

Н. Г. Кучук, А. А. Можаяев, С. И. Шматков, Н. В. Косенко

## УМЕНЬШЕНИЕ ЗАДЕРЖКИ ТРАНЗАКЦИЙ E-LEARNING В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ ГИПЕРКОНВЕРГЕНТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

**Актуальность исследования.** Инфраструктура, создаваемая на конвергентной платформе, предполагает объединение памяти, вычислительных и сетевых ресурсов в единый пул, а при гиперконвергентной архитектуре вычислительные мощности, хранилища, серверы, сети объединяются в одно целое с помощью программных средств. Это способствует сокращению эксплуатационных расходов, что особенно существенно для систем поддержки e-learning. **Предмет** исследования: процесс обработки транзакций e-learning в компьютерных сетях гиперконвергентной архитектуры. **Целью** статьи является уменьшение задержки транзакций e-learning в компьютерных сетях гиперконвергентной архитектуры. **Методы**, используемые при уменьшении задержки транзакций e-learning: методы теории множеств; оптимизация с использованием штрафных функций, метод потенциалов. **Результаты** исследования. Предложен метод минимизации средней задержки транзакций в компьютерных сетях гиперконвергентной архитектуры, позволяющий построить равномерное распределение выделенных вычислительных ресурсов для обработки множества транзакций e-learning по квантам заданного интервала времени. В методе строится такое разбиение множества транзакций на подмножества и их распределение по узлам сети в процессе распределенной обработки, при котором средняя задержка пакета данных в сети принимает минимальное значение и обеспечивает равномерную загрузку сети для большого числа абонентов. В предложенном методе целевая функция задачи поиска рационального разбиения множества транзакций e-learning, обрабатываемых в вычислительной сети, на подмножества и их распределения по узлам гиперконвергентной сети, определяется при помощи ввода функции штрафов при выделении каждой транзакции единицы вычислительного ресурса в текущий квант времени. **Выводы.** Предложен подход к уменьшению задержки транзакций e-learning в компьютерных сетях гиперконвергентной архитектуры. Подход основывается на предложенном методе минимизации средней задержки, учитывающем особенности гиперконвергентной архитектуры. Применение подхода позволяет сбалансировать сетевую нагрузку при большом числе транзакций и достичь требований к оперативности обработки транзакций e-learning.

**Ключевые слова:** e-learning; гиперконвергентная архитектура; транзакция, метод штрафов.

### Введение

В современном информационном мире появляются новые образовательные ориентиры: персонализация образования, интеграция педагогических и информационных технологий, переход к открытому содержанию образования в связи с развитием Интернет-технологий и сетевых ресурсов. Эти ориентиры обеспечиваются применением концепции e-learning, которая предполагает широкий набор приложений и процессов, обеспечивающих обучение, построенное на использовании web-технологий, и включает доставку учебного контента средствами удаленного доступа или локальной связи.

Базой e-learning являются электронные образовательные ресурсы (ЭОР).

Под ЭОР в общем случае понимают совокупность средств программного, информационного, технического и организационного обеспечения, электронных изданий, размещаемых на электронных носителях. ЭОР состоят из большого количества дополнительных программ, различных информационных блоков, содержащих информацию о студентах и преподавателях, а также материалы, которые необходимы для обучения.

Создание, развитие и дальнейшая эксплуатация университетских ЭОР требует вложения средств, которые в полном объеме практически неподъемны для большинства университетов Украины. Поэтому при создании ЭОР внимание уделяется платформе, которая позволила хотя бы частично сократить расходы.

В настоящее время на рынке IT-технологий распределенные облачные платформы постепенно

вытесняются конвергентными и гиперконвергентными [1].

Инфраструктура, создаваемая на конвергентной платформе, предполагает объединение памяти, вычислительных и сетевых ресурсов в пул, заранее сконфигурированный для работы в дата-центре [2], а при гиперконвергентной инфраструктуре вычислительные мощности, хранилища, серверы, сети объединяются в одно целое с помощью программных средств.

Управление происходит через общую консоль администрирования [3].

При гиперконвергентной инфраструктуре для управления ЭОР достаточно одного системного администратора. Это существенно снижает затраты на обслуживание системы. Поэтому данная платформа является преимущественной при выборе для университетского e-learning.

Однако в большинстве таких систем конечные абоненты используют гетерогенное Software and Hardware, что непосредственно связано с ограниченными финансовыми возможностями университетами Украины.

### Постановка задачи и анализ литературы

В процессе функционирования сети гиперконвергентной архитектуры с гетерогенными компонентами, которая обеспечивает функционирование e-learning возникает необходимость в обеспечении распределенной обработки заявок удаленных абонентов в заданные промежутки времени [4].

Достижение максимальной эффективности

распределенной обработки заявок удаленных абонентов сети в заданные промежутки времени возможно за счет обеспечения равномерного распределения вычислительных ресурсов (ВР) по квантам заданного интервала времени и нахождения распределения заявок удаленных абонентов по узлам сети, позволяющего минимизировать среднюю задержку пакета данных в ней [5]. Таким образом, задача повышения эффективности распределенной обработки заявок удаленных абонентов сети может быть сформулирована так: необходимо построить равномерное распределение ВР сети по квантам заданного интервала времени и найти такое разбиение множества заявок удаленных абонентов сети на подмножества и их распределение по узлам сети в процессе распределенной обработки, чтобы средняя задержка пакета данных в сети принимала минимальное значение и обеспечивалась равномерная загрузка сети.

Для решения поставленной задачи предлагается много различных методов [6 – 8]. Однако как уже указывалось в [4], все перечисленные методы имеют сравнительно невысокую вычислительную эффективность, что ограничивает решение поставленной задачи числом переменных

$$N = h_z \times h_y \leq 300,$$

где  $h_z$  – число независимых заявок удаленных абонентов, обрабатываемых в сети;  $h_y$  – число узлов сети.

Однако при эксплуатации e-learning в учебное время в большинстве университетов во время занятий обычно  $N \gg 300$ .

В связи с вышеприведенными обстоятельствами, возникает необходимость в разработке математической модели, позволяющей построить равномерное распределение вычислительных ресурсов неоднородной вычислительной сети по квантам заданного интервала времени и обеспечивающей минимизацию средней задержки пакета данных в сети при распределенной обработке заявок удаленных абонентов для большого числа переменных  $h_z \times h_y > 300$ .

**Целью** статьи является разработка метода минимизации средней задержки транзакций в компьютерных сетях гиперконвергентной архитектуры, позволяющей построить равномерное распределение выделенных вычислительных ресурсов для обработки множества транзакций e-learning по квантам заданного интервала времени и найти такое разбиение множества транзакций на подмножества и их распределение по узлам сети в процессе распределенной обработки, чтобы средняя задержка пакета данных в сети принимала минимальное значение и обеспечивалась равномерная загрузка сети для числа переменных  $N = h_z \times h_y > 300$ .

## Результаты исследований

Решение задачи построения равномерного распределения выделенных вычислительных ресурсов по квантам заданного временного интервала при обработке заявок отдельных абонентов вычислительной сети подробно рассматривалось в статье [9].

Исходными данными для решения рассматриваемой задачи являются:

$T_Z$  – заданный интервал времени, представляющий собой конечный набор квантов, равных  $1$  с;

$Z$  – множество транзакций e-learning.

При этом временной интервал  $T_Z$  представляется в виде отрезка натурального ряда

$$\{t_{z_1}, t_{z_2}, \dots, t_{z_i}, \dots, t_{z_{h_t}}\},$$

где  $t_{z_i}$  –  $i$ -й квант времени,  $1 \leq i \leq h_t$ ;

$h_t$  – число квантов временного интервала  $T_z$ .

Каждая заявка  $z_b \in Z$ ,  $1 \leq b \leq h_z$ , характеризуется параметрами  $\phi_{z_b}$ ,  $M_{\phi}^{(\gamma)}$ , где  $\phi_{z_b}$  – требуемый ВР для обработки заявки  $z_b$ ;

$T_{z_b} = \{t_{z_{b1}}, t_{z_{b2}}\}$  – интервал времени, в течение которого необходимо предоставить требуемый вычислительный ресурс;  $t_{z_{b1}}$  – начальный квант временного интервала  $T_{z_b}$ ;  $t_{z_{b2}}$  – конечный квант временного интервала  $T_{z_b}$ .

В результате распределения  $\gamma$  вычислительных ресурсов сети формируется матрица  $M_{\phi}^{(\gamma)}$ , в которой каждой заявке  $z_b \in Z$  сопоставляется вектор-строка

$$m_{\phi_b} = (m_{\phi_{b,1}}, \dots, m_{\phi_{b,h_t}}),$$

представляющая собой расписание выделения вычислительных ресурсов сети для обработки заявки  $z_b$ , где компонент  $m_{\phi_{b,i}}$  определяет выделенный для заявки  $z_b$  вычислительный ресурс в  $i$ -й квант времени.

Качество распределения  $\gamma$  оценивается с помощью целевой функции  $F^{(\gamma)}$  и величины максимального суммарного выделенного ВР, приходящегося на квант заданного временного интервала  $T_z$  в распределении  $\gamma$  по всем заявкам множества  $Z$  [10]:

$$m_{\phi_{\max}}^{(\gamma)} = \max_{i=1, \dots, h_t} \sum_{b=1}^{h_z} m_{\phi_{b,i}}.$$

При условии равномерного распределения по квантам заданного временного интервала  $T_z$

суммарного объема вычислений, необходимого для обработки заявок множества  $Z$ , выражение для определения величины минимального суммарного требуемого ВР, приходящегося на квант интервала  $T_z$ , примет вид [9]:

$$\phi_{z_{\min}} = \frac{1}{h_t} \sum_{b=1}^{h_z} \phi_{z_b}.$$

Основой определения целевой функции  $F^{(\gamma)}$  служит штраф при выделении заявке  $z_b \in Z$  единицы вычислительного ресурса в  $i$ -й квант времени. Если единица ВР для заявки  $z_b$ , характеризующейся интервалом времени обработки  $T_{z_b} = \{t_{z_{b1}}, t_{z_{b2}}\}$ , выделена в  $i$ -й квант, то соответствующий ей штраф определяется как [11, 12]:

$$s_{t_{b,i}} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_{z_{b1}} \leq t_{z_i} \leq t_{z_{b2}}; \\ (t_{z_{b1}} - t_{z_i}) / \phi_{z_b}, & \text{если } t_{z_i} < t_{z_{b1}}; \\ (t_{z_i} - t_{z_{b2}}) / \phi_{z_b}, & \text{если } t_{z_i} > t_{z_{b2}}, \end{cases}$$

Таким образом, для каждой заявки  $z_b \in Z$  имеем вектор  $s_{t_b} = (s_{t_{b1}}, \dots, s_{t_{bh_t}})$ , у которого компонент  $s_{t_{b,i}}$ ,  $1 \leq i \leq h_t$ , определяет величину штрафа при выделении заявке  $z_b$  единицы ВР в  $i$ -й квант времени.

Величина штрафа, характеризующего полученное распределение  $\gamma$  выделенных ВР для обработки множества заявок  $Z$ , определяет целевую функцию [13]:

$$F^{(\gamma)} = \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{i=1}^{h_t} m_{\phi_{b,i}} \cdot s_{t_{b,i}}.$$

При построении распределения  $\gamma$  ВР по квантам на заданном интервале времени  $T_z$  минимизируются величины  $F^{(\gamma)}$  и  $m_{\phi_{\max}}^{(\gamma)}$ . При этом распределение  $\gamma$  должно удовлетворять следующим условиям:

$$1) \forall z_b \in Z, \forall t_{z_i} \in T_{z_b}, m_{\phi_{b,i}} \geq 0, s_{t_{b,i}} \geq 0;$$

$$2) \forall z_b \in Z \sum_{i=1}^{h_t} m_{\phi_{b,i}} \leq \phi_{z_b};$$

$$3) \forall t_{z_i} \in T_z \sum_{b=1}^{h_z} m_{\phi_{b,i}} \leq \phi_{t_i},$$

где  $\phi_{t_i}$  – суммарный доступный вычислительный ресурс сети в  $i$ -й квант заданного интервала времени  $T_z$ .

Полученное равномерное распределение  $\gamma$  описывается с помощью кортежа  $\langle Z, \phi_z, T_z, \phi_t, M_{\phi}^{(\gamma)}, F^{(\gamma)}, m_{\phi_{\max}}^{(\gamma)} \rangle$ , где  $Z$  – множество заявок удаленных абонентов;  $\phi_z: Z \rightarrow N_+$  – функция, указывающая каждой заявке  $z_b \in Z$  требуемый

вычислительный ресурс для ее обработки;  $T_z: Z \rightarrow N_+$  – функция, указывающая каждой заявке  $z_b \in Z$  интервал времени для ее обработки;  $\phi_t: T_z \rightarrow N_+$  – функция, указывающая каждому кванту времени  $t_{z_i} \in T_z$  суммарный доступный вычислительный ресурс сети.

Для каждого вектор-столбца  $m_{\phi} = (m_{\phi_{1,i}}, \dots, m_{\phi_{h_z,i}})$  матрицы  $M_{\phi}^{(\gamma)}$ , определяющего выделенный ВР сети для обработки заявок множества  $Z$  в  $i$ -й квант заданного интервала времени  $T_z$  необходимо найти такое разбиение множества заявок  $Z$  на подмножества и их распределение по узлам сети, чтобы средняя задержка пакета данных в сети принимала минимальное значение. Целевая функция задачи поиска рационального разбиения множества задач  $Z$ , обрабатываемых в вычислительной сети, на подмножества и их распределения по узлам  $y_a \in Y$ , определяется выражением [14]:

$$F^{(\gamma)} = \frac{1}{u_{z_{\max}}} \cdot \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{a=1}^{h_y} m_{z_{b,a}} \cdot s_{y_{b,a}}, \quad (1)$$

где  $Y$  – множество узлов сети;  $u_{z_{\max}}$  – независимая от распределения  $\gamma$  величина, определяющая максимальную суммарную интенсивность обмена заявок с узлами вычислительной сети в соответствии с выражением  $u_{z_{\max}} = \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{i=1}^{h_y} u_{z_{b,i}}$ ;  $u_{z_{b,i}}$  – интенсивность обмена заявки  $z_b \in Z$  с узлом  $y_i \in Y$ ;  $m_{z_{b,a}}$  – ВР узла  $y_a$ , необходимый для обработки заявки  $z_b$ ;  $s_{y_{b,a}}$  – штраф при распределении заявки  $z_b \in Z$  на узел  $y_a \in Y$ , определяемый выражением

$s_{y_{b,a}} = \sum_{i=1}^{h_y} (u_{z_{b,i}} \cdot h_{wa,i}) / \phi_{z_b}$ ;  $h_{wa,i}$  – длина кратчайшего маршрута между узлами  $y_a$  и  $y_i$ , определяемая числом каналов ПД, входящих в этот маршрут. Полученное распределение  $\gamma$  должно удовлетворять следующим условиям:

$$1) \forall y_a \in Y \sum_{b=1}^{h_z} m_{z_{b,a}} \leq \phi_{y_a};$$

$$2) \forall z_b \in Z \sum_{a=1}^{h_y} m_{z_{b,a}} \leq \phi_{z_b};$$

$$3) \sum_{a=1}^{h_y} \phi_{y_a} \geq \sum_{b=1}^{h_z} \phi_{z_b};$$

$$4) s_{y_{b,a}} \geq 0, s_{z_{b,a}} \geq 0$$

$$\text{при } 1 \leq a \leq h_y, 1 \leq b \leq h_z,$$

где  $\phi_{y_a}$  – доступный вычислительный ресурс узла  $y_a \in Y$ .

С учетом приведенных условий, задача поиска рационального разбиения множества заявок  $Z$ , обрабатываемых в вычислительной сети, на подмножества и их распределения по узлам  $y_a \in Y$  может быть сформулирована следующим образом. Пусть заданы множества заявок  $Z$  и узлов  $Y$  вычислительной сети, определяемые кортежами  $\langle Z, \phi_z, U_z \rangle$  и  $\langle Y, \phi_y, H_w \rangle$ , где  $\phi_z = (\phi_{z_1}, \dots, \phi_{z_{h_z}})$  – вектор требуемых ВР для обработки множества заявок  $Z$ ;  $U_z = \|u_{z,b,i}\|$  – матрица интенсивностей обмена заявок множества  $Z$  с узлами множества  $Y$ ;  $\phi_y = (\phi_{y_1}, \dots, \phi_{y_{h_y}})$  – вектор доступных ВР множества узлов  $Y$  вычислительной сети;  $H_w = \|h_{w,a,i}\|$  – матрица длин кратчайших маршрутов между каждой парой узлов сети  $y_a$  и  $y_i$ ,  $1 \leq a \leq h_y$ ,  $1 \leq i \leq h_y$ . Требуется найти такое распределение  $\gamma$ , удовлетворяющее условиям 1 – 4, чтобы выражение (1) принимало минимальное значение.

Для решения указанной задачи целесообразно использовать метод потенциалов [14], обеспечивающий последовательное выполнение следующих операций: построение базового распределения ВР сети; построение системы потенциалов; проверку базового распределения на рациональность; построение замкнутого контура и

перераспределение ВР по контуру с целью минимизации целевой функции  $F^{(\gamma)}$ . В результате разбиения множества заявок  $Z$ , обрабатываемых в сети, на подмножества и их распределения по узлам множества  $Y$ , обеспечивающих минимизацию средней задержки пакета данных в сети, формируется матрица  $M_z^{(\gamma)}$ , каждый элемент  $m_{z_b,a}$  которой определяет ВР узла  $y_a \in Y$ , выделенный для обработки заявки  $z_b \in Z$ . Результирующее распределение описывается как  $\langle Z, \phi_z, Y, \phi_y, M_z^{(\gamma)}, F^{(\gamma)} \rangle$ .

### Выводы

Таким образом, предложен подход к уменьшению задержки транзакций e-learning в компьютерных сетях гиперконвергентной архитектуры. Подход основывается на предложенном методе минимизации средней задержки, учитывающем особенности гиперконвергентной архитектуры.

Применение подхода позволяет сбалансировать сетевую нагрузку при большом числе транзакций и достичь требований к оперативности обработки транзакций e-learning.

**Направление дальнейших исследований** – разработать метод, связывающий информационную структуру e-learning со структурой базовой гиперконвергентной сети.

### Список литературы

1. White Paper: Riverbed Hyper-converged Edge, available at : <https://www.riverbed.com/document-repository/white-paper--riverbed-hyper-converged-edge.html> (accessed 23 April 2017).
2. Черняк, Л. Время конвергентных инфраструктур, *Открытые системы*. СУБД, 2012. № 4. URL : <https://www.osp.ru/os/2012/04/13015754/> (accessed 23 April 2017).
3. Кучук Г. А. *Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення*. Х. : ХУПС, 2013. 264 с.
4. Kuchuk, N., Artiukh, R. and Nechausov, A. (2017), "Method of building the semantic network of distributed search in e-learning", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 62–69. Doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.062>
5. Кучук Г. А., Рубан І. В., Давікоза О. П. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. *Системи обробки інформації: збірник наукових праць*. 2013. Вип. 7 (114). С. 106–112.
6. Сергиенко И. В. *Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации*. К.: Наук. думка, 1985. 520 с.
7. Gelenbe, E., Pujolle, G. (2010), *Analysis and synthesis of computer systems (2nd Edition)*, Advances in Computer Science and Engineering : Texts, Vol. 4, 309 p.
8. Whitt, W. (1983), "The Queuing Network Analyzes", *Bell System Tech. J.*, Vol. 62, No. 9, P. 2779–2815.
9. Пашнев А. А., Кучук Г. А., Лебедева И. А. Распределение вычислительного ресурса однородной вычислительной сети по квантам заданного интервала времени. *Системи обробки інформації*. 2004. Вип. 7 (35). С. 146–153.
10. Kosenko, V. (2017), "Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network", *Сучасні інформаційні системи (Advanced Information Systems)*, Vol. 1, No. 2. P. 4–9. Doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01>.
11. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, P. 1–6. Doi: <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.
12. Kosenko, V. (2017), "Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 75–81. Doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.046>.



13. Kosenko, V. (2017), "Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network", *Сучасні інформаційні системи (Advanced Information Systems)*, Vol. 1, No. 2, P. 4–9. Doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01>.
14. Kuchuk, G. A., Kovalenko, A. A., Mozhaev, A. A. (2010), "An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010*, Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, P. 158–160.

## References

1. White Paper: Riverbed Hyper-converged Edge, available at : <https://www.riverbed.com/document-repository/white-paper--riverbed-hyper-converged-edge.html> (accessed 23 April 2017).
2. Chernyak, L. (2012), "Time of convergent infrastructures" ["Vremya konvergentnykh infrastruktur"], *Otkrytyye sistemy*. SUBD, No. 4. URL : <https://www.osp.ru/os/2012/04/13015754/> (accessed 23 April 2017).
3. Kuchuk, H. A. (2013), *Information Technologies for Integrated Data Flow Control in Information and Telecommunication Networks of Systems of Critical Purpose [Informatsiyni tekhnolohiyi upravlinnya intehral'nymy potokamy danykh v informatsiynno-telekomunikatsiynnykh merezhakh system krytychnoho pryznachennya]*, Kharkiv : KHUPS, 264 p.
4. Kuchuk, N., Artiukh, R. and Nechausov, A. (2017), "Method of building the semantic network of distributed search in e-learning", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 62–69. Doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.062>
5. Kuchuk, H. A., Ruban, I. V., Davikoza, O. P. (2013), "Conceptual approach to structure design of telecommunication network", *Information Processing Systems*, No. 7 (114), P. 106–112.
6. Sergiyenko, I. V. (1985), *Mathematical models and methods for solving discrete optimization problems [Matematicheskiye modeli i metody resheniya zadach diskretnoy optimizatsii]*, Kyiv : Nauk. dumka, 520 p.
7. Gelenbe, E., Pujolle, G. (2010), *Analysis and synthesis of computer systems (2nd Edition)*, Advances in Computer Science and Engineering : Texts, Vol. 4, 309 p.
8. Whitt, W. (1983), "The Queuing Network Analyzes", *Bell System Tech. I*, Vol. 62, No. 9, P. 2779–2815.
9. Pashnev, A. A., Kuchuk, H. A., Lebedeva, I. A. (2004), "Distribution of computational resource of a homogeneous computer network by quanta of a given time interval" ["Raspredeleniye vychislitel'nogo resursa odnorodnoy vychislitel'noy seti po kvantam zadannogo intervala vremeni"], *Information Processing Systems*, No. 7 (35), P. 146–153.
10. Kosenko, V. (2017), "Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2. P. 4–9. Doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01>.
11. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTTS)*, P. 1–6. Doi: <https://doi.org/10.1109/EWDTTS.2016.7807655>.
12. Kosenko, V. (2017), "Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 75–81. Doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.046>
13. Kosenko, V. (2017), "Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, P. 4–9. Doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01>.
14. Kuchuk, G. A., Kovalenko, A. A., Mozhaev, A. A. (2010), "An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010*, Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, P. 158–160.

Поступила (Receive) 22.05.2018

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Кучук Ніна Георгіївна** – кандидат педагогічних наук, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, доцент кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, м. Харків, Україна; e-mail: [nina\\_kuchuk@ukr.net](mailto:nina_kuchuk@ukr.net); ORCID: 0000-0002-0784-1465.

**Кучук Ніна Георгиевна** – кандидат педагогических наук, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, доцент кафедры теоретической и прикладной системотехники, г. Харьков, Украина; e-mail: [nina\\_kuchuk@ukr.net](mailto:nina_kuchuk@ukr.net); ORCID: 0000-0002-0784-1465.

**Kuchuk Nina** – PhD (Pedagogy), V.N. Karazin Kharkiv National University, Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Systems Engineering, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [nina\\_kuchuk@ukr.net](mailto:nina_kuchuk@ukr.net); ORCID: 0000-0002-0784-1465.

**Можяев Александр Александрович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет внутрішніх справ, професор кафедри інформаційних технологій, м. Харків, Україна; e-mail: [mozhaev1957@gmail.com](mailto:mozhaev1957@gmail.com); ORCID: 0000-0002-1412-2696.

**Можяев Александр Александрович** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет внутренних дел, профессор кафедры информационных технологий, г. Харьков, Украина; e-mail: [mozhaev1957@gmail.com](mailto:mozhaev1957@gmail.com); ORCID: 0000-0002-1412-2696.

**Mozhaiv Oleksandr** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Internal Affairs, professor of the chair of information technologies, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [mozhaev1957@gmail.com](mailto:mozhaev1957@gmail.com); ORCID: 0000-0002-1412-2696.

**Шматков Сергей Игоревич** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, заведующий кафедрой теоретической и прикладной системотехники, г. Харьков, Украина; e-mail: tps@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-6328-988X.

**Шматков Сергій Ігорович** – доктор технічних наук, професор, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, завідувач кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, м. Харків, Україна; e-mail: tps@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-6328-988X.

**Shmatkov Sergiy** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, head of the Department of Theoretical and Applied Systems Engineering, e-mail: tps@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-6328-988X.

**Косенко Наталя Вікторівна** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри управління проектами у міському господарстві і будівництві, м. Харків, Україна; e-mail: kosnatalja@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5942-3150.

**Косенко Наталья Викторовна** – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, г. Харьков, Украина; e-mail: kosnatalja@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5942-3150.

**Kosenko Nataliia** – PhD (Engineering Sciences), O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Associate Professor at the Department of Project Management in Urban Economy and Construction, Kharkiv, Ukraine; e-mail: kosnatalja@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5942-3150.

## ЗМЕНШЕННЯ ЗАТРИМКИ ТРАНЗАКЦІЙ E-LEARNING В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНОЇ АРХІТЕКТУРИ

**Актуальність дослідження.** Інфраструктура, що створена на конвергентній платформі, передбачає об'єднання пам'яті, обчислювальних і мережевих ресурсів в єдиний пул, а при гіперконвергентній архітектурі обчислювальні потужності, сховища, сервери та мережі об'єднуються в одне ціле за допомогою програмних засобів. Це сприяє скороченню експлуатаційних витрат, що особливо істотно для систем підтримки e-learning. **Предмет** дослідження: процес обробки транзакцій e-learning в комп'ютерних мережах гіперконвергентної архітектури. **Метою** статті є зменшення затримки транзакцій e-learning в комп'ютерних мережах гіперконвергентної архітектури. **Методи**, які використовуються при зменшенні затримки транзакцій e-learning: методи теорії множин; оптимізація з використанням штрафних функцій, метод потенціалів. **Результати** дослідження. Запропоновано метод мінімізації середньої затримки транзакцій в комп'ютерних мережах гіперконвергентної архітектури, що дозволяє побудувати рівномірний розподіл виділених обчислювальних ресурсів для обробки множини транзакцій e-learning по квантах заданого інтервалу часу. У методі будується таке розбиття множини транзакцій на підмножини і їх розподіл по вузлах мережі в процесі розподіленої обробки, при якому середня затримка пакета даних в мережі приймає мінімальне значення і забезпечує рівномірне завантаження мережі для великої кількості абонентів. У запропонованому методі цільова функція завдання пошуку оптимального розбиття множини транзакцій e-learning, оброблюваних в обчислювальній мережі, на підмножини і їх розподілу по вузлах гіперконвергентної мережі, визначається за допомогою введення функції штрафів при виділенні кожній транзакції одиниці обчислювального ресурсу в поточний квант часу. **Висновки.** Запропоновано підхід до зменшення затримки транзакцій e-learning в комп'ютерних мережах гіперконвергентної архітектури. Підхід ґрунтується на запропонованому методі мінімізації середньої затримки, що враховує особливості гіперконвергентної архітектури. Застосування підходу дозволяє збалансувати мережеве навантаження при великій кількості транзакцій і досягти вимог до оперативності обробки транзакцій e-learning.

**Ключові слова:** e-learning; гіперконвергентна архітектура; транзакція, метод штрафів.

## REDUCING THE DELAY OF E-LEARNING TRANSACTIONS IN COMPUTER NETWORKS OF HYPERCONVERGENT ARCHITECTURE

The **relevance** of research. The infrastructure created on a convergent platform involves combining memory, computing and network resources into a single pool. But in the context of a hyperconvergent infrastructure, computing power, storage, servers, networks are integrated by software. This contributes to reducing operating costs, which is especially important for e-learning support systems. The **subject** of the research is processing e-learning transactions in computer networks of hyperconvergent architecture. The **goal** of the article is to reduce the delay of e-learning transactions in computer networks of hyperconvergent architecture. The following **methods** were used to reduce the delay of e-learning transactions – the methods of set theory; optimization by penalty functions, the method of potentials. The following **results** were achieved: the method for minimizing the average delay of transactions in computer networks of a hyperconvergent architecture was proposed, which enabled assigning the distributed computing resources for processing a set of e-learning transactions equally to the quanta of a given time interval. The method also suggests partitioning the set of transactions into subsets and distributing them to network nodes while distributed processing so that the average delay of the data packet in the network assumes the minimum value and ensures a uniform network loading for a large number of subscribers. In the proposed method, the objective function of the task of finding a rational partitioning of a set of e-learning transactions processed in the computer network into subsets and their assignment to the nodes of the hyperconvergent network is determined by using the penalty function when each unit of the computing resource is assigned to the current time quantum. **Conclusions.** The approach for reducing the delay of e-learning transactions in computer networks of a hyperconvergent architecture is proposed. The approach is based on the proposed method for minimizing the average delay, taking into account the features of a hyperconvergent architecture. The application of the approach enables balancing the network load with a large number of transactions and meeting the requirements for the speed of e-learning transaction processing.

**Keywords:** e-learning; hyperconvergent architecture; transaction, method of penalties.