

УДК 621.316.13

Шапорин Р. О., к.т.н.,
Стецюк Е. Д.

ОЦЕНИВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

***Аннотация.** В статье выполнен анализ влияния основных аппаратных узлов вычислительных систем на уровень потребления электрической энергии. Показано, что наряду с другими энергоемкими узлами, для создания зеленого программного обеспечения следует учитывать потребление энергии оперативной памятью. Показана актуальность учета энергопотребления памятью при разработке вычислительных устройств для интернета вещей. Указаны пути оценки энергопотребления вычислительных устройств на этапе разработки программного обеспечения.*

***Ключевые слова:** зеленые информационные технологии, уровень энергопотребления, вычислительные системы, интернет вещей, оперативная память, зеленое программное обеспечение*

Шапорін Р. О., к.т.н.,
Стецюк О. Д.

ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ НА ЕТАПІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

***Анотація.** У статті виконано аналіз впливу основних апаратних вузлів обчислювальних систем на рівень споживання електричної енергії. Показано, що поряд з іншими енергоємними вузлами, для створення зеленого програмного забезпечення слід враховувати споживання енергії оперативною пам'яттю. Показана актуальність врахування енергоспоживання пам'яттю при розробці обчислювальних пристроїв для інтернету речей. Вказано шляхи оцінки енергоспоживання обчислювальних пристроїв на етапі розробки програмного забезпечення.*

***Ключові слова:** зелені інформаційні технології, рівень енергоспоживання, обчислювальні системи, інтернет речей, оперативна пам'ять, зелене програмне забезпечення*

Shaporin R. O., PhD,
Stetsyuk E. D.

EVALUATING THE RAM ENERGY CONSUMPTION AT THE STAGE OF SOFTWARE DEVELOPMENT

***Annotation.** This article gives an analysis of the influence of the main hardware components of computer systems on the level of consumption of the electric-energy. It is shown that, along with other power-consuming units, to create a pro-green software should take into account the energy consumption of RAM. The urgency of the account in the development of energy storage computing devices for the Internet of things. Ways of energy computing devices evaluating step software development.*

***Keywords:** green information technology, power consumption, computing, internet of things, RAM, green software*

1. Введение

В последние годы усилия ученых всего мира направлены на разработку так называемых «зеленых» технологий, главной целью которых является снижение количества энергии, потребляемой человечеством, и, как следствие – снижение выбросов парниковых газов в атмосферу. По данным Международного Энергетического Агентства (МЕА), если не будет принято никаких мер, то весь допустимый объем выбросов парниковых

газов будет исчерпан энергетической инфраструктурой планеты уже до конца 2017 года. После этого процесс глобального потепления станет необратимым, что приведет к разрушениям всех экосистем и общемировой катастрофе.

2. Мотивация

Проектирование зеленого программного обеспечения так критично в нашем стремлении к устойчивому развитию цивилизации.

Об этом свидетельствуют простые расчеты. По данным отчета Ericsson Mobility [1], в связи с развитием Интернета вещей, к 2021 году ожидается около 28 миллиардов вычислительных устройств. Каждое такое устройство потребляет электрическую энергию. Общий объем потребляемой энергии оценить трудно, так как уровни энергопотребления различны для различных устройств [17]. Однако можно оценить общую экономию электроэнергии. Допустим, что в результате оптимизации программного обеспечения этих устройств, каждое из них стало потреблять мощность на 0.001 Ватта меньше. Допустим, также, что каждое из устройств работает по 20 часов в сутки 360 дней в году. Тогда каждое устройство будет потреблять на 7.2 Ватт в час (Wh). С учетом количества устройств, общая экономия электроэнергии составит 201.6 миллиардов Wh или 201600 MWh! Для того, чтобы выработать такое количество электроэнергии та тепловой электростанции, необходимо сжечь 21.7 миллиона кубических метров газа [12]. С учетом цены газа для Европы в 2015 году [5], на это необходимо затратить около \$5,250,000. Выбросы вредных веществ в атмосферу при этом составят около 40 тысяч тонн.

Теперь посмотрим на эти цифры с другой стороны. Ранее мы допустили, что была произведена оптимизация программного обеспечения. Предположим также, что эту оптимизацию выполняла команда из пяти программистов в течение двух месяцев. По данным US Bureau of Labor Statistic [7, Occupation code 15-1130], средняя заработная плата разработчика программного обеспечения составляет \$47 в час, или \$7,500 в месяц. Тогда общие затраты на оплату труда этих программистов составят \$75,000.

Итак, при оптимизации программного обеспечения затрачивается (обратите внимание, только один раз) \$75,000, а экономится \$5,250,000 ежегодно только на газе. Мы не считаем ущерб, ежегодно наносимый окружающей среде, его невозможно измерить деньгами.

Из этого следует, что разработка зеленого программного обеспечения, при использовании которого экономится энергия явля-

ется рентабельной с точки зрения экономики и необходимой с точки зрения окружающей среды.

3. Современное состояние проблемы

Зеленое программное обеспечение – это очень молодая область науки. На сегодняшний день ее возраст составляет около десяти лет. Сравнительно немногочисленные публикации (около двухсот) позволяют проследить развитие этой новой области.

Первые публикации, например, [4, 6, 24] еще сильно привязаны к аппаратному оборудованию и конкретным устройствам компьютера, например, к WiFi роутерам. В дальнейшем работы носят более отвлеченный от аппаратной части характер. Авторы пытаются проследить основные тенденции в развитии программного обеспечения и негативные тенденции этого развития [2, 22]. В качестве негативной тенденции отмечается так называемый «эффект раздувания программ» (Software Bloat), заключающийся в существовании положительной обратной связи между ростом возможностей аппаратной части и ростом объема программного обеспечения. Например, увеличение объема оперативной памяти неизбежно приводит к появлению менее экономных программ, которые начинают использовать весь этот объем. Соответственно, для дальнейшего развития программы теперь нужны еще большие объемы памяти, что подстегивает производителей к их наращиванию. Это, безусловно, ведет к расточительному использованию ресурсов и, в частности, электроэнергии.

Одновременно, начинается этап накопления экспериментальных данных. Исследуются уровни энергии, потребляемой разными вычислительными устройствами и их отдельными узлами. Так, в статье [13] исследуется энергопотребление смартфона в различных режимах работы. В работе [11] приведены уникальные экспериментальные данные по уровню энергии, необходимой для перевода ячейки разных типов оперативной памяти из состояния «0» в состояние «1». Эти экспериментальные исследования подобны тем, которые теоретически проведены далее в настоящем разделе.

В работах, опубликованных в последние годы, делаются попытки обобщить полученные результаты и перейти к построению математических моделей. Этому, в частности, посвящена работа [18], в которой отмечается: «Написание энергоэффективного программного обеспечения является одним из самых сложных вопросов, поскольку требует не только изменение менталитета разработчиков программ и дизайнеров, но также моделей и инструментов для измерения и уменьшения влияния программного обеспечения на потребление энергии».

Однако, на сегодняшний день отсутствуют математические модели процессов потребления электроэнергии различными устройствами компьютера, в частности – оперативной памятью.

4. Почему выбрана оперативная память?

Начнем с ответа на вопрос – почему среди всего многообразия узлов вычислительных устройств для исследования выбрана именно оперативная память. На первый взгляд, если мы хотим снизить энергопотребление, то начинать надо совсем не с оперативной памяти. Даже беглый обзор сведений, приведенных в Интернет, говорит о том, что энергопотребление оперативной памяти по сравнению с другими узлами персонального компьютера, мало. Так, например, в [16] приведены сведения о максимальном и минимальном уровнях энергопотребления узлов персонального компьютера. Эти сведения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Энергопотребление узлов ПК

Узел ПК	Миним. значение (W)	Макс. значение (W)	Средн. знач. (W)
Процессор	50	150	100
Мат. плата	20	80	50
Оперативная память	3	6	4.5
Видеокарта	25	350	187.5
HDD	1	9	5
CD-ROM	15	30	22.5

Из этой таблицы видно, что оперативная память персонального компьютера потребляет в среднем в 20 раз меньше электроэнергии, чем CPU и в 40 раз меньше, чем видеокарта. Из этого сравнения напрашивается очевидный, казалось бы, вывод о том, что для уменьшения уровня потребления электроэнергии необходимо сосредоточить усилия именно на этих двух устройствах. И уж в последнюю очередь обращать внимание на оперативную память. Но так ли это? Давайте разберемся.

Во-первых, как мы можем видеть в [19], из 26 миллиардов устройств, подключенных к интернету в 2020 году, персональных компьютеров будет только 3 миллиарда, то есть, всего 11%. А что же остальные 89%? Это будут планшеты и смартфоны (около 9 миллиардов) и устройства Интернета вещей (остальные 17 миллиардов). А сегмент мощных настольных персональных компьютеров с мощными видеокартами будет уменьшаться, в полном соответствии с [8]. Эти цифры говорят о том, что основную экономию потребленной электроэнергии могут обеспечить наиболее многочисленные мобильные устройства и устройства интернета вещей.

Во-вторых, среди перечисленных в таблице 1 устройств, есть только два, без которых работа любого вычислительного устройства невозможна. Это центральный процессор и оперативная память. Все остальные устройства не обязательны. Например, видеокарта необходима только в том случае, когда предполагается вывод информации на дисплей. Но мощные серверы баз данных и дата-центров часто вообще не имеют дисплеев [19]! Их программное обеспечение устанавливается и настраивается только один раз, а после этого сервер работает без выключений и перезагрузок операционной системы. Жесткий диск – также не самое необходимое оборудование. Их нет, например, в смартфонах. Но необходимыми элементами любого вычислительного устройства являются центральный процессор и оперативная память. Процессор выполняет программу, но записана эта программа именно в оперативной памяти. Говоря о центральных процессорах следует отметить, что их современные модели на аппаратном уровне обо-

рудованы средствами для контроля энергопотребления [3, 15]. Для удобства работы с этими аппаратными средствами разработано большое количество разнообразных утилит [10, 13, 14, 16, 18, 19], позволяющих в виде цифр и графиков отражать энергозатраты не только центрального процессора в целом, но и отдельных его узлов. Но ни один из видов оперативной памяти таких средств не имеет, поэтому прямой непосредственный контроль потребляемой ею энергии невозможен.

Именно поэтому и необходима разработка моделей и методов косвенной оценки энергопотребления.

И, наконец, в-третьих. Как показывают данные экспериментов, уровни потребления энергии процессором и оперативной памятью не всегда сильно отличаются. В некоторых режимах работы вычислительных устройств эти уровни могут практически совпадать. Так, в уже упомянутой нами работе [13] выполнены измерения уровней энергопотребления узлов смартфона. Измерения показали, что в режиме сна энергопотребление центрального процессора составляет 12,5 mW, а оперативной памяти – всего 2,5 mW, то есть в пять раз меньше. Однако при выполнении таких эталонных тестов (benchmark), как шахматная программа Crafty или игра Mystery Case Files (известная как MCF), энергопотребление оперативной памяти может превышать энергопотребление процессора – 65 и 45 mW соответственно.

Кроме того, из заголовка таблицы 1, следует, что приведенные в ней значения мощности измеряются в ваттах. Из теории электротехники известно, что в ваттах измеряется активная мощность. Но кроме активной мощности в электрических цепях существует еще реактивная мощность. Эта мощность в цепях с токами и напряжениями синусоидальной формы обусловлена сдвигом по фазе между ними. В цепях, где токи и напряжения изменяются не по синусоидальному закону, реактивная мощность обусловлена тем, что закон изменения тока отличается от закона изменения напряжения. Именно этот случай имеет место в оперативной памяти. Реактивная мощность не совершает полезной работы, не выделяет тепла, но она, точно так же, как и активная мощность, потребляется

от источника питания. Действуя совместно, активная и реактивная мощность образуют полную мощность, которая может значительно превышать значение активной мощности. Таким образом, значение только активной мощности не может характеризовать общий уровень энергопотребления устройства.

Список использованной литературы

1. Ericsson Mobility Report. (2010) On the pulse of the networking society. <http://www.ericsson.com/res/docs/2015/mobility-report/ericsson-mobility-report-nov-2015.pdf>.
2. Aaron Carroll, Gernot Heiser. (2010). An analysis of power consumption in a smartphone. In Proceedings of the 2010 USENIX conference on USENIX annual technical conference (USENIXATC'10). USENIX Association, Berkeley, CA, USA, 21–21.
3. Binu P. John (2009). Effectiveness of SPEC CPU2006 and Multimedia Applications on Intel's Single, Dual and Quad Core Processors. University of Texas at San Antonio
4. Livio Honorio at al. (2003) Efficiency in Electricity Generation. EURELECTRIC Report. <http://www.eurelectric.org/Download/Download.aspx?DocumentID=13549>. Accessed Jul 2003
5. European Union Natural Gas Import Price (2015) https://ycharts.com/indicators/europe_natural_gas_price. Accessed 27 Nov 2015
6. Margaret K. Mann and Pamela L. Spath (1999) The net CO₂ emissions and energy balans of biomass and coal-fired power systems/ Proceedings of the Fouth Biomass Conference of Americas, Oakland, California, August 29-September 2 1999. – Elsevier Science, 379–385
7. National Industry-Specific Occupational Employment and Wage Estimates. NAICS 541500 - Computer Systems Design and Related Services (2014) http://www.bls.gov/oes/current/naics4_541500.htm#15-0000. Accessed May, 2014
8. Xue Xuan and Qingshan Zhang; Jun Ma; Kai Su (2008) Development of an Evaluation System Software for Manufacturing Green Product Based on B/S&C/S Mode Combined. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. 4th In-

ternational Conference 1 – 5 doi:
10.1109/WiCom.2008.2803

9. Ciocoiu, N.C. and Ciolac, C.E. (2009) Automated framework for Green IT classification using software agents. Computer Science and Information Technology, 2009. ICCSIT 2009. 2nd IEEE International Conference 279 – 283 doi: 10.1109/ICCSIT.2009.5234398

10. Bolla, R.; Bruschi, R.; Ranieri, A. (2009) Performance and power consumption modeling for green COTS Software Router. Communication Systems and Networks and Workshops, 2009. 1 – 8.

11. Bhattacharya, S., Gopinath, K.; Rajamani, K.; Gupta, M., "Software Bloat and Wasted Joules: Is Modularity a Hurdle to Green Software?" in Computer, vol.44, no.9, pp.97-101, Sept. 2011 doi: 10.1109/MC.2011.293

12. Shenoy, S.S., Eeratta, R., "Green software development model: An approach towards sustainable software development," in India Conference (INDICON), 2011 Annual IEEE, pp.1-6, 16-18 Dec. 2011 doi: 10.1109/INDCON.2011.6139638

13. Aaron Carroll and Gernot Heiser. (2010). An analysis of power consumption in a smartphone. In Proceedings of the 2010 USENIX conference on USENIX annual technical conference (USENIXATC'10). USENIX Association, Berkeley, CA, USA, 21-21.

14. Harsha Medu (2014) Energy Comparison of Cypress F-RAM and EEPROM. Cypress Semiconductor Corp
<http://www.cypress.com/file/46746/download>
Accessed Oct 2014

15. Ardito, L., Procaccianti, G.; Torchiano, M.; Vetro, A., "Understanding Green Software Development: A Conceptual Framework," in IT Professional, vol.17, no.1, pp.44-50, Jan.-Feb. 2015 doi: 10.1109/MITP.2015.16

16. Power Consumption of PC Components in Watts (2012)
<http://www.buildcomputers.net/power-consumption-of-pc-components.html> Accessed May 2012

17. Yoo, S.J.B., "Intra- and inter- data center networking architectures for future cloud computing," in Communications and Photonics Conference (ACP), 2012 Asia , vol., no., pp.1-1, 7-10 Nov. 2012

18. Kataoka, H.; Duolikun, D.; Enokido, T.; Takizawa, M., "Power Consumption and Computation Models of a Server with a Multi-core CPU and Experiments," in Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2015 IEEE 29th International Conference, pp.217-222, 24-27 March 2015 doi: 10.1109/WAINA.2015.127

19. Ikebuchi, D., Seki, N., Kojima, Y.; Kamata, M., Zhao, L., Amano, H., Shirai, T., Koyama, S., Hashida, T., Umahashi, Y., Masuda, H.; Usami, K., Takeda, S., Nakamura, H., Namiki, M., Kondo, M. "Geysers-1: A MIPS R3000 CPU core with fine grain runtime power gating," in Solid-State Circuits Conference, 2009. A-SSCC 2009. IEEE Asian, pp.281-284, 16-18 Nov. 2009 doi: 10.1109/ASSCC.2009.5357257

Получено 20.05.2016



Шапорин Руслан Олегович, заведующий кафедрой компьютерных интеллектуальных систем и сетей ОНПУ, к.т.н., доцент
Тел. +38 048 7058-322,
+38 048 7058-768



Стецюк Елена Дмитриевна, аспирант кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей ОНПУ
Тел. +38 063 649-53-92
E-Mail: lmd29@ukr.net