

УДК 004.414.22/004.052

И. Б. ТУРКИН, А. В. ВДОВИТЧЕНКО

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

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ УЧЕБНОГО КЛАССА

*В статье дан план эксперимента по оценке эффективности схем электропитания персональных компьютеров учебного класса, в качестве входных факторов использованы режим (схема) электропитания ОС Windows и режим работы персонального компьютера. В качестве режима работы персонального компьютера рассмотрены режимы обычной работы со студентами и работы под нагрузочным приложением – бенчмарком. Откликами эксперимента являются результаты работы нагрузочного приложения PCMark-7 и энергетического профилировщика Intel Power Gadget. Получены конкретные числовые результаты и сформулированы практические рекомендации по использованию схем электропитания в персональных компьютерах учебного класса.*

**Ключевые слова:** энергопотребление, энергетическое профилирование, управление питанием, пользователь, политика энергопотребления.

### Введение

В работе персональных компьютеров учебного класса различаются режимы работы, связанные с состоянием учебного процесса: учебный семестр, зачетная неделя, экзаменационная сессия, учебная практика и каникулы [1]. Наиболее сложной является организация работы системы компьютерных классов в течение учебного семестра, поскольку именно в этот период используется наибольшее количество разнообразных компьютерных программ. Дополнительные трудности в эту работу привносит необходимость компьютерной поддержки учебных занятий систем заочного и дистанционного образования. Последние требуют не только выделения дополнительных временных ресурсов работы класса, но и зачастую нуждаются в дополнительном специализированном программном обеспечении, ориентированном на решения задач упомянутых курсов. Работа учебного компьютерного класса в течение семестра подчинена расписанию работы высшего учебного заведения.

Наблюдения за использованием учебных компьютерных классов показывают, что интенсивность использования компьютеров довольно низкая в начале семестра, повышается перед проведением аттестации и достигает максимума в конце семестра. Таким образом, компьютерные классы имеют неравномерную загрузку в течение семестра.

**Цель статьи** – выполнить экспериментальную оценку эффективности применения энергосберегающих политик (схем) электропотребления в персональных компьютерах учебного класса.

Помимо этого, интерес представляет оценка фактической загруженности компьютерной техники в условиях учебного класса.

### 1. План эксперимента

Оценка эффективности схем электропитания персональных компьютеров (ПК) выполнена при воздействии двух факторов.

1. Режим (схема) электропитания ОС Windows [2] принимает 3 предустановленных в системе уровня:

- экономии энергии, предназначен для максимизации экономии энергии и хорошо подходит для увеличения времени автономной работы в мобильных ПК;
- сбалансированный, когда производительность системы автоматически приводится в соответствие с вычислительной сложностью решаемых задач;
- максимальной производительности, когда отключено динамическое масштабирование производительности в соответствии с рабочей нагрузкой, а вместо этого предоставлены уровни постоянного повышения производительности при соответствующем росте энергопотребления.

Для того чтобы учесть возможные вариации использования персонального компьютера в учебном процессе, измерения в режиме нормального функционирования выполнены в течение месяца на 9 компьютерах в предсессионный период. При этом каждая из трех перечисленных схем электропитания ОС Windows была установлена ровно на трех ПК.

2. Режим работы персонального компьютера принимает 2 уровня:

– нормальное функционирование, когда нагрузка компьютера определяется только активностью пользователя, решающего свои задачи. Будем полагать, что активность пользователя – это нестационарный случайный процесс, который определяет энергопотребление компьютера;

– максимальная нагрузка, которая создается нагрузочным приложением – программой PCMark-7. В данном режиме энергопотребление носит более детерминированный характер, поскольку алгоритмы программы PCMark-7 оптимизированы именно для максимального нагружения аппаратно-программной части системы.

Программа PCMark-7 относится к серии компьютерных бенчмарков, разработанных финской компанией Futuremark [3]. 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 синтетические, нагружающие определённые блоки компьютера, так и прикладные, например архивация данных, кодирование и декодирование аудио и видео, производительность физического движка и т. д.

PCMark-7 при каждом тестировании выполняет трижды прикладные задачи, которые входят в выбранный набор тестов (в данном случае: «LightWeight Test» – тест для вычислительных платформ небольшой производительности). 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 рисунков, б/с;
- запуск приложений, б/с;
- редактирование текста, операций/с;
- работа в браузере (просмотр Web-страниц), страниц/с.

Измерение энергетических характеристик процессора выполнено с помощью программы Intel Power Gadget (Linux, Windows, OS X), которая является программным измерителем мощности для процессоров Intel® Core™ второго поколения. Intel

Power Gadget [4] – профилировщик, предоставляющий статистику по энергопотреблению выбранного пользователем приложения на машинах с CPU на базе Sandy Bridge и новее. Предоставляет также интерфейс Power Gadget API, позволяющий пользовательским приложениям получать метрики энергопотребления. В версии 3.0 появились дополнительные функции, которые включают оценку мощности в системах с несколькими сокетами, а также внешне вызываемые API, которые помогают извлекать информацию о мощности в пределах участков кода. Поддержка мульти-разъема по существу оценивает Energy MSR для каждого сокета и обеспечивает оценку общей потребляемой мощности.

В результате работы программы создается текстовый файл, содержащий записи: System Time (системное время в каждый момент измерения), RDTSC (счетчик штампа времени чтения — количество циклов с момента подачи питания на ЦП или его сброса), CPU Frequency (частота ЦП в МГц), Package Power (потребляемая мощность, Вт) и т.д.

## 2. Анализ результатов оценки характеристик системы под воздействием нагрузки PCMark-7

В таблице 1 приведены измеренные интегральные показатели PCMark 7, характеризующие общее поведение системы под большой нагрузкой. Качественно их можно охарактеризовать следующим образом:

– режимы сбалансированный и максимальной производительности – статистически неразличимы;

– режим экономии энергии приводит к увеличению времени выполнения теста на 25 %, примерно на столько же снижается показатель производительности - итоговое количество очков Score. При этом энергетическая эффективность вычислений возрастает на 20 %.

На рис. 1 приведены измеренные пооперационные показатели PCMark 7 для всех трех режимов (схем) питания ОС Windows.

Таблица 1  
Средние значения интегральных показателей PCMark-7

| Режим электропитания            | Продолжительность выполнения, с | Score | Затраченная энергия, Дж |
|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------------------------|
| Экономия энергии                | 906                             | 2189  | 5500                    |
| Сбалансированный                | 697                             | 2748  | 6696                    |
| Максимальной производительности | 694                             | 2741  | 6935                    |

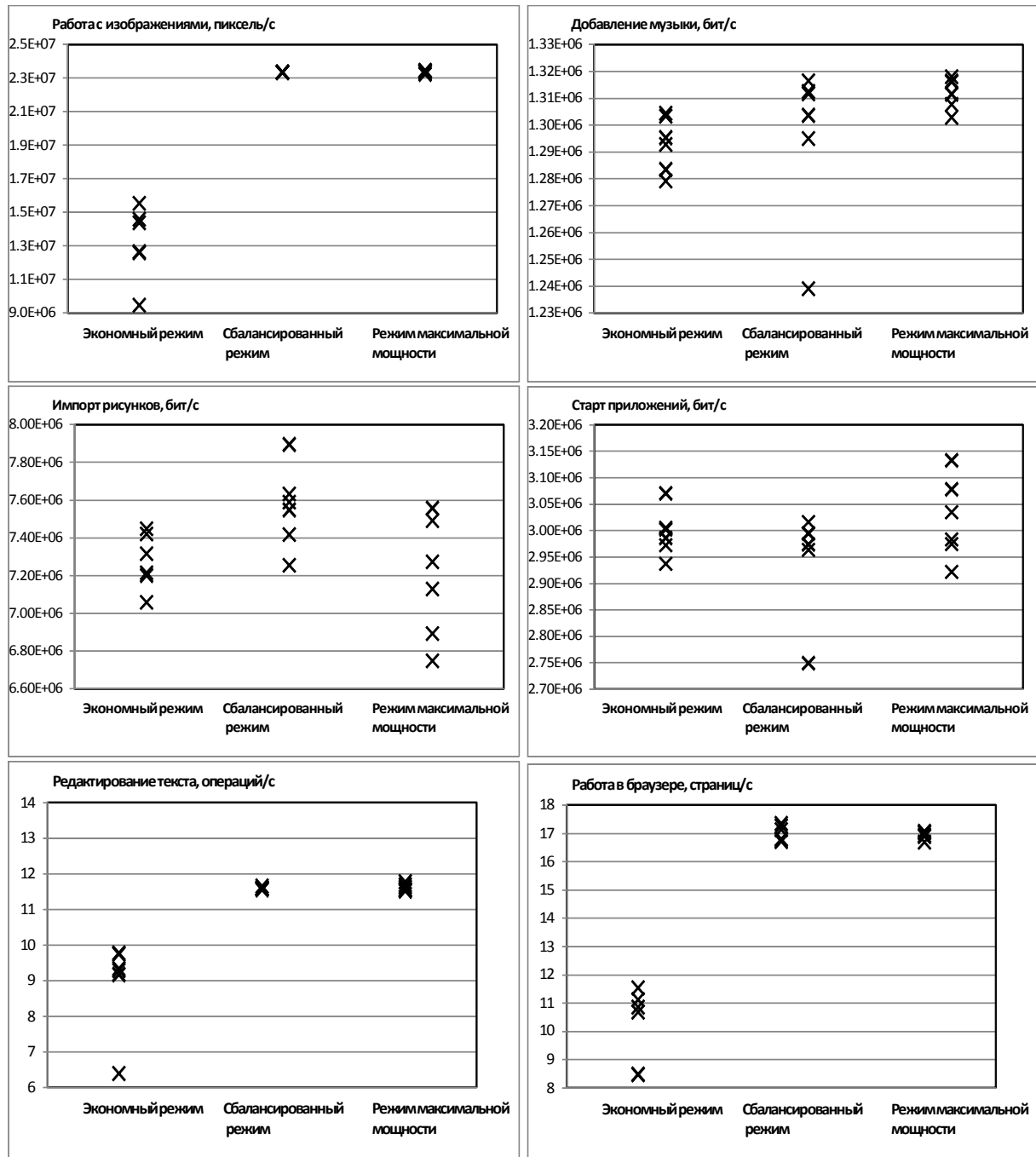


Рис. 1. Зависимость пооперационных показателей PCMark-7 от выбранного режима (схемы) питания

Потеря вычислительной мощности при использовании режима экономии энергии заметна на операциях с изображениями, редактировании текста и работы в браузере. Перечисленные операции выполняются на 30-40 % медленнее в режиме экономии энергии. Для остальных 3-х операций (добавление музыки, импорт рисунков, запуск приложений) говорить о потере производительности в режиме экономии энергии, заметной для пользователя, нет оснований. С учетом того, что запуск задач на исполнение программой PCMark-7 осуществляется специальным скриптом, задающим план параллель-

но-последовательного исполнения отдельных задач, полученные оценки пооперационной производительности должны приниматься весьма взвешенно.

### 3. Сравнение характеристик системы в режимах нормального функционирования и под воздействием нагрузки PCMark-7

В решении данной задачи использованы временные ряды, которые получены с помощью про-

граммы Intel Power Gadget. Анализ мощности (рис. 2), потребляемой процессором, которая включает мощности центрального и графического ядер процессора, показывает, что оба эти компонента оказывают существенное влияние на суммарную мощность.

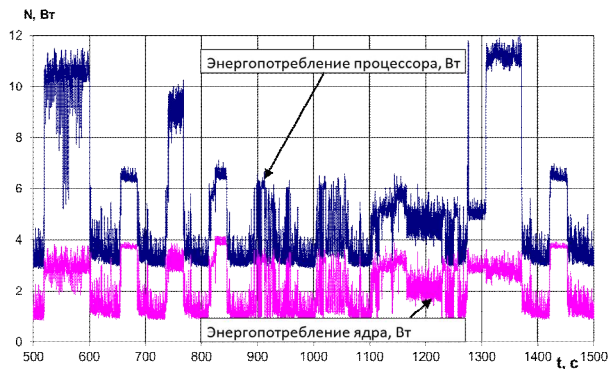


Рис. 2. Временные ряды мощностей, потребляемых процессором: суммарной центрального ядра

Рис. 3 иллюстрирует работу SpeedStep – энергосберегающей технологии Intel, в основе которой лежит динамическое изменение частоты и напряжения питания процессора [5]. В процессе работы происходит постоянное изменение частоты процессора, то есть интенсивности выполняемой вычислительной нагрузки в соответствии с методом динамического изменения напряжения (Dynamic Voltage Scaling, DVS) [6].

Эффект от масштабирования напряжения проявляется на рис. 4 наличием семейства точек, различающихся по потребляемой мощности, при одинаковой частоте процессора. Рисунки 3, 4 получены для работы в сбалансированном режиме.

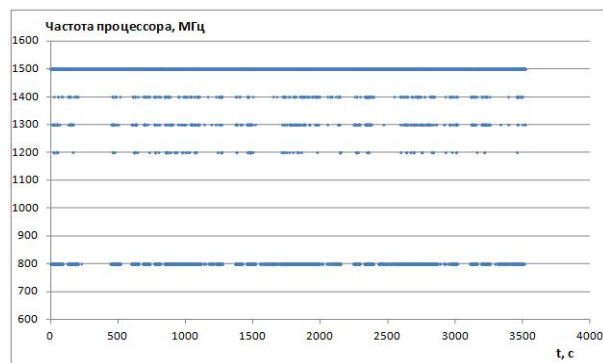


Рис. 3. Временной ряд частоты процессора

Рисунок 5 сопоставляет средние частоты и средние потребляемые мощности процессора в режимах нормального функционирования и под воздействием нагрузки PCMark-7. Маркеры 3-х видов соответствуют 3-м режимам (схемам электропита-

ния), а 2-х размеров – 2-м условиям работы: работы пользователя и работы нагрузочного приложения. В построении графика использованы данные около 1000 файлов, соответствующих режиму работы пользователя, и 6-ти файлов работы PCMark-7. Можно отметить, что в сбалансированном режиме достаточно постоянной является ситуация, когда пользователь создавал более нагруженные режимы работы, чем программа PCMark-7.

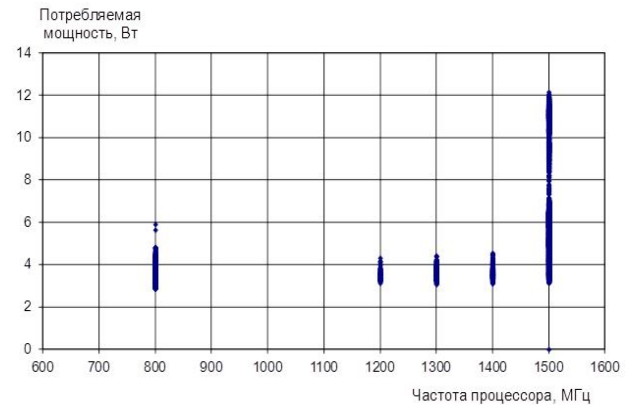


Рис. 4. Зависимость частоты процессора от потребляемой мощности

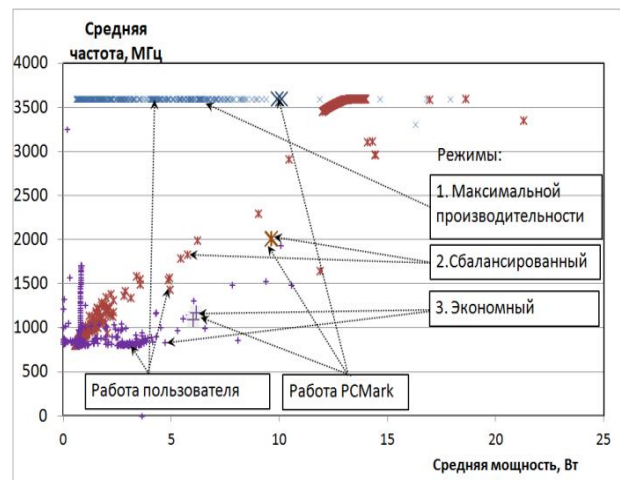


Рис. 5. Сравнение средних частот и средних потребляемых мощностей процессора в режимах нормального функционирования и под воздействием нагрузки PCMark-7

Анализ автокорреляционных функции для мощностей, потребляемых процессором в режиме обычного функционирования и под нагрузкой PCMark-7 (рис. 6) дает достаточно прогнозируемый результат:

– автокорреляционная функция в режиме нормального функционирования убывает заметно быстрее, чем в режиме нагрузке PCMark-7, что объясняется меньшей предсказуемостью будущего поведения пользователя;



Рис. 6. Автокорреляционные функции для мощностей, потребляемых процессором в режиме обычного функционирования и под нагрузкой PCMark 7

— автокорреляционная функция в режиме нагрузки PCMark-7 имеет подъем в области 900 с, что объясняется трехкратным повторением выполняемых тестов.

### Заключение

В статье из существующих подходов к управлению энергопотреблением определена основная группа – это подходы, в основании которых лежит технология DVS. Выделен компьютерный класс, как область с характерными особенностями использования ПК. Даны основные результаты по оценке эффективности схем электропитания персональных компьютеров учебного класса. В качестве инструментальных средств использованы нагрузочное приложение - бэнчмарк PCMark-7 и энергетический профилировщик Intel Power Gadget. Основным выводом, по мнению авторов, является вывод о целесообразности более широкого применения экономного режима работы операционной системы в условиях компьютерного класса. Дальнейшим развитием работы является проведение исследования, направленного на изучение субъективной удовлетворенности пользователей при использовании компьютеров с различными предустановленными режимами электропитания. Цель будущего исследования – измерить субъективную оценку удовлетворенности пользователей при работе компьютеров в различных режимах электропитания.

### Литература

1. Голубых, Н. М. Средства моделирования для повышения эффективности учебной компьютерной сети [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Надежда Михайловна Голубых. – Санкт-Петербург, 1998. – 117 с.
2. Экономия заряда батареи [Электронный ресурс] / Microsoft inc. – Режим доступа: <http://windows.microsoft.com/ru-ru/windows/conserving-battery-power#ITC=windows-7>. – 23.02.2015.
3. PCMark [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/PCMark>. – 23.03.2016.
4. De Vega, Jun. Intel® Power Gadget [Электронный ресурс] / Jun De Vega. – Режим доступа: <https://software.intel.com/en-us/articles/intel-power-gadget-20>. – 10.02.2016.
5. Enhanced Intel SpeedStep Technology for the Intel Pentium M Processor White Paper. [Electronic resource]. - Access mode: <ftp://download.intel.com/design/network/papers/30117401.pdf>. - 02.11.2015.
6. Snowdon, D. Power Management and Dynamic Voltage Scaling: Myths and Facts. [Text] / D. Snowdon, S. Ruocco, G. Heiser // Proceedings of the National ICT Australia and School of Computer Science and Engineering University of NSW. Australia, 2005. – P. 15-19.

### References

1. Golubykh, N. M. *Sredstva modelirovaniya dlya povysheniya effektivnosti uchebnoi komp'yuternoї seti*. Diss. kand. tehn. nauk [Similar for increase of efficiency of an educational computer network. Technical sci. diss.], St. Petersburg, 1998. 117 p.
2. *Ekonomiya zaryada batarei* [Saving of the battery power]. Available at: <http://windows.microsoft.com/ru-ru/windows/conserving-battery-power#ITC=windows-7> (accessed 23.02.2015).
3. *PCMark* Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/PCMark> (accessed 23.03.2016).
4. De Vega, Jun. *Intel® Power Gadget*. Available at: <https://software.intel.com/en-us/articles/intel-power-gadget-20> (accessed 10.02.2016).
5. *Enhanced Intel SpeedStep Technology for the Intel Pentium M Processor White Paper*. Available at: <ftp://download.intel.com/design/network/papers/30117401.pdf> (accessed 02.11.2015).
6. Snowdon, D. *Power Management and Dynamic Voltage Scaling: Myths and Facts*. *Proceedings of the National ICT Australia and School of Computer Science and Engineering University of NSW*. Australia, 2005, pp. 15-19.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СХЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПЕРСОНАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРІВ НАВЧАЛЬНОГО КЛАСУ

*І. Б. Туркін, О. В. Вдовітченко*

У статті надано план експерименту з оцінки ефективності схем електроживлення персональних комп'ютерів навчального класу, в якості вхідних факторів використані режими (схеми) електроживлення ОС Windows і режими роботи персонального комп'ютера. Як режими роботи персонального комп'ютера розглянуті режими звичайної роботи зі студентами та роботи під навантажувальним додатком – бенчмарком. Відгуками експерименту є результати роботи навантажувального додатку PCMark-7 і енергетичного профілювальника Intel Power Gadget. Отримано конкретні числові результати та сформульовані практичні рекомендації по використанню схем електроживлення в персональних комп'ютерах навчального класу.

**Ключові слова:** енергоспоживання, енергетичне профілювання, система розподілу ресурсів, користувач, політика енергоспоживання.

## THE EXPERIMENTAL EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF POWER'S SCHEMES OF TRAINING CLASS'S PERSONAL COMPUTERS

*I. B. Turkin, A.V. Vdovitchenko*

In this article the plan of experiment to evaluate of effectiveness of power's schemes of training class's personal computers is given. As the input factors the mode (scheme) of OS Windows power and the mode of personal computer is used. As the mode of personal computer the modes of usual work with students and work under the load application – benchmark are considered. The responses of these experiments are the results of the work of the load application PCMark-7 and energy profiler Intel Power Gadget. The specific numerical results are taken and practical recommendations of usage of the electric power's schemes in personal computers of training class are formulated.

**Keywords:** energy consumption, energy profiling, controlling of the power, user, the policy of energy consumption.

**Туркін Ігорь Борисович** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університета ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна, e-mail: turkinse@gmail.com.

**Вдовітченко Александр Валерьевич** – аспірант каф. інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університета ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна, e-mail: kentsanya91@gmail.com.

**Turkin Igor' Borisovich** – Dr. Sc. in Engineering, Prof., Head of Dep. of Software Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: igor.turkin.khai@gmail.com.

**Vdovitchenko Aleksandr Valer'evich** – Postgraduate, Department of Software Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: kentsanya91@gmail.com.