

**В. И. Гура,**  
*кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой компьютерной инженерии  
факультета компьютерных наук и инновационных технологий,  
Международный гуманитарный университет*

**Я. В. Гуревский,**  
*магистрант факультета  
компьютерных наук и инновационных технологий*

**Д. А. Коперсак,**  
*магистрант факультета  
компьютерных наук и инновационных технологий*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ**

На сегодняшний день большинство сотрудников организаций и предприятий имеют в своем распоряжении портативное устройство (мобильный телефон, смартфон или планшетный компьютер) как служебного пользования, так и собственное. Исходя из этого, все вычислительные мощности этих устройств можно объединить в единое целое и использовать в качестве экономически эффективной альтернативы выполняющимся задачам на традиционной инфраструктуре сервера организации.

Каждую ночь, большое количество неактивных портативных устройств подключены к источнику питания для подзарядки батареи. Учитывая постоянные темпы увеличения производительности портативных устройств, эти неактивные устройства составляют очень большую вычислительную инфраструктуру.

Например, компания Google, создала модель распределённых вычислений (MapReduce), которая используется для параллельных вычислений над очень большими, несколько петабайт, наборами данных в компьютерных кластерах. MapReduce – это Фреймворк для вычисления некоторых наборов распределенных задач с использованием большого количества компьютеров (называемых «нодами»), образующих кластер.

Портативные устройства представляют уникальный набор технических возможностей по сравнению с серверами и их можно использовать в качестве таких «нодов» [1].

В настоящее время, большинство организаций предоставляют своим сотрудникам портативные мобильные устройства для решения различных задач [1]. В различных источниках за 2011 г. отмечено, что у 66 % из опрошенных руководителей организаций активно используют для работы мобильные устройства, 75–100 % сотрудников [2]. Например, фармацевтическая корпорация Novartis [3] насчитывает около 100,000 сотрудников в 140 странах и руководство компании выдало портативные устройства для своих сотрудников, чтобы оперативно отвечать на письма приходящие по электронной почте, вести электронный документооборот, а также оперативно получать доступ к информационным ресурсам здравоохранения. Руководство организации [4] сделало все необходимое для своих сотрудников, чтобы иметь доступ в режиме реального времени, и манипулировать информацией о продуктах и позволить менеджерам обрабатывать различные задачи, а также вести удаленное администрирование.

При таких условиях, компания может использовать совокупную вычислительную мощность портативных устройств, чтобы создать инфраструктуру распределенных вычислений. Такая инфраструктура вполне может уменьшить и денежные и энергетические затраты компании. Во-первых, это сократит общее количество серверов компании.

Фармацевтическая корпорация Novartis заключила контракт с IBM на сумму в несколько миллионов долларов по внедрению центра обработки данных для своих вычислительных задач [5]. Если бы сотрудники корпорации могли бы использовать свои портативные устройства, чтобы выполнить некоторую часть их рабочей нагрузки, то стоимость их вычислительной инфраструктуры, была бы значительно уменьшена. Из-за недавнего прорыва в области производства процессоров для портативных устройств, теперь обычный планшетный ПК или смартфон может вполне заменить обычный персональный компьютер или даже сервер. В своей основе для реализации вычислений такое устройство использует 2-х ядерный, а некоторые модели и 4-х ядерный процессор. Согласно данным компании Nvidia, их 4-х ядерный процессор, Tegra3, при вычислительных операциях с числами, обгоняет в производительности процессора Core2Duo [6]; для остальных повседневных задач производительность этих двух процессоров практически сопоставима.

Во-вторых, становится очевидным что для вычислительной инфраструктуры основанной на портативных устройствах, корпорация, может извлечь огромную выгоду по вопросам энергосбережения, разгружая серверы и перегружая задачи на портативные устройства. Питание персонального компьютера или сервера, на таком процессоре как Core2Duo, составляет около 27 Вт [7] при максимальной нагрузке. Напротив, процессор портативного устройства может потреблять в 20 раз меньше мощности, например, у Tegra3 заявленная потребляемая мощность около 1,2 Вт [7; 8]. Так как вычислительные ресурсы процессоров практически идентичны, возможно, использовать приблизительно в 22 раз больше вычислительной мощности при расходовании тех же объемов энергии, заменяя единственный узел сервера множеством портативных устройств. Поставщики оборудования для дата-центров уже используют эффективные встроенные ARM-процессоры в своих серверах [9].

В организации управления такой инфраструктурой распределенных вычислений, при использовании портативных устройств, существует много связанных технических проблем. Попытаемся четко сформулировать эти проблемы и создать эффективную платформу к созданию такой жизнеспособной инфраструктуры. В частности, самым большим препятствием использования портативных устройств для такого рода инфраструктуры, является время работы от батареи и пропускная способность канала связи устройства. Во-первых, если портативное устройство используется для того, чтобы проводить вычисления в рабочее время, мы рискуем разрядить батарею, во вторых сегодня использование большого обмена трафиком между поставщиком услуг 3G и абонентом обычно ограничивается, и таким образом, обмен большими объемами данных, будет непрактичен. Таким образом, предположим, что портативное устройство должны использоваться для вычислений, когда оно не используется и находится на зарядке, в особенности ночью. В течение этого периода времени вероятность активного использования портативного устройства его владельцем будет низка. Кроме того устройство будет статично и, будет, иметь доступ к беспроводной сети в доме владельца (на сегодняшний день

у большинства домашних пользователей имеется точка доступа или роутер и безлимитный доступ к всемирной сети [10]).

Чтобы понять, как функционирует предлагаемая платформа, предположим наличие единственного сервера, соединенного с всемирной сетью, для того, чтобы запланировать задания для портативных устройств и обработать результаты вычислений. Алгоритмы планирования, выполняемые на сервере, не сильно громоздки, и таким образом, в качестве сервера можно использовать не дорогостоящий персональный компьютер или самый простейший сервер. Портативные устройства, используемые для вычисления, должны находиться в стадии зарядки. Если владелец отключает портативное устройство от зарядного устройства, задача должна быть приостановлена и перемещена на другое портативное устройство. При создании такой платформы должны предъявляться следующие требования:

- сотрудники должны ставить на зарядку свои портативные устройства, когда они активно не используются, по проведенным опросам пользователей портативных устройств, типичный пользователь заряжает свое устройство в течение 8-10 часов каждую ночь;

- планирование задач на портативных устройствах должен играть роль фундаментального компонента и учитывать производительность процессора, пропускную способность канала связи с всемирной сетью;

- миграция задач на другое портативное устройство должна выполняться только, когда они отключены от зарядного устройства.

При анализе различных источников, испытательные стенды для платформ распределенных вычислений публично доступны для тестирования на смартфонах и КПК [11; 12; 13; 14]. Также существуют системы, где пользователи добровольно предоставляют ресурсы своих ПК во время простоя к решению вычислительных задач [15; 16].

Близкой к принципу функционирования инфраструктуры распределенных вычислений с помощью портативных устройств, является система HTCCondor [17]. Система HTCCondor работает по принципу постановки в очередь и планирования заданий по распределенным вычислениям на настольных ПК. Система HTCCondor контролирует, неактивность ПК, и использует такое неактивное состояние для выполнения распределенных вычислений. Она также прекращает вычисления как только пользователи продолжают стандартное использование ПК. В то время, как вышеупомянутые функции системы HTCCondor могут быть похожи на функции нашей инфраструктуры распределенных вычислений, у них существуют следующие основные отличия.

Предлагаемая инфраструктура распределенных вычислений, позволяет сохранить заряд портативного устройства, используя функции регулировки загрузки процессора. Эта проблема, не учитывается в системе HTCCondor, так как настольные ПК постоянно подключены к сети. Настольные ПК главным образом отличаются только с точки зрения их тактовой частоты ЦП, памяти (RAM) и дисковое пространство. В кластер эти машины объединены через Ethernet-коммутаторы, и это обычно приводит к равномерной пропускной способности между машинами. Таким образом системы, подобные системе HTCCondor обычно не учитывают пропускную способность каналов связи при планировании своих задач. Напротив, у портативных устройств пропускная способность канала связи не постоянная величина (в дополнение к этому еще и переменная тактовая частота ЦП и опера-

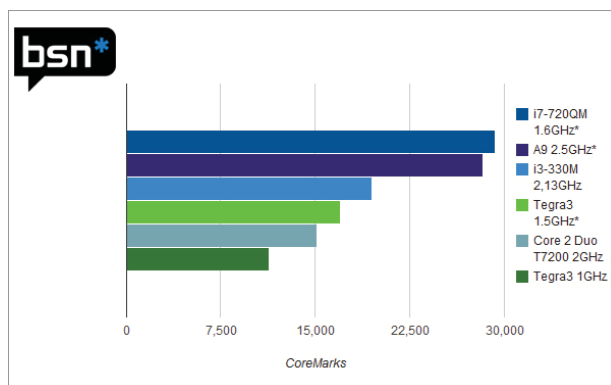
тивной памяти). Это приводит к субоптимальным решениям планирования, если пропускную способность не принять во внимание.

Проведенные измерения [18; 19], характеризуют типичный сетевой трафик и потребление энергии на портативных устройствах. Исследования, описанные в [20; 21] отмечают, что портативные устройства неактивны и их вычислительные ресурсы в течение больших промежутков времени не используются в течении дня, а особенно ночью. С большой вероятностью можно сказать, что эти периоды времени могут быть использованы, чтобы создать инфраструктуру распределенных вычислений.

Инфраструктура на портативных устройства привлекательна тем, что она может эффективно выполнять вычислительные задачи, с такой же скоростью или быстрее, но со значительно меньшим потреблением электрической энергии в отличие от современных серверов. Из-за быстрых темпов развития процессоров для портативных устройств уже сегодня существуют устройства с 4-х ядерными процессорами [22]. Некоторые из них имеют тактовые частоты до 2.5 ГГц на ядро. Чтобы сравнить производительность ЦП портативного устройства с ЦП типичного ПК и ЦП сервера, мы обратимся к известным сравнительным тестам CoreMark [23]. На рисунке 1 приведен сравнительный тест производительности ЦП портативных устройств и настольных ПК. Чем выше индекс тестовой программы CoreMark, тем лучше.

Мы видим, что, процессор NVIDIA Tegra3 выигрывает у Core2Duo. Этот тест показывает, что современные портативные устройства, например Galaxy S3 (работающий на Tegra3) может вполне заменить сервер или настольный ПК.

В то время как портативное устройство находится на зарядке, оно обычно выполняет только легкие фоновые задания (например, загружая электронное письмо), которые требуют минимального вычисления и неустойчивого доступа к сети. Чтобы идентифицировать и использовать периоды неактивности, реализуем приложение для Android, чтобы выяснить поведения пользователей.



**Рисунок 1. Сравнительное тестирование производительности ЦП портативных устройств и настольных ПК**

Приложение будет отслеживать три состояния по каждому портативному устройству:

- включенный – когда пользователь заряжает телефон;
- отключенный – когда телефон отсоединен от зарядного устройства;
- завершение работы – когда телефон выключен.

Когда будут проходить изменения в состоянии (т. е., от отключенного к включенному), log-файлы приложения будет изменяться на сервере вместе с отметкой времени (локального часового пояса пользователя). Кроме того, должен регистрироваться трафик по беспроводному интерфейсу. Сервер анализирует log-файлы журнала и вычисляет для каждого пользователя интервал времени в течении которого можно проводить вычисления: 1 – продолжительность интервала времени, 2 – число байтов (переданных и полученных) во время этого интервала.

При проведении исследования, на портативных устройствах устанавливается приложение и собирается статистика. На рисунке 2(а) графически изображено распределение времени когда портативное устройство находится на зарядке; как видно в промежутке с 10 часов вечера до 5 часов утра, находится тот интервал времени в течении которого можно использовать устройство для решения наших задач. Можно заметить, что средний интервал времени составляет приблизительно около 7 часов. На рисунке 2(б) графически изображает функция распределения передачи данных по всем интервалам времени ночью, когда устройство заряжается. Однако, мы видим, что сетевая активность составляет менее 2 Мб для 80 % всех случаев.

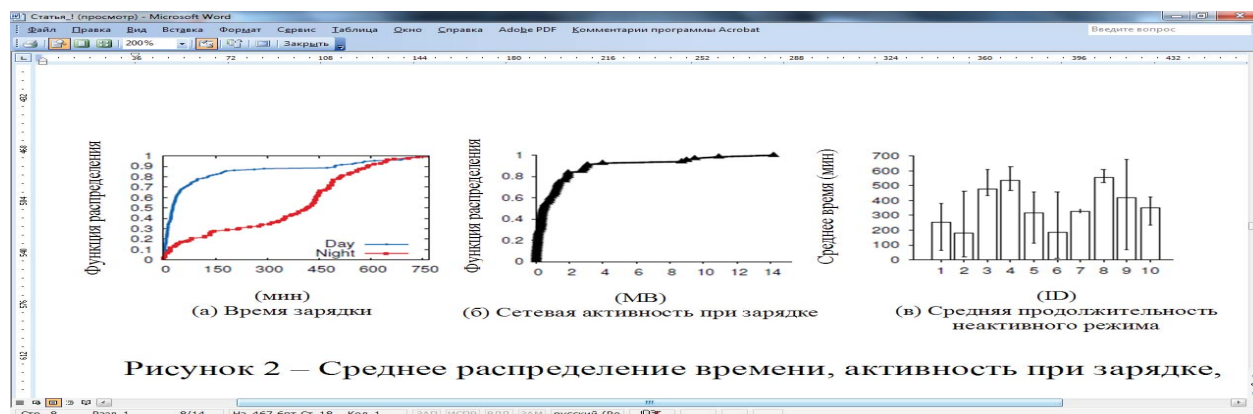


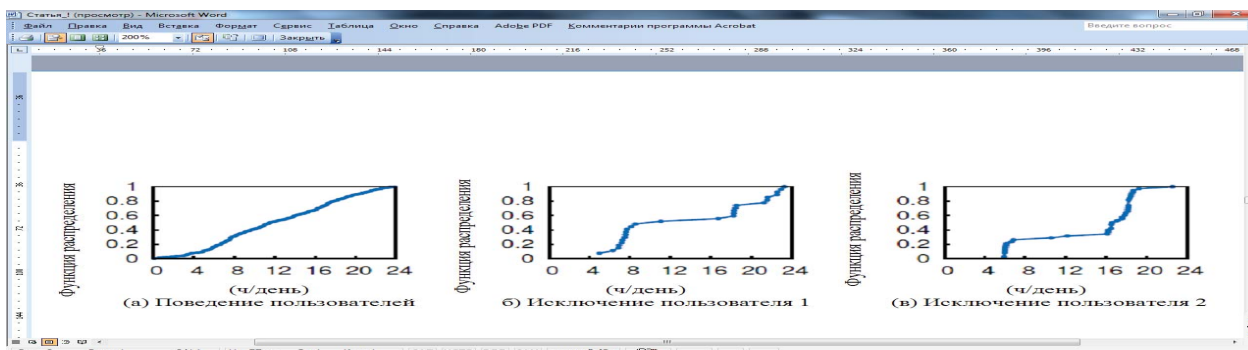
Рисунок 2 – Среднее распределение времени, активность при зарядке, продолжительность неактивного режима

### Рисунок 2. Среднее распределение времени, активность при зарядке, продолжительность неактивного режима

Рисунок 2(в) показывает, что у устройств, в среднем, есть по крайней мере 3 часа фазы неактивной зарядки ночью. Наша задача состоит в том, чтобы идентифицировать периоды времени, когда устройства, будут отключены с наибольшей вероятностью.

Рисунок 3(а) графически изображает функцию распределения отказа для всех пользователей. Замечено, что вероятность отказа ночью с 12 часов ночи до 8 часов утра составляет менее 30 %. В инфраструктуре распределенных вычислений, предполагается перемещать такие задачи на другие устройства, которые все еще находятся на заряде.

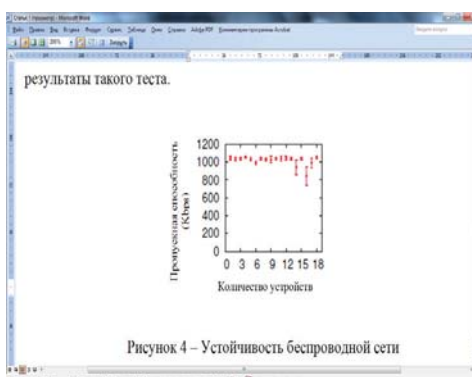
Рисунки 3(б) и 3(в) показывают поведение системы при отключении одного и двух устройств при проведении эксперимента. Вероятности отказа в период времени с 12 часов ночи до 6 часов утра в обоих случаях очень низки, но с 6 утра до 9 утра, увеличиваются, так как пользователи активно используют свои портативные устройства.



**Рисунок 3. Доступность портативных устройств для планирования задач инфраструктуры распределенных вычислений**

Чтобы полностью убедиться, что портативное устройство можно использовать для вычисления в ночной период времени, необходимо убедиться в устойчивости канала связи. Чтобы исследовать устойчивость канала связи, мы проводим эксперименты в 3-х километровом радиусе. Рисунок 4 отображает результаты такого теста.

Несмотря на то, что мы показали, что пропускная способность канала связи портативного устройства относительно устойчива, может все еще быть высокая изменчивость в пропускной способности.



**Рисунок 4. Устойчивость беспроводной сети**

Чтобы проверить это практически, мы проведем простой эксперимент: в наличии есть центральный сервер, который взаимодействует с несколькими портативными устройствами. У портативных устройств идентичные характеристики, но каналы связи имеют различную пропускную способность. На сервере присутствует 600 файлов, которые будут направлены к портативным устройствам для обработки. Обработка будет заключаться в нахождении самого большого целого числа в файле. Для каждого файла цикл обработки заключается в следующем. Сервер отправляет файл на одно портативное устройство, которое в свою очередь, обрабатывает файл и возвращает результат назад серверу. Если нет устройств находящихся на зарядке, файл будет поставлен в очередь. Так как все устройства первоначально неактивны, сервер может скопировать первые 6 файлов параллельно без организации очередей.

Сервер регистрирует срок выполнения задания для каждого файла, который вычислен как разница между временем, когда телефон возвращает результат и время, когда файл был поставлен в очередь. После этого первого эксперимента выключо-

чим два портативних устройства и распределим эти 600 файлов на 4 устройства. Замечаем следующую картину, которая отображена на рисунке 5, что с 6 устройствами 90 % задач завершаются меньше чем за 1200 миллисекунд.

С другой стороны, выбор ограниченного количества устройств, но с более стабильным беспроводным соединением, показывает более 90 % решенных задач за время около 700 миллисекунд (хотя задержка при организации постановки в очередь увеличивается).

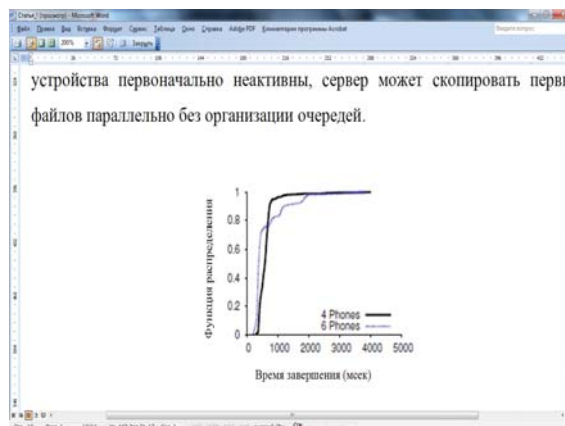


Рисунок 5. Распределение времени обработки файла

Наш эксперимент показывает, что использование всех устройств с плавающими показателями производительности ЦП плохо сказывается на времени завершения задачи. Если бы этот эксперимент проводился на кластере из 6 ПК с идентичной тактовой частотой ЦП, использование большего количества машин уменьшило бы времена завершения задачи. При планировании задач во внимание нужно также принять то, что используется беспроводной канал связи. Этот фактор уникален для среды портативных устройств и не учитывается в таких системах, таких как HTCCondor [17].

В зависимости от конфигурации, потребляемая мощность типичного сервера около 30 ватт (Core2Duo) и около 250 ватт (Intel Nehalem) [24], кроме того необходимо еще и эффективное охлаждение в процессе работы. Исходя из соображений энергопотребления сервера, финансовые затраты, для обеспечения питанием сервера на Core2Duo, обходятся ориентировочно на порядок выше чем обеспечение портативного устройства.

Предположения по созданию такой структуры, несомненно оправдываются следующими фактами: большинство сотрудников организаций пользуются портативными устройствами, устройства находящиеся в режиме зарядки практически простаивают, и, несомненно, такая инфраструктура приведет к снижению финансовых затрат предприятия на организацию вычислительной инфраструктуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Iphone in Business [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.apple.com/>
2. Enterprise Smartphone Usage Trends [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://trak.in/tags/business/2011/06/15/smartphone-usage-trends-enterprise/>
3. Novartis: Apps for good health [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.apple.com/iphone/business/profiles/novartis/>
4. Lowe's: Building better customer service. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.apple.com/iphone/business/profiles/lowes/>

5. IBM gets US\$2mn data center contract from Novartis. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bnamericas.com/news/technology>
6. NVIDIA says Tegra 3 is a «PC-class CPU». [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.engadget.com>.
7. Harizopoulos S. and Papadimitriou S. A Case for Micro-Cellstores: Energy-Efecient Data Management on Recycled Smartphones / DaMoN. – 2011.
8. Variable SMP – A Multi-Core CPU Architecture for Low Power and High Performance. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [http://www.nvidia.com/content/PDF/tegra\\_white\\_papers/tegra-whitepaper-0911b.pdf](http://www.nvidia.com/content/PDF/tegra_white_papers/tegra-whitepaper-0911b.pdf)
9. Smart Phone Chips Calling for Data Centers. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.technologyreview.com/news/426091/smart-phone-chips-calling-for-data-centers/>
10. WiFi Bandwidth Use in the U. S. Home Forecast to More Than Double in the Next Four Years [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://finance.yahoo.com/news/%20WiFi-Bandwidth-Use-U-S-Home-iw-4051717045.html>
11. PhoneLab [Електронний ресурс]. – Режим доступа <http://sensorlab.cs.dartmouth.edu/NSFPervasiveComputingAtScale/pdf/1569392923.pdf>
12. Almudeua Díaz Zayas and Pedro Merino Gómez. A testbed for energy profile characterization of IP services in smartphones over live networks / Mob. Netw. Appl.
13. Cuervo E., Gilbert P., Bi Wu, and Cox L. P. CrowdLab: An architecture for volunteer mobile testbeds / COMSNETS. – 2011.
14. Cappos J., Beschastnikh I., Krishnamurthy A., and Anderson T.. Seattle: A Platform for Educational Cloud Computing / SIGCSE. – 2009.
15. SETI@home [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [http://research.cs.wisc.edu/hcondor/](http://setiathome.berkeley.edu/16.Elespuru P. R., Shakya S., and Mishra S. MapReduce System over Heterogeneous Mobile Devices / SEUS. – 2009.</a></li>
<li>17. Computing with HTCondor [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <a href=)
18. Earl Oliver. The challenges in large-scale smartphone user studies / ACM HotPlanet. – 2010.
19. Hossein Falaki, Dimitrios Lymberopoulos, Ratul Mahajan, Srikanth Kandula, and Deborah Estrin. A first look at traffic on smartphones / IMC. – 2010.
20. Alex Shye, Benjamin Scholbrock, Gokhan Memik, and Peter A. Dinda. Characterizing and modeling user activity on smartphones: Summary / ACM SIGMETRICS. – 2010.
21. Earl Oliver. Diversity in smartphone energy consumption / ACM workshop on Wireless of the students, by the students, for the students. – 2010.
22. Quad-core smartphones: This is their year [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [http://www.cnet.com/8301-17918\\_1-57364255-85/quad-core-smartphones-this-is-their-year/](http://www.cnet.com/8301-17918_1-57364255-85/quad-core-smartphones-this-is-their-year/)
23. Coremark benchmark [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [www.coremark.org/](http://www.coremark.org/)
24. Andrew Krioukov, Prashanth Mohan, Sara Alspaugh, Laura Keys, David Culler, and Randy Katz. NapSAC: Design and Implementation of a Power-Proportional Web Cluster / Workshop on Green Networking. – 2010.

**Ю. П. Красный,**

*доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой математики и математического моделирования  
факультета компьютерных наук и инновационных технологий,  
Международный гуманитарный университет*

**А. Б. Козин,**

*кандидат физико-математических наук, доцент  
доцент кафедры математики и математического моделирования  
факультета компьютерных наук и инновационных технологий,  
Международный гуманитарный университет*

**О. Б. Папковская,**

*кандидат физико-математических наук, доцент,  
доцент кафедры высшей математики и моделирования систем,  
Одесский национальный политехнический университет*

## **МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИЗГИБА ПЛАСТИН НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ**

Рассматривается изгиб прямоугольной  $0 < x < a$ ,  $0 < y < b$  ортотропной шарнирно-опертой по краям пластины, у которой главные направления упругости