

УДК 004.4:519.23:004.777

А. В. ВДОВИТЧЕНКО, Я. В. МАКЕЛЬСКАЯ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОТ ПОТРЕБЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ ВЕБ-БРАУЗЕРОМ В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ WINDOWS

*Произведено планирование экспериментального исследования для определения зависимостей между потребляемой веб-браузером энергией и различными существующими операциями, которые доступны в библиотеках JavaScript и DHTML. Обоснован инструментарий, а также предложена методика для проведения исследования. Показано, что наилучшим, с точки зрения простоты реализации, способом достижения необходимых результатов является использование существующих программных решений фиксации экспериментальных откликов. Обсуждаются методы статистической обработки данных и результаты эксперимента.*

**Ключевые слова:** веб-браузер, энергопотребление, электропитание, процессор, диск, нагрузочный тест, профилировщик, зеленое программное обеспечение.

### Введение

Проблемы энергосбережения и оптимизации энергопотребления, наряду с проблемами экологии, наиболее значимые в современном мире. Вопрос энергопотребления стоит очень остро, особенно для разработчиков программного обеспечения, которым всегда необходимо понимать, сколько энергии потребляется приложениями и зависимость этой энергии от использования ресурсов.

Среди наиболее важных научных работ в области энергетически эффективного управления ресурсами портативного компьютера можно выделить статьи и монографии Н. Zeng [1], A. Vahdat, R. Neugebauer [2], D. G. Sachs [3], W. Yuan [4], A. Harris [4], R. Rajkumar [5] и др. Среди публикаций отечественных учёных в области энергосберегающего ПО можно отметить статьи Н. А. Сидорова [6], В. С. Харченко [7], И. Б. Туркина [8].

Многие из современных портативных компьютеров не уступают по вычислительной мощности стационарным компьютерам и одновременно с этим обладают такими свойствами, как портативность и переносимость. Но эти плюсы влекут за собой ряд довольно значительных проблем: отвод излишков тепла, образуемого при работе таких компонентов как процессор, видеокарта и др., малый срок работы устройства без подключения к сети электропитания. Обе эти проблемы имеют два взаимодополняющих пути решения – это применение новых технологий для создания аппаратных компонент (процессора, видеокарты, аккумулятора и др.) и внедрение новых подходов к разработке энергосберегающего ПО.

Целью данной работы является разработка плана проведения экспериментальных исследований влияния веб-браузеров на энергопотребление ОС Windows для повышения точности измерений и создания методов экспериментальных исследований энергоэффективности веб-браузеров.

### 1. Анализ литературы и постановка задачи

Класс портативных компьютеров включает в себя ноутбуки (лаптопы) и нетбуки (небольшие, менее мощные ноутбуки), но не включает такие мобильные вычислительные устройства как смартфоны и планшеты. Согласно данным международной организации StatCounter в Украине 53% используемых устройств это ноутбуки и нетбуки, по сравнению с ними доля мобильных устройств составила 18%, а настольных компьютеров 29%. Поэтому в исследовании было решено ограничиться классом портативных устройств.

Согласно отчёту о потреблении энергии бытовой электроникой в США в 2013 году, представленном Fraunhofer USA Center for Sustainable Energy Systems [9], в среднем портативное устройство потребляет за год 53 кВт\*час, что в пересчёте на стоимость электроэнергии в Украине составляет примерно 5 грн. в месяц.

С точки зрения Green IT программное обеспечение должно проектироваться с учётом использования первичных ресурсов (память, время и скорость) и вторичных вычислительных ресурсов (количество внешних объектов хранения и распределения каналов) [10].

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 трём уровням [8]:

- приводят к загрязнению окружающей среды, через использование ресурсов для создания и поддержания производственной инфраструктуры в области информационных технологий, необходимости утилизации отходов производства и собственно устаревшей компьютерной техники;

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

- косвенно воздействуют на окружающую среду, в основном, за счёт стимулирования более высокого темпа роста потребления.

Понятие Green IT в современном обществе начинает обретать свои характерные черты и рамки, но до сих пор остаётся много вопросов с разработкой таксономии и концептов данного направления. Одним из украинских учёных описавшим эти понятия является В. С. Харченко. В своей работе [7] он выделяет два основных направления:

- зелёное оборудование, которое минимизирует энергопотребление и риск опасных сбоев в критически важных системах;

- зелёное программное обеспечение, которое минимизирует информационные и энергетические затраты.

Исходя из этих двух концептов, можно выделить следующие решения оптимизации энергопотребления компьютерных устройств:

- Zeng и другие предложили framework ECOsystem для управления энергией как ресурсом первого уровня для ОС устройств на аккумуляторах [1];

- Neugebauer, McAuley разработали OS Nemesis, для обеспечения соблюдения условий времени выполнения [2]. При этом Nemesis обеспечи-

вает контроль и учет использования энергии по всем ресурсным уровням системы;

- D.G. Sachs и другие создали Иллинойский проект GRACE (Global Resource Adaptation through Cooperation) [3], потом развили его до GRACE-2 [4], в котором предложили экономить энергию путём направленной адаптации на трёх уровнях системы в зависимости от текущих потребностей;

- Rajkumar и другие предложили четыре альтернативных алгоритма для реализации динамического масштабирования частоты и напряжения в системах реального времени и внедрили этот подход как модифицированное ядро ОС Linux [5].

В работе рассматривается концепт зелёного программного обеспечения, а именно зелёных веб-браузеров. Зелёное программное обеспечение – это область исследований свойств, поведения и законов систем программного обеспечения и их влияния на среду проживания и деятельности человека [6].

Основанием для выбора браузеров участвующих в эксперименте послужили три фактора это разнообразие движков, популярность в мире, популярность в Украине.

Рейтинг веб-браузеров в мире на первый квартал 2017 года, по данным различных аналитических агентств, приведён в таблице 1.

Статистика использования браузеров в Украине по данным StatCounter за первый квартал 2017 года приведена на рисунке 1.

Учитывая все выше изложенные факторы, а именно различие движков, рейтинг в мире и Украине, будут рассматриваться следующие веб-браузеры: Google Chrome, Mozilla Firefox и Internet Explorer.

Существуют немногочисленные исследования энергетической эффективности веб-браузеров. Рассмотрим некоторые из них.

В июне 2016 года было опубликовано исследование компании Microsoft под заголовком «Get more out of your battery with Microsoft Edge» [11], в котором исследовалось влияние различных браузеров на продолжительность работы портативных устройств от батареи.

Таблица 1

Рейтинг веб-браузеров в мире на 1 квартал 2017 г.

Агентство	Рейтинг браузера в %						
	Internet Exploer	Mozilla Firefox	Google Chrome	Safri	Opera	Microsoft Edge	Прочие
StatCounter	8,88	13,36	58,41	10,87	1,65	3,31	3,52
Net Applications	12,23	7,59	56,15	14,46	0,6	3,62	6,06

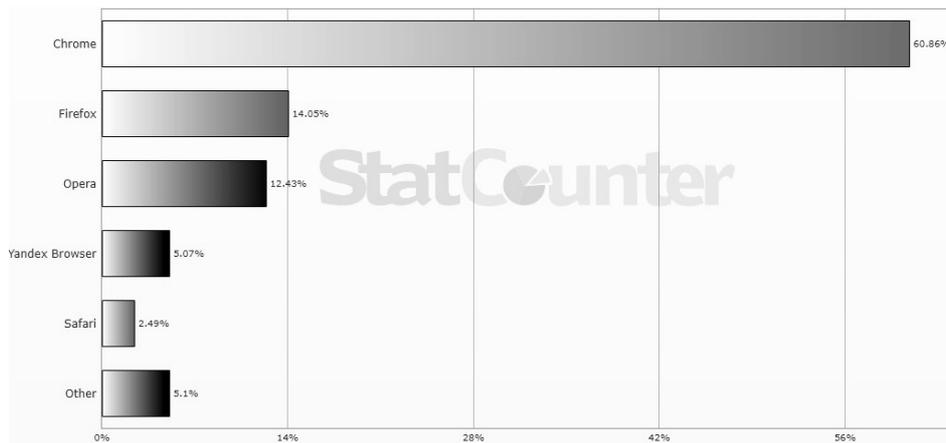


Рис. 1. Статистика использования браузеров в Украине за первый квартал 2017 года

В ходе исследования сравнивались лидеры среди веб-браузеров по трём независимым измерениям. Первым из которых было измерение энергопотребления в контролируемой лабораторной среде. Вторым – исследование телеметрии от миллиона устройств, работающих под управлением Windows 10. В ходе третьего – записано покадровое видео работы каждого веб-браузера, выполняющего одни и те же задачи, до полного расхода аккумуляторной батареи.

Результаты этого исследования приведены на рисунке 2.

В конце июня вышла статья об исследовании и опровержении версии исследований компании Microsoft компанией Opera под заголовком «Over the edge?» [12], в которой представители инженеров компании Opera заявили, что до текущего момента не считали нужным исследовать на энергоэффективность другие браузеры, включая и Microsoft Edge. После этого публикуются результаты и план эксперимента, но без методов обработки данных, чего у корпорации Microsoft не было, что в дальнейшем вызвало много критики в научных сообще-

ствах по поводу повторяемости эксперимента и достоверности результатов.

Результаты исследования специалистами компании Opera сформулированы следующим образом – Opera Developer (39.0.2248.0) с нативным блокаторм объявления и экономией энергии способен работать на 22% дольше, чем Microsoft Edge (25.10586.0.0) на ноутбуке под управлением Windows 10, 64-бит, и на 35% больше, чем версия Google Chrome (51.0.2704.103).

Общими недостатками рассмотренных экспериментальных исследований являются отсутствие методов обработки экспериментальных данных и обобщённое описание результатов исследований, которые сводятся только к выявлению веб-браузера, являющегося наиболее энергетически эффективным. При этом опускаются многие факторы, которые могли бы помочь понять характер потребления электрической энергии веб-браузерами, включая зависимость этого потребления от потребления системных ресурсов при различном характере выполняемых операций.

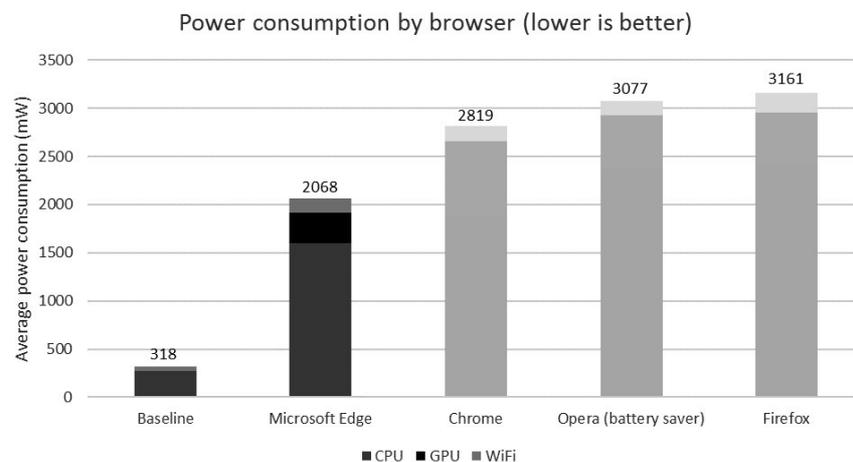


Рис. 2. Средняя потребляемая мощность в милливатт для одинаковых нагрузок в Microsoft Edge, Google Chrome, Mozilla Firefox и Opera

Таким образом, задачами работы являются:

- выявление особенностей экспериментального исследования энергоэффективности веб-браузеров;
- выбор аппаратных и программных решений для сбора экспериментальных данных;
- разработка метода обработки экспериментальных данных, полученных в результате измерения показателей энергопотребления и продуктивности веб-браузера.

## 2. Планирование эксперимента исследования зависимости потребляемой энергии от потребляемых ресурсов веб-браузером

Планирование эксперимента – комплекс мероприятий, направленных на эффективную постановку опытов. Основная цель планирования эксперимента – достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов.

**Техническое и программное оснащение, которое необходимо для реализации эксперимента.**

Количество бенчмарков для тестирования веб-браузера на сегодняшний момент насчитывает более 50 единиц. Но из них количество применяемых в реальных задачах и признанных сообществами специалистов в области тестирования являются 10 решений, из которых только 1 имеет полный функционал для тестирования веб-браузера.

PEACEKEEPER [13] – бенчмарк от известного производителя систем тестирования futuremark. Включает ряд тестов для оценки производительности браузера в онлайн режиме. Имеется возможность оценки потребления батареи за время выполнения теста.

Из инструментариев для мониторинга потребления электрической энергии портативным компьютером только один из них позволяет отслеживать потребление для конкретного процесса на используемом оборудовании для эксперимента – это Joulemeter [14].

В данном исследовании единственным фактором будет являться используемый веб-браузер. Данный фактор принимает 3 значения

- Mozilla Firefox;
- Google Chrome;
- Internet Explorer.

Конфигурация ПК следующая:

CPU: Intel® Pentium® CPU B960 2.2 GHz;

GPU: Intel® HD Graphics;

Operating system: Microsoft Windows 7 Service Pack 1 64-bit;

Memory: 2024 МБ.

Откликами эксперимента являются результаты выполнения 3-х инструментальных средств.

1. **PEACEKEEPER** при каждом тестировании выполняет прикладные задачи, которые входят в Test. В выходной протокол результатов сохраняются следующие интегральные и пооперационные показатели.

1.1. Интегральные показатели PEACEKEEPER:

- продолжительность выполнения Test, с;
- показатель производительности – итоговое количество очков Score (определяется как взвешенная по операциям величина по формулам PEACEKEEPER);

1.2. Пооперационные показатели PEACEKEEPER:

- Rendering:
  - 1) renderGrid01 (Frames per Second (FPS));
  - 2) renderGrid02 (FPS);
  - 3) renderGrid03 (FPS);
  - 4) renderPhysics (FPS);
- HTML5 Capabilities:
  - 1) WebGLSphere (yes/no);
  - 2) videoPosterSupport (yes/no);
  - 3) videoCodecH264 (yes/no);
  - 4) videoCodecTheora (yes/no);
  - 5) videoCodecWebM (yes/no);
  - 6) workerContrast01 (Operations per second (OPS));
  - 7) workerContrast02 (OPS);
  - 8) gamingSpitfire (FPS);
- HTML5 Canvas:
  - 1) experimentalRipple01 (FPS);
  - 2) experimentalRipple02 (FPS);
- Data:
  - 1) arrayCombined (OPS);
  - 2) arrayWeighted (OPS);
- DOM operations:
  - 1) domGetElements (OPS);
  - 2) domDynamicCreationCreateElement (OPS);
  - 3) domDynamicCreationInnerHTML(OPS);
  - 4) domjQueryAttributeFilters (OPS);
  - 5) domjQueryBasicFilters (OPS);
  - 6) domjQueryBasics (OPS);
  - 7) domjQueryContentFilters (OPS);
  - 8) domjQueryHierarchy (OPS);
  - 9) domQueryselector (OPS);
- Text parsing:
  - 1) stringChat (OPS);
  - 2) stringDetectBrowser (OPS);
  - 3) stringFilter (OPS);
  - 4) stringValidateForm (OPS);
  - 5) stringWeighted (OPS).

2. **Системный монитор** в формате CSV-файла с разделителями сохраняет данные, в каждой строке которых содержится:

- отметка времени, с;
- потребление ресурсов ЦП, %;
- количество операций с данными, о/с.

3. **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).

### Методы математической статистики и корреляционно-регрессионный анализ как механизм обработки результатов эксперимента

Для каждой характеристики из набора значений предполагается получать основные статистические характеристики.

Минимальное значение характеристики.

Максимальное значение характеристики.

Математическое ожидание (МО), которое характеризует среднее взвешенное значение случайной величины, определяется для того, чтобы получить характеристику этого признака для всей изучаемой группы в целом:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где  $x_i$  – отдельные значения.

Среднее квадратическое отклонение величин выходных параметров можно вычислить как:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (2)$$

Чем выше дисперсия или стандартное отклонение, тем сильнее разбросаны значения переменной относительно среднего.

Среднее арифметическое – наиболее распространённая оценка среднего значения распределения. Она является результатом деления суммы всех наблюдаемых числовых величин на их количество. Для выборки, состоящей из чисел  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , выборочное среднее (обозначаемое символом  $\bar{X}$ ) равно:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}. \quad (3)$$

**Отсев грубых ошибок измерений.** Каждый результат измерения – случайная величина. Отклонение результата наблюдения от истинного называется ошибкой наблюдения. Ошибка наблюдения также есть случайная величина – она является результатом действия только случайных факторов. Если обозначить истинный результат через  $a$ , ошибку через  $\Delta X$ , результат измерения через  $X$ , то:

$$\Delta X = X - a. \quad (4)$$

При объёме выборки  $n > 25$  может быть использован метод, основанный на применении распределения Стьюдента.

Значительная корреляция между случайными величинами всегда означает, что присутствует некая взаимосвязь между значениями конкретной выборки, но при другой выборке связь вполне может отсутствовать. Поэтому при нахождении взаимосвязи не нужно делать поспешных выводов о причинно-следственном характере величин, а следует рассмотреть наиболее полную выборку, чтобы делать какие-либо выводы [15]. Коэффициенты корреляции устанавливают лишь статистические взаимосвязи, но не более того.

**Коэффициент корреляции Пирсона.** Применяется для исследования взаимосвязи двух переменных, измеренных в метрических шкалах на одной и той же выборке. Он позволяет определить, насколько пропорциональна изменчивость двух переменных [16]. Формула расчёт коэффициента корреляции Пирсона следующая:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5)$$

где  $x_i$  – значения переменной  $X$ ;

$y_i$  – значения переменной  $Y$ ;

$\bar{x}$  – среднее арифметическое для переменной  $X$ ;

$\bar{y}$  – среднее арифметическое для переменной  $Y$ .

**Коэффициент корреляции Кендалла.** Предназначен для определения взаимосвязи между двумя ранговыми переменными.

Интерпретация результатов вычисления коэффициента ранговой корреляции Кендалла определяется как разность вероятностей совпадения и инверсии в рангах [17].

Формула вычисления коэффициента ранговой корреляции Кендалла:

$$r = \frac{P(p) - P(q)}{N \frac{(N-1)}{2}}, \quad (6)$$

где  $P(p)$  – число совпадений;

$P(q)$  – число инверсий;

$N$  – объем выборки.

При наличии связанных рангов формула изменяется с учётом поправки на связанные ранги:

$$r = \frac{P(p) - P(q)}{\sqrt{\left[ N \frac{(N-1)}{2} \right] - K_x} \cdot \sqrt{\left[ N \frac{(N-1)}{2} \right] - K_y}}, \quad (7)$$

где  $P(p)$  – число совпадений;

$P(q)$  – число инверсий;

$N$  – объем выборки;

$K_x$  – поправка на связи рангов переменной  $X$ ;

$K_y$  – поправка на связи рангов переменной  $Y$ .

Конкретный метод подсчёта коэффициента корреляции и модель авторегрессии для текущего исследования будут выбраны после изучения характера распределения значений.

## Заключение

Современные технологии разработки ПО далеко не всегда позволяют получить на выходе энергетически эффективное ПО. Поэтому повышение энергетического коэффициента полезного действия и необходимость понизить эксплуатационные затраты, при этом уменьшить влияние на окружающую среду, стало актуальным вопросом во многих научных сообществах.

Решена задача планирования эксперимента для исследования зависимости энергопотребления веб-браузером от выполняемых задач и потребления системных ресурсов, которая заключается в выборе инструментальных средств для проведения исследования.

Для определения производительности и потребления энергии веб-браузеров необходимы, по меньшей мере, 3 инструментальных средства.

Первое из них – это коллекция нагрузок для измерения производительности веб-браузеров. В качестве такого средства выбраны два бенчмарка один от финской компании Futuremark, а именно PEASEКБЕРЕР. Второй бенчмарк от компании Mozilla, который называется Dromaeo. Также были рассмотрены некоторые популярные варианты бенчмарков, тесты из которых есть в выбранных инструментариях.

Второе – инструментарий энергетического профилирования. Выбор ПО Joulemeter объясняется тем, что это профилировщик для ОС Windows, использующий метрики производительности для оценки затраченной энергии. Позволяет определить и сохранить в файле для последующего анализа

энергозатраты CPU, HDD, GPU, сетевых устройств и экрана. И самое главное – позволяет отслеживать потребление электроэнергии отдельным процессом.

Третье – средство мониторинга использования системных ресурсов процессом. Была выбрана стандартная утилита, входящая в состав ОС Windows – системный монитор, которая позволяет отслеживать потребление системных ресурсов в реальном времени, а также вести статистику по использованию данных ресурсов, сохраняя её в файл.

Для обработки экспериментальных данных выбраны основные методы статистического анализа. Предварительная обработка данных осуществляется на основе основных статистических показателей, таких как: среднее, минимальное, максимальное значение, среднее отклонение, среднеквадратичное отклонение и т.п. Зависимость между исследуемыми переменными определяется с помощью кластерного анализа. Предложено построить вариацию авторегрессионной модели по обработанным экспериментальным данным.

## Литература

1. Zeng, H. *Experiences in managing energy with ecosystem [Text]* / H. Zeng, C. S. Ellis, A. R. Lebeck // *IEEE Pervasive Comput.* – 2005. – Vol. 4(1). – P. 62–68.
2. 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.
3. GRACE: a hierarchical adaptation framework for saving energy [Text] / D. G. Sachs [et al.] // *University of Illinois at Urbana-Champaign, Technical Report, UIUCDCS.* – 2003. – P. 2004–2409.
4. GRACE-2: integrating fine-grained application adaptation with global adaptation for saving energy [Text] / Vibhore Vardhan, Wanghong Yuan, Albert F. Harris, Sarita V. Adve, Robin H. Kravets, K. Nahrstedt, Daniel G. Sachs, Douglas L. Jones // *International Journal of Embedded Systems.* – 2009. – Vol. 4, № 2. – P. 152–169.
5. *Resource kernels: a resource-centric approach to real-time and multimedia systems [Text]* / R. Rajkumar, K. Juvva, A. Molano, S. Oikawa // *Multimedia Computing and Networking.* – 1998 – P. 476–490.
6. Сидоров, Н. А. *Экология программного обеспечения [Текст]* / Н. А. Сидоров // *Инженерия программного обеспечения.* – 2010. – № 1. – С. 55–61.
7. Kharchenko, V. *Concepts of Green IT Engineering: Taxonomy, Principles and Implementation [Text]* / V. Kharchenko, O. Illiashenko // *Green IT Engineering: Concepts, Models, Complex Systems Architectures / V. Kharchenko, O. Illiashenko.* – Switzerland: Springer International Publishing, 2017. – (Studies in Systems, Decision and Control; vol. 74). – P. 3–20. DOI: 10.1007/978-3-319-44162-7\_1.

8. Туркин, И. Б. Анализ методов адаптивного управления энергопотреблением персональных компьютеров [Текст] / И. Б. Туркин, А. В. Вдовитченко. // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 5. – С. 70–75.

9. Energy consumption of consumer electronics in U.S. homes in 2013. [Electronic resource] / B. Urban, V. Shmakova, B. Lim, K. Roth. – Access mode: <https://www.cta.tech/CTA/media/policyImages/Energy-Consumption-of-Consumer-Electronics.pdf>. – 04.07.2017.

10. Abenius, S. Green IT & Green Software – Time and Energy Savings Using Existing Tools [Text] / S. Abenius // Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools : 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection, Berlin, September 2009. – Berlin, 2009. – P. 57-66.

11. Weber, J. Get more out of your battery with Microsoft Edge [Electronic resource] / J. Weber. – Access mode: <https://blogs.windows.com/windowsexperience/2016/06/20/more-battery-with-edge/#CeJjkhWkrRbI6rSr.97>. – 12.09.2017.

12. Kaźmierczak, B. Over the edge? [Electronic resource] / B. Kaźmierczak // Opera blogs. – Access mode: <https://blogs.opera.com/desktop/2016/06/over-the-edge/> – 07.09.2017.

13. Peacekeeper [Electronic resource] // Futuremark. – Access mode: <http://peacekeeper.futuremark.com/>. – 08.09.2017.

14. Mittal, R. Empowering Developers to Estimate App Energy Consumption [Text] / R. Mittal, A. Kansaly, R. Chandray // Mobicom '12 : Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking, August 22–26, 2012 in Istanbul, Turkey. – Istanbul, 2012. – P. 317-328.

15. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] : учеб. пособие / В. Е. Гмурман. – Москва : Высшая школа, 2004. – 479 с.

16. Общая теория статистики [Текст] : учеб. для вузов / под ред. Р. А. Шмойловой. – Москва : Финансы и Статистика, 2002. – 560 с.

17. Kendall, M. A New Measure of Rank Correlation [Text] / M. Kendall // Biometrika. – 1938. – vol. 30, no. 1–2. – P. 81–89.

4. Vardhan, V., Yuan, W., Harris, A., Adve, S., Kravets, R., Nahrstedt, K., Sachs, D. and Jones, D. GRACE-2: integrating fine-grained application adaptation with global adaptation for saving energy. *International Journal of Embedded Systems*, 2009, vol. 4, no. 2, pp. 152-169.

5. Rajkumar, R., Juvva, K., Molano, A. and Oikawa, S. Resource kernels: a resource-centric approach to real-time and multimedia systems. *Multimedia Computing and Networking*, 1998, pp. 476-490.

6. Sidorov, N. A. Jekologija programnogo obespechenija [Software ecology], *Inzheneriya programnoho zabezpechennya – Software Engineering*, 2010. vol. 1, pp. 55–61.

7. Kharchenko V., Illiashenko, O. Concepts of Green IT Engineering: Taxonomy, Principles and Implementation. In: Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds). *Green IT Engineering: Concepts, Models, Complex Systems Architectures. Studies in Systems, Decision and Control*, 2017, vol. 74, Springer, Cham, pp. 3-20. DOI: 10.1007/978-3-319-44162-7\_1.

8. Turkin, I. B., Vdovitchenko, A. V. Analiz metodov adaptivnogo upravlenija jenergotrebleniem personal'nyh komp'yuterov [Analysis of adaptive power management methods for personal computers]. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2014, vol. 69, no. 5, pp. 70-75.

9. Urban, B., Shmakova, V., Lim, B., Roth, K. Energy consumption of consumer electronics in U.S. homes in 2013. Available at: <https://www.cta.tech/CTA/media/policyImages/Energy-Consumption-of-Consumer-Electronics.pdf> (accessed 04.07.2017).

10. Abenius, S. Green IT & Green Software – Time and Energy Savings Using Existing Tools. *Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools : 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection*, Berlin, September 2009, pp. 57-66.

11. Weber, J. Get more out of your battery with Microsoft Edge. Available at: <https://blogs.windows.com/windowsexperience/2016/06/20/more-battery-with-edge/#CeJjkhWkrRbI6rSr.97> (accessed 12.09.2017).

12. Kaźmierczak, B. Over the edge. *Opera blogs*. Available at: <https://blogs.opera.com/desktop/2016/06/over-the-edge/> (accessed 07.09.2017).

13. Peacekeeper. *Futuremark*. Available at: <http://peacekeeper.futuremark.com> (accessed 08.09.2017).

14. Mittal, R., Kansaly, A., Chandray, R. Empowering Developers to Estimate App Energy Consumption. *Mobicom '12 Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*, August 22–26, 2012 in Istanbul, Turkey, pp. 317-328.

15. Gmurman, V. E. *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, High school Publ., 2004, 479 p.

16. Shmoilovoi, R. A. *Obshchaya teoriya statistiki* [General Theory of Statistics]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2002, 560 p.

17. Kendall, M. A. New Measure of Rank Correlation. *Biometrika*, 1938, vol. 30, no. 1–2, pp. 81–89.

## References

1. Zeng, H., Ellis, C. and Lebeck, A. Experiences in Managing Energy with ECOSystem. *IEEE Pervasive Computing*, 2005, vol. 4(1), pp. 62-68.

2. Neugebauer, R. and Mcauley, D. Energy is just another resource: energy accounting and energy pricing in the Nemesis OS. *Proceedings Eighth Workshop on Hot Topics in Operating Systems*, 2001, pp. 67–72.

3. Sachs, D., Yuan, W., Hughes, C., Harris, A., V. Adve, S., L. Jones, D., H. Kravets, R. and Nahrsted, K. GRACE: A Hierarchical Adaptation Framework for Saving Energy. *University of Illinois at Urbana-Champaign, Technical Report, UIUCDCS*, 2003, pp. 2004-2409.

*Поступила в редакцію 1.11.2017, рассмотрена на редколлегии 22.11.2017*

## ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАЛЕЖНОСТІ СПОЖИТОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД РЕСУРСІВ, ЩО СПОЖИВАЮТЬСЯ ВЕБ-БРАУЗЕРОМ В ОПЕРАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ WINDOWS

*О. В. Вдовитченко, Я. В. Макельська*

Виконано планування експериментального дослідження для визначення залежностей між споживаною енергією та ресурсами веб-браузером, а також оцінки впливу різних операцій на енергоспоживання веб-браузером. Обґрунтовано інструментарій та запропоновано методику для проведення дослідження. Показано, що найкращим, з точки зору простоти реалізації, способом досягнення необхідних результатів є використання існуючих програмних рішень фіксації експериментальних відгуків. Обговорюються методи статистичної обробки даних і можливі результати експерименту.

**Ключеві слова:** веб-браузер, енергоспоживання, електроживлення, процесор, диск, навантажувальний тест, профілювальник, зелене програмне забезпечення.

## PLANNING EXPERIMENTAL STUDIES OF DEPENDING ENERGY CONSUMPTION FROM CONSUMED RESOURCES BY WEB BROWSER IN WINDOWS OPERATING SYSTEM

*A. Vdovitchenko, Y. Makelska*

The article contains materials of planning experimental research of modern web browsers' energy efficiency.

Modern technologies of software development do not always allow you to get an energy-efficient software at the output. Therefore, an increase of energy efficiency and the necessity to reduce operating costs, while reducing the environmental impact has become a current issue in many scientific communities. An open question which requires both theoretical and experimental study is understanding the functioning of software and its influence on the overall power consumption of a portable device.

A web browser is an application that every Internet user has. Today, there are many different web browsers, but their main purpose is to enable the user to interact with text, images, videos, music, games and other information located on a website page on the Internet or a local network. Despite the growing popularity of using web browsers on portable devices, the energy consumed by this application is uncertain. Therefore, experimental research of consumed energy by web browsers is an actual scientific and applied problem.

At least 3 tools are needed to determine the performance and power consumption of web browsers. The first is a collection of loads to measure the performance of web browsers. As such a tool, two benchmarks are chosen from the Finnish company Futuremark, namely PEACEKEEPER. The second benchmark from the company Mozilla, which is called Dromaeo. Some popular benchmark variants, tests of which exist in selected tools were also considered. The second is the tool for energy profiling. The choice of Joulemeter software is explained by the fact that it is a profiler for Windows, which uses performance metrics to estimate the expended energy. Allows you to define and save in a file for later analysis of energy consumption of CPU, HDD, GPU, network devices and screen. And the most important thing is to monitor the consumption of electricity by a separate process. The third is a means of monitoring the use of system resources by the process. The standard utility included in the Windows OS was selected - a system monitor that allows you to monitor the consumption of system resources in real time, as well as keep usage statistics of these resources and save it into a file.

For the processing of experimental data, the main methods of statistical analysis have been selected. Preliminary processing of data is carried out on the basis of basic statistical indicators such as: mean, minimum, maximum value, mean deviation, standard deviation, etc.

The development of this research is supposed to carry out experimental studies of the energy efficiency of modern web browsers.

**Keywords:** web-browser, power consumption, power supply, processor, disk, load test, profiler, green software.

**Вдовитченко Александр Валерьевич** – канд. техн. наук, ст. преп. каф. инженерии программного обеспечения, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: o.vdovitchenko@khai.edu.

**Макельская Яна Валерьевна** – студент каф. инженерии программного обеспечения, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: makelskaaa@gmail.com.

**Vdovitchenko Aleksandr** – PhD, Senior Lecturer of Software Engineering Dept., National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: o.vdovitchenko@khai.edu.

**Makelskaya Yana** – student of Software Engineering Dept., National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: makelskaaa@gmail.com.