

УДК 621.382:004.75

И. Н. КОЛЕСНИК, В. А. КУЛАНОВ, А. Е. ПЕРЕПЕЛИЦЫН

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

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ FPGA В СОСТАВЕ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Описывается общая концепция построения облачных сервисов, представленных различными моделями. Рассматриваются варианты взаимодействия технологий программируемых логических интегральных схем класса FPGA и облачных вычислений. Предлагаются варианты использования программируемой логики класса FPGA в составе облачной инфраструктуры. Рассматриваются преимущества использования FPGA на различных уровнях облачной инфраструктуры. Проводится анализ проблем, которые существуют на пути реализации облачного сервиса, где в качестве ресурса предлагается использование FPGA.

Ключевые слова: программируемая логика, ПЛИС, FPGA, Cloud-технологии, облачный сервис, облачная инфраструктура, FPGA as a Service, FaaS, FPGA for a Service, FfaS.

Введение

Активно развивающиеся технологии облачных вычислений (Cloud Computing) позволяют конечному пользователю в короткий промежуток времени получить доступ к различным удалённым вычислительным ресурсам, в том числе к распределённым хранилищам баз данных. Таким образом, они становятся основной и незаменимой технологией для предоставления доступа по запросу через глобальную сеть к вычислительным программно-аппаратным ресурсам и хранилищам данных, представленных в виде сервисов.

Программируемая логика класса FPGA является привлекательной во многих вычислительных областях благодаря возможности обеспечения производительности, близкой к технологии ASIC (Application Specific Integrated Circuit), достижения высокой пропускной способности, предсказуемой задержки при более высокой проектной гибкости и поддержке низкого энергопотребления.

С точки зрения облачных вычислений, технология ПЛИС интересна в нескольких направлениях. Во-первых, многие ресурсоёмкие задачи, связанные с цифровой обработкой данных (аудиоданные, видеоизображение, фотоснимки и т.д.), требуют высокой производительности и могут быть эффективно решены с помощью технологии FPGA. Во-вторых, элементная база ПЛИС может быть задействована непосредственно в качестве платформы, на которой разворачивается некоторая часть (чаще всего аппаратная) облачной инфраструктуры (виртуальные машины, сетевые коммутаторы и т.д.). Это будет

особенно эффективно там, где необходима скорость и быстрота реакции на вносимые изменения (реконфигурирование). В связи с возросшим интересом и высокой востребованностью к решению подобного рода задач, необходимо рассмотреть вопросы, связанные с интеграцией технологии FPGA в состав Cloud-инфраструктуры.

Целью статьи является анализ возможных способов взаимодействия программируемой логики класса FPGA в составе облачной инфраструктуры.

1. Модели облачных сервисов

Существует несколько моделей сервисов, реализуемых с помощью облачных технологий [1]:

– "Программное обеспечение как сервис" – Software as a Service (SaaS);

– "Платформа как сервис" – Platform as a Service (PaaS);

– "Инфраструктура как сервис" – Infrastructure as a Service (IaaS).

Особенности каждой модели и их краткая характеристика представлены в таблице 1. Перечисленные типы сервисов являются базовыми, и на их основе функционируют другие, такие как Monitoring as a Service (MaaS), Communication as a Service (CaaS), Anything as a service (XaaS) и т.п.

Необходимо отметить, что перечисленные в таблице 1 базовые модели тесно взаимосвязаны друг с другом. Так, например, модель SaaS работает на базе модели PaaS, которая, в свою очередь, основывается на IaaS. Данная взаимосвязь представлена на рисунке 1.

Таблиця 1

Моделі сервісів, реалізованих в хмарних технологіях

Модель	Предоставляемые ресурсы	Возможности пользователя
Software as a Service, SaaS	Программное обеспечение	Использование ПО конкретного провайдера с помощью браузера или клиентского приложения
Platform as a Service, PaaS	Программная платформа	Размещение ПО, совместимого с сервисом конкретного провайдера
Infrastructure as a Service, IaaS	Базовые вычислительные ресурсы (процессорное время, сервера, сети, хранилища данных, и др.)	Размещение ПО, программных платформ и операционных систем

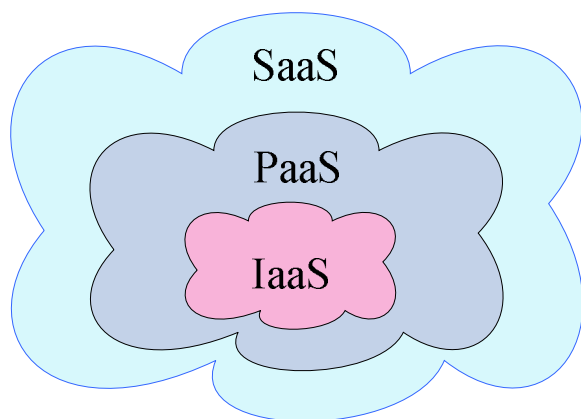


Рис. 1. Взаимодействие базовых моделей хмарних сервісів

2. Анализ вариантов взаимодействия технологии FPGA в составе хмарних сервісів

Анализ вариантов совместного использования технологий FPGA и Cloud позволяет заключить, что возможны следующие формы взаимодействия FPGA и хмарних вычислений [2]:

- хмарних вычисления для FPGA;
- FPGA для хмарних вычислений;
- FPGA как "гибкий" сервис;
- конкуренция FPGA и хмарних вычислений.

В первом случае хмарних вычисления используются для поддержки процессов разработки, верификации и сертификации FPGA-проектов и систем на ПЛИС – Cloud Computing for FPGA. Например, проект на FPGA может входить в хмарную инфраструктуру в качестве тестируемого образца, а все процессы, связанные с формированием тестовых данных, и последующая фиксация результатов моделирования происходит посредством хмарних сервісів.

Второй вариант, когда платформа FPGA используется для хмарних вычислений (FPGA for Cloud Computing), предполагает разработку и внед-

рение дополнительных сервісів, реализующих подход FPGA as a service (FaaS) [3]. В этом случае используется принцип аппаратного ускорения различного вида вычислений, от задач в области криптографии до цифровой обработки данных – потокового видео, аудио, обработки изображений (картография, томография и т.п.). Таким образом, подобные аппаратные ускорители могут применяться в дата-центрах для предоставления сервіса высокопроизводительных вычислений.

Подход FPGA как "гибкий" сервис (FPGA for flexible Cloud Computing) предполагает, что платформа ПЛИС используется в качестве реконфигурируемого сервіса. Т.е. пользователю предоставляется возможность как самому реализовывать собственные проектные решения, так и менять "прошивку" (архитектуру проекта) FPGA-ускорителей в соответствии с требованиями решаемой задачи для достижения большей производительности, по сравнению с решениями на основе неизменяемых архитектур.

Технология FPGA и хмарних вычисления могут конкурировать в области суперкомпьютерных вычислений и резильентных систем (реализация модели взаимодействия FPGA vs Cloud Computing). Обе технологии способны независимо давать решение одной и той же задачи, что, с одной стороны, предоставляет возможность выбора лучшего варианта согласно некоторому критерию, а с другой – допускает их совместное использование для обеспечения надежности/резильентности (посредством диверсности реализаций).

Хмарних технологии могут быть задействованы в поддержке процесса разработки и верификации больших проектов на ПЛИС. Также возможно улучшение Cloud-сервіса за счет вычислительного потенциала FPGA. Однако наибольший интерес представляет возможность организации "гибкого" сервіса, создаваемого под конкретную задачу, путём выбора архитектуры вычислителя из готового списка решений или же ее создания силами самого пользователя этого ресурса на основании его собственной архитектуры.

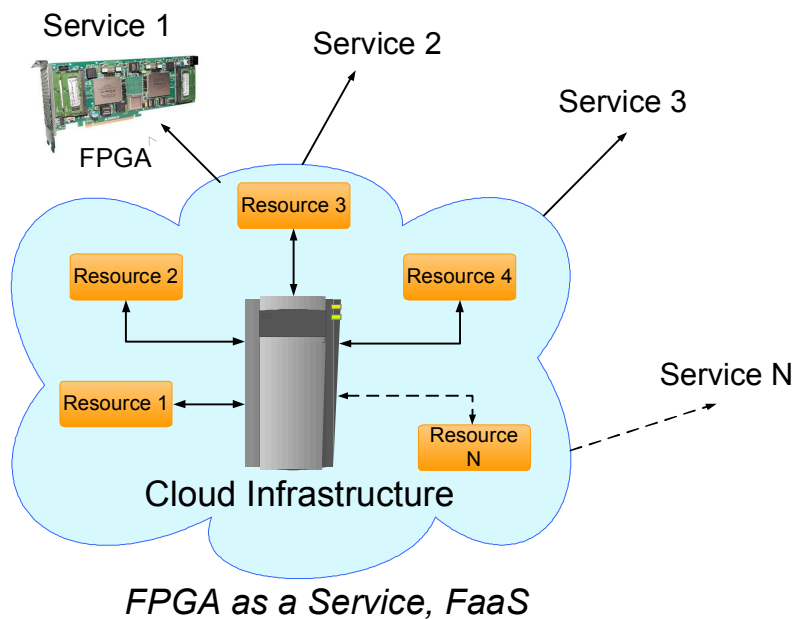


Рис. 2. Вариант взаимодействия технологии FPGA и Cloud инфраструктуры "FPGA как сервис"

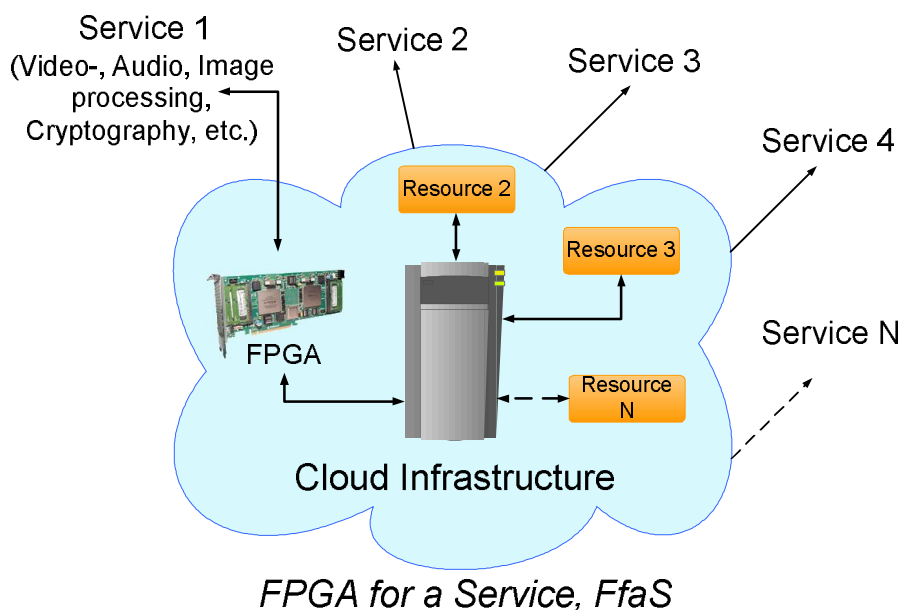


Рис. 3. Вариант взаимодействия технологии FPGA и Cloud инфраструктуры "FPGA для сервиса"

Таблица 2

FPGA в базовых моделях облачных сервисов

Модель	Применение FPGA	Эффект применения	Примеры технологий
SaaS	Ускорители на стороне сервера	Ускорение вычислений в ресурсоёмких алгоритмах используемого на сервере ПО, снижение энергопотребления	Catapult [4]
PaaS	Ускорители на стороне сервера	Ускорение вычислений в ресурсоёмких алгоритмах пользовательского ПО, снижение энергопотребления	HARNES [5]
IaaS	Облачный ресурс	Выделение FPGA пользователю в качестве обычного облачного ресурса (с возможностью выделения и реконфигурации по запросу пользователя)	—

Таким образом, исходя из рассмотренных способов, можно выделить два уровня взаимодействия технологии ПЛИС класса FPGA и облачной инфраструктуры (рисунки 2 и 3):

- FPGA как сервис (FPGA as a service, FaaS);
- FPGA для сервиса (FPGA for a service, FfaS).

3. Применение FPGA в базовых моделях облачных сервисов

Варианты использования технологии FPGA в базовых моделях облачных сервисов и эффект от их внедрения представлены в таблице 2. Они отличаются доступностью для конечного пользователя. Так, например, использование технологии FPGA в качестве ускорителя в сервисах типа SaaS полностью "прозрачно" для пользователя. В сервисе типа PaaS пользователь может загружать свой проект в FPGA, но процессом выделения ресурсов и реконфигурацией управляет непосредственно сервер. Наконец, в сервисах типа IaaS пользователь имеет возможность, помимо загрузки проекта, управлять выделением и реконфигурацией FPGA так же, как и другими, "традиционными" облачными ресурсами.

Так как базовые модели облачных сервисов реализуются по принципу вложенности, то, кроме перечисленных отдельных вариантов совместного использования FPGA и облачных технологий, возможно их комбинирование в пределах одного сервиса. Другими словами, все облачные модели, на которых построен конкретный сервис, могут использовать возможности FPGA независимо друг от друга.

4. Необходимость предоставления FPGA как ресурса

Учитывая рост популярности облачных технологий и FPGA, можно с уверенностью предположить, что потребность в размещении ПЛИС-проектов в облачной среде будет расти. Ранее можно было наблюдать аналогичный рост популярности применения графических процессоров в Cloud среде, ресурсы которых повсеместно используются и в наше время [6]. С помощью такой интеграции удалось добиться увеличения производительности облачных центров обработки данных (ЦОД). Однако применение графических процессоров не является энергоэффективным решением. Ещё к одному недостатку графических процессоров можно отнести их непригодность к многопользовательскому режиму доступа и, следовательно, сложность в управлении задачами [7].

В отличие от графических процессоров, FPGA потребляют меньше энергии, при этом обеспечивая

значительный прирост производительности. На сегодняшний день ведущие IT-производители, такие как IBM [8], Intel [9], Microsoft [10], предложили технологии для интеграции FPGA в облачные ЦОД. Проведённые исследования показывают значительный прирост производительности при незначительном увеличении потребления энергии [10]. Однако, все предложенные решения не предполагают непосредственного использования ресурсов FPGA пользователями облачных сервисов.

В соответствии с определением парадигмы облачных вычислений [1] для внедрения FPGA как облачного ресурса необходимо решить несколько проблем.

Во-первых, необходимо обеспечить возможность выделения пользователю некоторого объёма реконфигурируемой логики, которая может быть физически представлена как одной микросхемой FPGA, так и ее частью. При этом инфраструктура должна поддерживать совместное и независимое использование частей одного чипа FPGA разными пользователями. Сюда также необходимо отнести и случаи, когда возможно построение (конфигурирование) вычислительной цепочки (массива) из набора микросхем.

Во-вторых, необходимо предусмотреть возможную несовместимость проектов под FPGA разных производителей. Размещаемые пользователями проекты могут задействовать специфические возможности конкретной элементной базы, которые не поддерживаются ПЛИС в составе облачной инфраструктуры.

В-третьих, сервис должен иметь средства защиты от недобросовестного использования. Вредоносный проект, размещённый в FPGA, может привести к повреждению проектов других пользователей, а также к отказу всей инфраструктуры сервиса.

Выводы

В статье рассмотрены варианты взаимодействия технологий FPGA и Cloud. Установлено, что в общем виде возможно два уровня взаимодействия:

- FPGA как сервис (FPGA as a service, FaaS);
- FPGA для сервиса (FPGA for a service, FfaS).

В первом случае пользователь получает доступ к ресурсам FPGA непосредственно. Во втором случае возможна ситуация, когда ресурсы FPGA могут задействоваться неявно. И первый, и второй способы предполагают возможное получение доступа к существующим "прошивкам" (проектным решениям) в качестве дополнительного сервиса.

Также в статье описаны базовые модели облачных сервисов и обозначены преимущества использования технологии FPGA в каждой из них. Это:

– ускорение вычислений в ресурсоёмких алгоритмах;

– снижение энергопотребления в сравнении с традиционными и графическими процессорами.

Конкретные значения прироста производительности и снижения энергопотребления в случае использования FPGA-ускорителей требуют дополнительной оценки.

Кроме использования FPGA в качестве ускорителей, рассмотрена возможность использования FPGA в качестве облачного ресурса. Проанализированы проблемы, стоящие на пути реализации инфраструктуры такого облачного сервиса.

Направлением дальнейших исследований является поиск решения данных проблем.

Литература

1. *The NIST Definition of Cloud Computing [Electronic resource]* – Access mode: <http://nist.gov>. – 17.03.2016.
2. Chuikov, Y. A. *FPGA as a service for Cloud-based systems: option and time analysis [Text]* / Y. A. Chuikov, A. E. Perepelitsyn, V. S. Kharchenko // *Міжнародна науково-технічна конференція "Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2014 / Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ". – Харків, 2014. – Том 2. – С. 212.*
3. Yanovskaya, O. *The concept of green Cloud infrastructure based on distributed computing and hardware accelerator within FPGA as a Service [Text]* / O. Yanovskaya, M. Yanovsky, V. Kharchenko // *Proceedings of the IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. – 2014. – P. 45–48.
4. *A reconfigurable fabric for accelerating large-scale datacenter services [Text]* / A. Putnam, A. M. Caulfield, E. S. Chung, D. Chiou, et al // *In Proc. of the 41st Annual International Symposium on Computer Architecture, ISCA 2014. – Minneapolis, MN, USA, 2014. – P. 13–24.*
5. *Hardware- and Network-Enhanced Software Systems for Cloud Computing [Electronic resource]*. – Access mode: <http://www.harness-project.eu/>. – 17.03.2016.
6. *Enabling FPGAs in the Cloud [Text]* / F. Chen, Y. Shan, Y. Zhang, Y. Wang, H. Franke, X. Chang, K. Wang // *Proceedings of the 11th ACM Conference on Computing Frontiers*. – 2014. – P. 3:1-3:10.
7. Zhu, W. *Multimedia cloud computing [Text]* / W. Zhu, C. Luo, J. Wang, S. Li // *IEEE Signal Process. Mag.* – 2011. – Vol. 28, no. 3. – P. 59–69.
8. Wile, B. *Coherent Accelerator Processor Interface (CAPI) for POWER8 Systems [Text]* / B. Wile // *IBM White Paper*. – IBM Systems and Technology Group, 2014. – 13 p.
9. *Xeon+FPGA Platform for the Data Center [Electronic resource]*. – Access mode: <http://www.ece.cmu.edu>. – 17.03.2016.
10. *Online Scheduling for FPGA Computation in the Cloud [Text]* / G. Dai, Y. Shan, F. Chen, Y. Zhang, Y. Wang, et al // *Proceedings of the International Conference on Field-Programmable Technology (FPT)*. – 2014. – P. 330 – 333.
11. *Prototyping efficient desktop-as-a-service for FPGA based cloud computing architecture [Text]* / S. Shu, X. Shen, Y. Zhu, T. Huang, S. Yan, S. Li // *IEEE 5th International Conference on Cloud Computing*. – 2012. – P. 702-709.
12. Мельник, А. *Організація хмарних обчислень на базі масиву програмованих комірок логіки [Текст]* / А. Мельник, Н. Козак // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. – Львів, 2010. – № 672. – С. 45-49.

References

1. *The NIST Definition of Cloud Computing*. Available at: <http://nist.gov> (accessed 17.03.2016).
2. Chuikov, Y. A., Perepelitsyn, A. E., Kharchenko, V. S. *FPGA as a service for Cloud-based systems: option and time*. *International Scientific and Technical Conference "Integrated computer technology in engineering IKTM 2014": Abstracts*. Kharkov National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", 2014, vol. 2, pp. 212.
3. Yanovskaya, O., Yanovsky, M., Kharchenko, V. *The concept of green Cloud infrastructure based on distributed computing and hardware accelerator within FPGA as a Service*. *Proceedings of the IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, Kiev, Ukraine, 2014, pp. 45–48.
4. Putnam, A. *A reconfigurable fabric for accelerating large-scale datacenter services*. *In Proc. of the 41st Annual International Symposium on Computer Architecture, ISCA 2014, Minneapolis, MN, USA, 14–18 June 2014*, pp. 13–24. IEEE Computer Society (2014).
5. *Hardware- and Network-Enhanced Software Systems for Cloud Computing*. Available at: <http://www.harness-project.eu/> (accessed 17.03.2016).
6. Chen, F. *Enabling FPGAs in the Cloud*. *In Proceedings of the 11th ACM Conference on Computing Frontiers*, 2014, pp. 3:1-3:10.
7. Zhu, W. *Multimedia cloud computing*. *IEEE Signal Process. Mag.*, May 2011, vol. 28, pp. 59–69.
8. Wile, B. *Coherent Accelerator Processor Interface (CAPI) for POWER8 Systems*. *IBM White Paper*, Sep 2014. 13 p.
9. *Xeon+FPGA Platform for the Data Center*. Available at: <http://www.ece.cmu.edu> (accessed 17.03.2016).
10. Dai, G. *Online Scheduling for FPGA Computation in the Cloud*. *Proceedings of the International Conference on Field-Programmable Technology (FPT)*, 2014, pp. 330 – 333.
11. Shu, S. *Prototyping efficient desktop-as-a-service for FPGA based cloud computing architecture*.

IEEE 5th International Conference on Cloud Computing, 2012, pp. 702-709.

12. Mel'nyk, A., Kozak, N. Organizacija hmarnyh obchyslen' na bazi masyvu programovanyh komirok logiky [Organization of cloud computing based on array

of programmable logic cells]. *Visnyk Nacional'nogo universytetu "Lvivs'ka politehnika"* [Proceedings of the National University "Lvov Polytechnic"]. Lvov, 2010, vol. 672, pp. 45-49 (In Ukrainian).

Поступила в редакцію 21.03.2016, рассмотрена на редколлегии 14.04.2016

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ FPGA В СКЛАДІ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

I. M. Kolesnyk, V. O. Kulanov, A. E. Perepelitsyn

Описується загальна концепція побудови хмарних сервісів, представлених різними моделями. Розглядаються варіанти взаємодії технологій програмованих логічних інтегральних схем класу FPGA і хмарних обчислень. Пропонуються варіанти використання програмованої логіки класу FPGA в складі хмарної інфраструктури. Розглядаються переваги використання FPGA на різних рівнях хмарної інфраструктури. Здійснюється аналіз проблем, які існують на шляху реалізації хмарного сервісу, де в якості ресурсу пропонується використання FPGA.

Ключові слова: програмована логіка, ПЛІС, FPGA, Cloud-технології, хмарний сервіс, хмарна інфраструктура, FPGA as a Service, FaaS, FPGA for a Service, FfaS.

ANALYSIS OF FPGA TECHNOLOGIES APPLICATION AS A PART OF CLOUD INFRASTRUCTURE

I. N. Kolesnyk, V. O. Kulanov, A. E. Perepelitsyn

The concept of the construction of the cloud services presented by the various models has been described. The options of interaction between technologies of the programmable logic integrated circuits of the FPGA class and cloud computing have been considered. The options of using the programmable logic of the FPGA class as a part of the cloud infrastructure have been proposed. The advantages of using FPGAs at the different levels of cloud infrastructure have been considered. The problems of implementation of a cloud service, where the using of FPGA as a resource is offered have been analyzed.

Key words: programmable logic, PLD, FPGA, cloud technologies, cloud service, cloud infrastructure, FPGA as a Service, FaaS, FPGA for a Service, FfaS.

Колесник Інна Николаевна – аспірант кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: inna-kolesnik@list.ru.

Куланов Віталій Александрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: v.kulanov@csn.khai.edu.

Перепелицын Артём Евгеньевич – ст. преподаватель кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: a.perepelitsyn@csn.khai.edu.

Kolesnyk Inna Nikolaevna – postgraduate student of Computer Systems and Networks department, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: inna-kolesnik@list.ru.

Kulanov Vitaliy Aleksandrovich – candidate of technical sciences, Assistant Professor, Computer Systems and Networks department, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: v.kulanov@csn.khai.edu.

Perepelitsyn Artem Evgenievich – senior lecturer, Computer Systems and Networks department, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: a.perepelitsyn@csn.khai.edu.