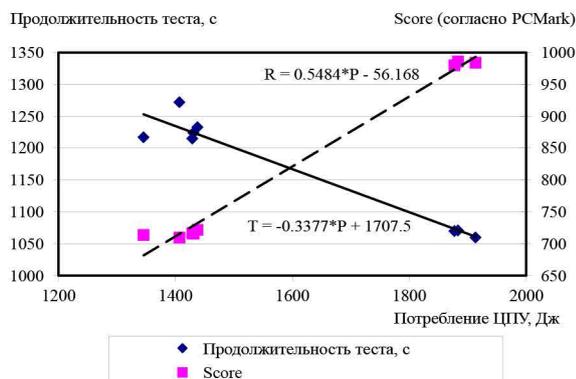


Рис. 4. Экспериментальные данные и модельные зависимости временных затрат на выполнение теста (продолжительности теста) и рейтинга производительности (Score) от общего потребления ЦПУ согласно результатам PCMark-7 и Joulemeter

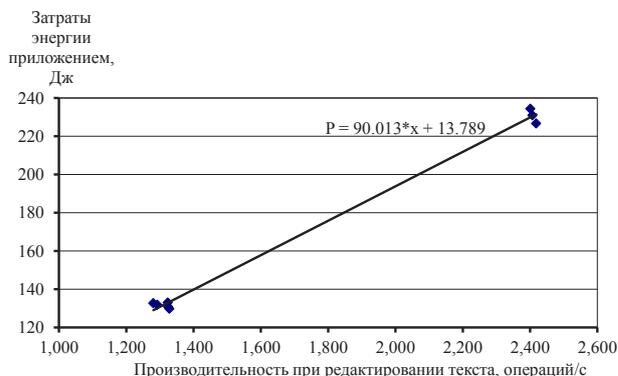


Рис. 5. Зависимость затрат энергии от производительности при редактировании текста

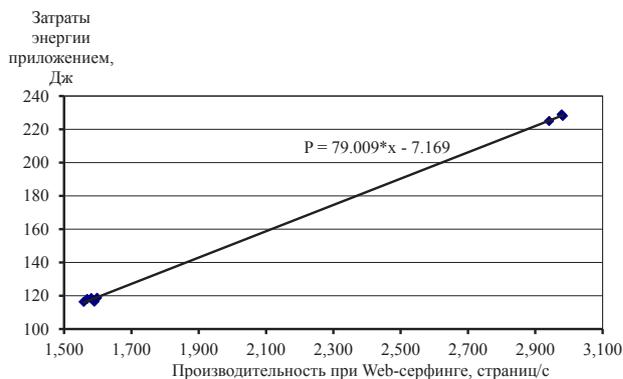


Рис. 6. Зависимость затрат энергии от производительности при Web-серфинге

Все полученные экспериментальные данные характеризуются высокой повторяемостью, что подтверждается как рассчитанными значениями стандартных

отклонений показателей, так и приведенными выше графиками (рис. 4–6).

6. Обсуждение результатов

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что переход электропотребления ПК от экономной схемы к режиму максимальной производительности приводит к (табл. 1, рис. 4):

- 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 %.

Показатели энергопотребляющих характеристик отдельных приложений могут быть значительно выше – наблюдается удвоение производительности при удвоении потребленной электрической энергии при редактировании текста и Web-серфинге, как видно из рис. 5, 6.

Вместе с тем, следует учесть следующую особенность проведения тестирования производительности с помощью компьютерного бенчмарка PCMark-7. Для оценки максимально возможной производительности аппаратно-программной платформы в PCMark-7 отдельные нагрузочные приложения и график их исполнения реализованы, таким образом, что:

- за счет многопоточности в полной мере используются возможности современных многоядерных процессоров;
- график исполнения приложений составлен для минимизации их общего времени выполнения.

В отличие от тестового приложения:

- пользователю необходимо приемлемое сочетание затрачиваемых системой энергетических ресурсов и ощущения комфортности собственной работы, то есть времени отклика системы, затрат времени на решение конкретной задачи и т.д. При этом пользователю чаще всего не нужна максимально возможная (доступная) производительность системы;
- пользователь обладает собственной инерционностью, поэтому задержка отклика на 0.05–0.1 с для него практически незаметна, большая способна вызвать психологический дискомфорт.

При использовании результатов эксперимента в практических целях с учетом большого количества фоновых процессов и служб, исполняемых в любой современной ОС и требующих значительных системных ресурсов и энергетических затрат, можно рекомендовать следующее:

1. При старте приложений должна быть реализована схема высокой производительности, после запуска желателен переход к экономной схеме.

2. Переход к более производительной схеме электропитания инициирует сам пользователь в случае ощущения дискомфорта в работе, но при этом, что следует из экспериментальных данных (рис. 4–6), энергопотребление может увеличиться на 40–100 %.

7. Выводы

Уменьшение потребления электроэнергии компьютерами приводит к положительным эффектам: сокра-

щению затрат электроэнергии, увеличению продолжительности автономной работы портативных устройств, продлению срока службы аккумуляторов и т. д.

В работе решена задача планирования эксперимента для исследования эффективности применения режимов электропитания ОС, которая заключается в обоснованном выборе инструментальных средств для исследования и последующей разработке плана эксперимента.

Единственным входным фактором эксперимента является схема электропитания ПК под управлением Windows 7, который принимает 3 значения:

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

Для определения производительности и потребления энергии вычислительных комплексов использованы 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 – компьютерный бенчмарк, разработанный финской компанией Futuremark. Для PCMark известны нагрузочные профили для характерных прикладных задач, что позволяет оценить свойства системы в комплексе. Второе – инструментальный энергетический профилирование, в качестве которого выбран Joulemeter – профилировщик для ОС Windows, использующий метрики производительности для оценки затраченной энергии.

В результате эксперимента установлено, что:

- рейтинг производительности Score практически линейно возрастает при увеличении почти всех измеренных показателей, на него не оказывают влияние только операции импорта фотографий, запуска приложений и потребление диска, а время работы (выполнения теста) обратно пропорционально величине рейтинга;

– слабое влияние импорта фотографий объясняется, по-видимому, влиянием неконтролируемых в процессе тестов вариаций в скорости Интернета;

– статистическое влияние запуска приложений и энергопотребления жесткого диска не подтверждено из-за своих незначительных величин, а, следовательно, наличия большой погрешности при измерениях.

Обобщая результаты, можно утверждать, что переход ПК от экономной схемы электропотребления к режиму максимальной производительности приводит к тому, что энергия, затрачиваемая ЦП на вычисления, увеличивается на 40 %, при этом время выполнения теста уменьшается на 20 %, а рейтинг производительности (Score) согласно результатам PCMark-7 увеличивается на 35 %.

При оценке энергопотребляющих характеристик отдельных приложений, таких как программа для редактирования текста, либо Web-серфинга указанные выше показатели могут быть значительно выше: наблюдается удвоение производительности при удвоении потребленной электрической энергии.

В дальнейших исследованиях предполагается расширить набор входных факторов, переходя от комплексного понятия «режим (схема) электропитания компьютера» к составляющим ее факторам, характеризующим политику управления потребляемой энергией на уровне отдельных компонент, либо отдельных

задач. Вторая сторона проблемы, не рассмотренная в данной публикации, – это определение производительности, достаточной для субъективной удовлетворенности пользователя, то есть для комфортности его работы. Такая производительность в общем случае

будет отличаться от максимальной, на определение которой нацелен любой нагрузочный тест.

Интересным также представляется решение задач систем реального времени с учетом энергетических ограничений.

Литература

1. Волошин, А. Ф. Методологические принципы распределение квот на выбросы парниковых газов [Текст] / А. Ф. Волошин, И. А. Горицына, С. О. Мащенко // Natural and Artificial Intellegence. – Sofia: ITHEA, 2010. – С. 85–94.
2. GREEN IT и энергоэффективность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/URL: <http://ecorussia.info/ru/ecopedia/it-future>. – 02.01.2015.
3. Energy Star [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: www.energystar.gov. – 21.05.2015.
4. Environmental News Service, Energy Star Climate Change Claims Misleading, Audit Finds [Electronic resource] / Environment News Service. – Available at: \www/URL: http://www.nbclosangeles.com/news/green/Energy_Star_Climate_Change_Claims_Misleading_Audit_Finds.html. – 21.04.2015.
5. TCO Development [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://www.tcodevelopment.com>. – 02.01.2015.
6. Бирюков, Е. Методы снижения потребления энергии современными портативными устройствами [Электронный ресурс] / Е. Бирюков, Д. Василенко // Компоненты и технологии. – 2005. – № 6. – Режим доступа: \www/URL: http://compitech.ru/html/cgi/arhiv/05_06/stat_198.htm. – 26.01.2015.
7. Electronic Products Environmental Assessment Tool [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: www.epeat.net. – 02.06.2015.
8. Сидоров, М. О. Экология программного обеспечения [Текст] / М. О. Сидоров // Инженерия программного забезпечення. – 2010. – № 1. – С. 53–61.
9. Sachs, D. G. 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, R. H. Kravets, K. Nahrstedt // Computer Science, University of Illinois Technical Report UIUCDCS. – February 2004. – P. 2004–2409.
10. Vardhan, V. GRACE-2: integrating fine-grained application adaptation with global adaptation for saving energy [Text] / V. Vardhan, W. Yuan, A. F. Harris, S. V. Adve, R. H. Kravets, K. Nahrstedt, D. G. Sachs, D. L. Jones // International Journal of Embedded Systems. – 2009. – Vol. 4, № 2. – P. 152–169. doi:10.1504/ijes.2009.027939
11. Power management [Electronic resource] / Microsoft. – Available at: \www/URL: <http://windows.microsoft.com/en-us/windows7/products/features/power-management>. – 02.06.2015.
12. PC Mark 7 [Electronic resource] / Futuremark. – Available at: \www/URL: <http://www.futuremark.com/benchmarks/pcmark7>. – 09.06.2015.
13. Mittal, R. Empowering developers to estimate app energy consumption [Text] / R. Mittal, A. Kansal, R. Chandra // Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking – Mobicom '12. – New York: Association for Computing Machinery (ACM), 2012. – P. 317–328. doi:10.1145/2348543.2348583
14. Bol, G. Deskriptive Statistik [Text] / G. Bol. – Oldenbourg: Oldenburg Verlag, 2004. – 288 p.
15. Correlation and dependence [Electronic resource] / Wikipedia. – Available at: \www/URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Correlation_and_dependence. – 22.06.2015.
16. Коэффициент корреляции Пирсона [Электронный ресурс] / Statistix. – Режим доступа: \www/URL: <http://statistix.com.ua/archives/117>. – 24.06.2015.