

УДК 614.8:519.711

Н.Г. Кучук

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

МЕТОД ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВИКОНАННЯ ТРАНЗАКЦІЙ E-LEARNING

Розроблено математичну модель планування виконання транзакцій e-learning на протязі заданого інтервалу часу. На її основі сформульовано задачу вибору оптимального плану зі множини допустимих за критерієм мінімізації обчислювального ресурсу.

Ключові слова: e-learning; електронні освітні ресурси; гіперконвергентна платформа.

Вступ

Застосування структурованого, цілеспрямованого використання комп'ютерних технологій для підтримки процесу навчання (e-learning) знаходить все більше застосування в навчальному процесі вишів різних країн. Так, за даними Babson Survey Research Group в 2016 році в США у онлайн-навчанні у вишах було залучено понад 8 мільйонів студентів [1].

Мета використання систем e-learning складається в управлінні знаннями кожного учня на основі достовірної оцінки його знань (в процесі навчання, підвищенні кваліфікації тощо), а також на основі індивідуального, адаптивного плану навчання з урахуванням наявних можливостей і особливостей. Для e-learning характерна незалежність територіального положення того, хто навчається, гнучкий індивідуальний графік проходження навчального плану, відсутність суб'єктивності екзаменатора при оцінці знань і багато іншого. Наслідком використання e-learning є зниження витрат, забезпечення якості освітнього процесу та економія часу тих, хто навчаються.

Базою e-learning є електронні освітні ресурси (ЕОР). Під ЕОР в загальному випадку розуміють сукупність засобів програмного, інформаційного, технічного та організаційного забезпечення, електронних видань, що розміщуються на електронних носіях. ЕОР можуть бути класифіковані таким чином [2]:

- за метою створення – навчальні, соціокультурні;
- за категорією користувачів;
- за формою організації навчального процесу – аудиторні заняття, самостійна освітня діяльність;
- за спеціальними потребами – без обмежень, з обмеженими можливостями здоров'я;
- за природою основної інформації – текстографічні, елементарні аудіовізуальні, мультимедійні;
- за технологією поширення – локальні, мережеві, комбінованого поширення;

за функцією в навчальному процесі – інформаційні, практичні, контрольні та інші типи ЕОР тощо.

Через надмірне захоплення концепцією прямого і безпосереднього використання інформаційно-телекомунікаційних можливостей Інтернет, в протиположності змістовним аспектам навчання, багато вишів мало уваги приділяли розробці і впровадженню ЕОР в свою освітню діяльність. Однак, як показали численні дослідження в області e-learning [3 – 5], домогтися якісного навчання неможливо без власних ЕОР.

Створення і розвиток університетських ЕОР вимагає вкладення коштів, в повному обсязі невідомих для більшості університетів України. Тому при створенні ЕОР увага приділяється платформі, що дозволяє хоча б частково скоротити витрати.

В даний час на ринку ІТ-технологій розподілені хмарні платформи поступово витісняються конвергентними і гіперконвергентними [6]. Інфраструктура, створювана на конвергентній платформі, передбачає об'єднання пам'яті, обчислювальних і мережевих ресурсів в пул, заздалегідь сконфігурованих для роботи в дата-центрі [7], а при гіперконвергентній інфраструктурі обчислювальні потужності, сховища, сервери, мережі об'єднуються в одне ціле за допомогою програмних засобів, а управління ними відбувається через загальну консоль адміністрування [8].

При гіперконвергентній структурі для управління ЕОР часом досить одного системного адміністратора. Це істотно знижує витрати на обслуговування системи. Тому дана платформа є кращою для університетського e-learning

1. Постановка завдання

Гіперконвергентні структури мають ряд переваг перед іншими платформами. Один гіперконвергентний вузол об'єднує обчислювальні ресурси і ресурси зберігання даних, що, веде до зменшення кількості окремих пристроїв і, як наслідок, зменшення кількості об'єктів, які треба купувати, встановлювати і обслуговувати. Крім цього більш легкому

розгортанню і обслуговуванню гіперконвергентних пристроїв сприяє те, що вони базуються на стандартних серверних компонентах. І нарешті, наявність у багатьох рішеннях інтегрованих інструментів управління спрощує завдання адміністрування. Однак, відповідно, є і ряд недоліків. Так, неможливо гранулярне оновлення або оперативне переналагодження системи. Можуть виникнути проблеми при налаштуванні конфігурації дисків сховища для певної програми. Крім того, незважаючи на більш високу продуктивність гіперконвергентних пристроїв, час обробки транзакцій в порівнянні з розподіленими системами збільшується (під транзакцією e-learning будемо розуміти групу логічно об'єднаних послідовних операцій по роботі з даними, що обробляється або скасовується повністю). Тому завдання забезпечення своєчасного виконання транзакцій є актуальним.

Мета статті – розробити метод планування виконання транзакцій e-learning в гіперконвергентному середовищі підтримки електронних освітніх ресурсів, при якому при своєчасному виконанні запитів транзакцій мінімізуються витрати обчислювального ресурсу.

2. Математична модель планування виконання транзакцій

Вхідними даними для математичної моделі є такі:

T_z – заданий інтервал часу планування,

Δt - величина кроку дискретизації інтервалу T_z , що дорівнює мінімальному безперервному часовому інтервалу, котрий є доступним для транзакції e-learning при запиті ЕОР;

Z - множина транзакцій користувачів системи e-learning, що обслуговуються на протязі інтервалу T_z .

При цьому часовий інтервал можна розбити на підінтервали точками з множини

$$T = \{t_{z_1}, t_{z_2}, \dots, t_{z_i}, \dots, t_{z_{h_t}}\}, \quad (1)$$

де t_{z_i} – початок i -го підінтервалу, $0 \leq t_{z_i} < T$; h_t – кількість підінтервалів часового інтервалу T_z . Кожна транзакція $z_b \in Z$, $1 \leq b \leq h_z$, $\text{card } Z = h_z$, характеризується параметрами ϕ_{z_b} , $M_\phi^{(\gamma)}$, де ϕ_{z_b} – розмір обчислювального ресурсу, необхідний для отримання транзакцією z_b необхідних ЕОР; $T_{z_b} = \{t_{z_{b1}}, t_{z_{b2}}\}$ – інтервал часу, на протязі якого необхідно надати необхідний ЕОР; $t_{z_{b1}}$ – початковий часовий підінтервал інтервалу T_{z_b} ; $t_{z_{b2}}$ – кінцевий часовий підінтервал інтервалу T_{z_b} .

Кожне можливий розподіл транзакцій γ задамо матрицею $M_\phi^{(\gamma)} = (m_{\phi_{b,i}})$ розміром $h_z \times h_t$, в якій кожній транзакції $z_b \in Z$ зіставляється вектор-рядок $\mathbf{m}_{\phi_b} = (m_{\phi_{b,1}}, \dots, m_{\phi_{b,h_t}})$, що є розкладом виділення обчислювальних ресурсів (ОР) для обробки транзакції z_b , де компонент $m_{\phi_{b,i}}$ визначає виділений для транзакції ОР у i -му підінтервалі часу.

Для визначення якості фіксованого розподілу γ введемо функцію штрафу при виділенні транзакції $z_b \in Z$ часових підінтервалів. Штраф накладається в разі, якщо за інтервал часу, протягом якого необхідно надати необхідний ЕОР, ресурс не надано. Якщо запит ЕОР для транзакції, що характеризується інтервалом часу обробки $T_{z_b} = \{t_{z_{b1}}, t_{z_{b2}}\}$, виконується в i -му підінтервалі, то штраф, що відповідає цьому елементу матриці $M_\phi^{(\gamma)}$, визначається таким чином:

$$s_{t_{b,i}} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_{z_{b1}} \leq t_{z_i} \leq t_{z_{b2}}; \\ (t_{z_{b1}} - t_{z_i}) / \phi_{z_b}, & \text{если } t_{z_i} < t_{z_{b1}}; \\ (t_{z_i} - t_{z_{b2}}) / \phi_{z_b}, & \text{если } t_{z_i} > t_{z_{b2}}. \end{cases} \quad (2)$$

Таким чином, для кожної транзакції $z_b \in Z$ маємо вектор штрафу $\mathbf{s}_{t_b} = (s_{t_{b1}}, \dots, s_{t_{bh_t}})$, у котрого компонент $s_{t_{b,i}}$, $1 \leq i \leq h_t$ визначає величину штрафу при виділенні транзакції z_b одиниці ЕНР в i -й квант часу. Отриманий набір векторів штрафу визначає якість планування в розподілі γ .

Величина штрафу, що характеризує отриманий розподіл γ виділених ЕОР для обробки множини транзакцій Z , визначає функцію якості

$$F^{(\gamma)} = \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{i=1}^{h_t} m_{\phi_{b,i}} \cdot s_{t_{b,i}}. \quad (3)$$

При побудові розподілу транзакцій γ ЕОР по квантах на заданому інтервалі часу T_z необхідно мінімізувати величину $F^{(\gamma)}$.

При цьому розподіл γ має задовольняти таким умовам:

$$\forall z_b \in Z, \forall t_{z_i} \in T_{z_b}, m_{\phi_{b,i}} \geq 0, s_{t_{b,i}} \geq 0; \quad (4)$$

$$\forall z_b \in Z, \sum_{i=1}^{h_t} m_{\phi_{b,i}} \leq \phi_{z_b}; \quad (5)$$

$$\forall t_{z_i} \in T_z \sum_{b=1}^{h_z} m_{\phi_{b,i}} \leq \phi_{t_i}, \quad (6)$$

де ϕ_{t_i} – сумарний доступний обчислювальний ресурс на i -му підінтервалі заданого інтервалу часу T_z .

Якщо на інтервалі часу T_z ввести шкалу з кроком Δt , то множину точок розбиття (1) можна апроксимувати підмножиною ряду натуральних чисел: $T \rightarrow T_{h_t} = \{1, \dots, h_t\}$.

Введемо такі вектори:

$\bar{\phi}_z = (\phi_{z1}, \phi_{z2}, \dots, \phi_{zn_b})$ – вектор, який визначає для кожної транзакції $z_b \in Z$ необхідний ОР для її обробки;

$\bar{t}_{z,1} = (t_{z,1,1}, t_{z,2,1}, \dots, t_{zn_b,1})$;
 $\bar{t}_{z,2} = (t_{z,1,2}, t_{z,2,2}, \dots, t_{zn_b,2})$ – вектори, що вказують кожній транзакції $z_b \in Z$ інтервал часу для її обробки;

$\bar{\phi}_t = (\phi_{t_1}, \phi_{t_2}, \dots, \phi_{t_{n_t}})$ – вектор, який визначає кожному підінтервалу сумарний доступний ОР.

Тоді отримане розподіл $\Gamma(\gamma)$ за умови виконання обмежень (4) - (6) описується за допомогою кортежу

$$\Gamma(\gamma) = \langle Z, \phi_z, T_z, \phi_t, M_{\phi}^{(\gamma)}, F^{(\gamma)} \rangle. \quad (7)$$

На множині всіх можливих розподілів $\{\Gamma\}$ побудуємо підмножину \mathfrak{Z} таким чином:

$$\mathfrak{Z} = \{ \Gamma(\gamma) \mid F^{(\gamma)} = 0 \}; \quad (8)$$

$$\text{card } \mathfrak{Z} = \emptyset \Rightarrow \mathfrak{Z} = \left\{ \Gamma(\gamma^*) \mid F^{(\gamma^*)} = \min_{\gamma} F^{(\gamma)} \right\}. \quad (9)$$

В результаті математична модель планування виконання транзакцій e-learning визначається виразами (1) - (9).

3. Вибір оптимального плану виконання транзакцій

План виконання транзакцій будується на основі розробленої математичної моделі.

Якщо $\text{card } \mathfrak{Z} = 1$, то розподіл, що є його єдиним елементом, і є шуканим планом.

У разі, якщо $\text{card } \mathfrak{Z} > 1$, необхідно зробити вибір з його елементів, кожен з яких задовольняє вимогам до запитів транзакцій e-learning.

Визначимо величину максимального сумарного виділеного ОР, що припадає на один підінтервал заданого часового інтервалу T_z в розподілі $\gamma \in \mathfrak{Z}$ по всіх транзакціях множини Z :

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

При цьому середню величину мінімального сумарного необхідного ОР, що припадає на один підінтервал інтервалу T_z , можна визначити як

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

Для вибору необхідного плану виконання транзакцій проведемо подальшу деталізацію розглянутої гіперконвергентної інфраструктури (ГКІ). Розглянемо підмножину вузлів ГКІ, задіяну в обробці транзакцій із множини Z – $Y = \{y_1, \dots, y_a, \dots, y_{h_y}\}$, $\text{card } Y = h_y$. Тоді в межах

фіксованого розподілу γ можна визначити матрицю інтенсивностей обміну транзакцій множини Z з вузлами множини Y : $U_z = \left\| u_{z_{b,i}} \right\|$, в якій кожен елемент $u_{z_{b,i}}$ – інтенсивність обміну транзакцій $z_b \in Z$ з вузлом y_i , що розраховується як

$u_{z_{b,j}} = \sum_{i=1}^{h_t} (m_{\phi_{b,i}} \cdot I_{b,j,i})$, де $I_{b,j,i}$ – булева функція, що дорівнює 0 тоді і тільки тоді, коли процес обробки запиту транзакції $z_b \in Z$ вузлом $y_i \in Y$ не належить у i -му часовому підінтервалу.

Для кожного вектор-стовпця $m_{\phi_i} = (m_{\phi_{1,i}}, \dots, m_{\phi_{h_z,i}})$ матриці $M_{\phi}^{(\gamma)}$, що визначає виділений ОР для обробки транзакцій множини Z в i -му підінтервалі заданого інтервалу часу T_z необхідно знайти таке розбиття множини транзакцій Z на підмножини і їх розподіл по вузлах ГКІ, щоб сумарний час виконання запитів транзакцій мав мінімальне значення. Тоді цільова функція задачі пошуку оптимального розбиття множини транзакцій Z , запити яких обробляються елементами ГКІ Y , на підмножини і їх розподіл по вузлах $y_a \in Y$, визначається виразом:

$$F^{(\gamma)} = \frac{1}{u_{z_{\max}}} \cdot \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{a=1}^{h_y} m_{z_{b,a}} \cdot s_{y_{b,a}}, \quad (10)$$

де $u_{z_{\max}}$ – незалежна від розподілу $\Gamma(\gamma)$ величина, яка визначає максимальну сумарну інтенсивність обміну транзакцій з вузлами Y відповідно до виразу

$u_{z_{\max}} = \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{i=1}^{h_y} u_{z_{b,i}}$; $m_{z_{b,a}}$ – ОР вузла y_a , необхідний

для обробки транзакції z_b ; $s_{y_{b,a}}$ – штраф при розподілі транзакції $z_b \in Z$ на вузол $y_a \in Y$, який визначається виразом

$$s_{y_{b,a}} = \sum_{i=1}^{h_y} (u_{z_{b,i}} \cdot h_{w_{a,i}}) / \phi_{z_b};$$

$h_{wa,i}$ – довжина найкоротшого маршруту між вузлами y_a і y_i .

Отриманий розподіл γ має відповідати таким вимогам:

$$\forall y_a \in Y \left| \sum_{b=1}^{h_z} m_{z_{b,a}} \leq \phi_{y_a} ; \quad (11)$$

$$\forall z_b \in Z \left| \sum_{a=1}^{h_y} m_{z_{b,a}} \leq \phi_{z_b} ; \quad (12)$$

$$\sum_{a=1}^{h_y} \phi_{y_a} \geq \sum_{b=1}^{h_z} \phi_{z_b} ; \quad (13)$$

$$s_{y_{b,a}} \geq 0, m_{z_{b,a}} \geq 0 \text{ для } 1 \leq a \leq h_y, 1 \leq b \leq h_z, \quad (14)$$

де ϕ_{y_a} – доступний ОР вузла $y_a \in Y$.

З урахуванням наведених умов, завдання пошуку оптимального розбиття множини транзакцій Z , що оброблюються в ГКІ, на підмножини і їх розподілу по вузлах $y_a \in Y$ може бути сформульована таким чином.

Нехай задані множини транзакцій Z і вузлів Y ГКІ, які визначаються кортежами

$$\langle Z, \phi_z, U_z \rangle \text{ і } \langle Y, \phi_y, H_w \rangle,$$

де $\phi_z = (\phi_{z_1}, \dots, \phi_{z_{h_z}})$ – вектор необхідного ОР для обробки множини транзакцій Z ; $U_z = \|u_{z_{b,i}}\|$ – матриця інтенсивностей обміну транзакцій множини Z з вузлами множини Y ; $\phi_y = (\phi_{y_1}, \dots, \phi_{y_{h_y}})$ – вектор доступного ОР вузлів Y ГКІ; $H_w = \|h_{w_{a,i}}\|$ – матриця довжин найкоротших маршрутів між кожною парою вузлів ГКІ y_a і y_i $1 \leq a \leq h_y$, $1 \leq i \leq h_y$.

Потрібно знайти такий розподіл, що задовольняє умовам (11) – (14), щоб вираз (10) мав мінімальне значення.

4. Обговорення результатів

Для перевірки теоретичних положень попередніх розділів був розроблений програмний комплекс, що дозволяє імітувати розподіл обчислювального ресурсу в гіперконвергентному середовищі підтримки ЕОР. Інтервал часу планування вибирався рівним академічному часу (45 хвилин).

При фіксованих значеннях h_y , h_z , ϕ_{y_a} , ϕ_{z_b} , ϕ_{t_i} змінювалися позначки на шкалі T_z . Результати експерименту наведені в табл. 1 (τ – час розрахунку плану, вибір оптимального розподілу здійснювався методом повного перебору) та на рис. 1 – 3.

Таблиця 1

Результати експерименту

h_t	card \mathfrak{Z}	$F(\gamma)$	τ
$h_z = 20, h_y = 10$			
15	1	1	2
45	5	0,92	19
90	32	0,88	78
180	47	0,87	322
$h_z = 100, h_y = 30$			
15	3	0,95	124
45	124	0,88	—*
90	2842	—*	—*
180	—*	—*	—*

* – результати були отримані протягом астрономічної години

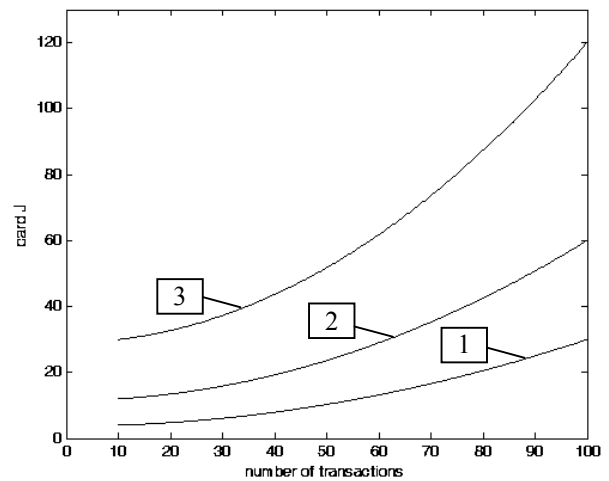


Рис. 1. Залежність потужності множини допустимих рішень від кількості транзакцій, кількість під інтервалів: 1 – $h_t = 15$; 2 – $h_t = 30$; 3 – $h_t = 45$

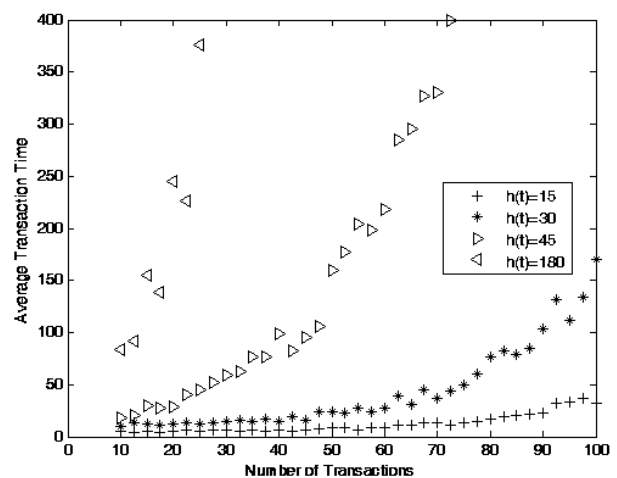


Рис. 2. Залежність середнього часу виконання транзакцій від їхньої кількості

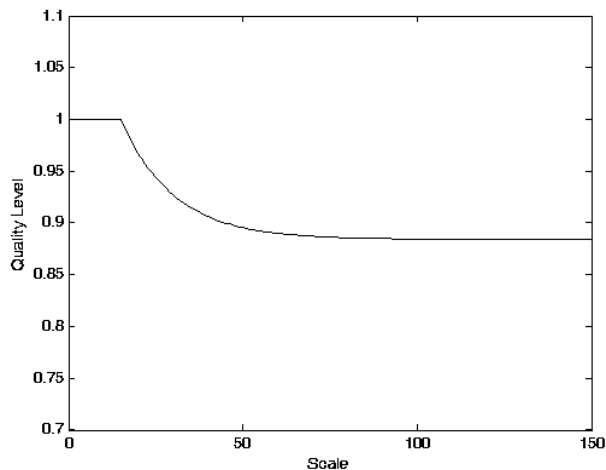


Рис. 3. Залежність показника якості від шкалування

Результати моделювання дозволили сформулювати вимоги до алгоритму розв'язання задачі планування виконання транзакцій e-learning в гіперконвергентному середовищі підтримки електронних освітніх ресурсів:

для вирішення завдання вибору оптимального плану з множини допустимих необхідно розробити наближений метод, що дозволяє знайти рішення, близьке до оптимального, за прийнятні часові терміни;

необхідно знайти оптимальне градуювання шкали інтервалу часу планування, так як занадто дрібна шкала помітно збільшує час розрахунку, але не призводить до істотного поліпшення плану;

необхідно враховувати пріоритети транзакцій, особливо в разі отримання на першому етапі порожньої множини допустимих рішень.

Висновки

Запропонована формальна постановка задачі планування виконання транзакцій e-learning в гіперконвергентному середовищі підтримки електронних освітніх ресурсів, вирішення якої дозволяє при своєчасному виконанні запитів транзакцій мінімізувати витрати обчислювального ресурсу.

На першому етапі досліджень розроблена математична модель планування виконання транзакцій

e-learning, що дозволяє отримати множини допустимих планів виконання.

Другий етап досліджень дозволив сформулювати завдання вибору оптимального плану із множини допустимих за критерієм мінімізації обчислювального ресурсу.

Напрямок подальших досліджень пов'язаний з пошуком методу вирішення сформульованої задачі з урахуванням вимог, сформульованих в попередньому розділі.

Список літератури

1. Babson Survey Research Group. *Online Learning*, available at: <https://www.onlinelearningsurvey.com> (accessed 23 April 2017).
2. Udaya, Sri, Vamsi, K. and Krishna T. V. (2014), "E-Learning: Technological Development in Teaching for school kids", *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, pp. 6124–6126.
3. "Babson Study: Over 6.7 Million Students Learning Online", available at: http://sloanconsortium.org/news_press/january2013_new-study-over-67-million-students-learning-online (accessed 23 April 2017).
4. Welsh, E, Wanberg, C, Brown, K and Simmering, M (2003), "E-Learning: emerging issues, empirical results and future directions", *International Journal of Training and Development*, 8 (4), pp. 245-258.
5. Brodo, J. A. (2006) "Today's Ecosystem of E-learning", *Trainer Talk*. Vol. 3, No. 4, available at: http://enewsbuilder.net/salesmarketing/e_article000615779.cfm (accessed 23 April 2017).
6. 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).
7. Черняк, Л. (2012), "Время конвергентных инфраструктур", *Открытые системы. СУБД*, № 4, available at: <https://www.osp.ru/os/2012/04/13015754/> (accessed 23 April 2017).
8. Ганьжа, Д. (2016), "Гиперконвергенция: ИТ-инфраструктура на раз, два, три", *Журнал сетевых решений*, № 5, available at: www.osp.ru/lan/2016/05/13049349 (accessed 23 April 2017).

Надійшла до редколегії 22.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можасєв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

МЕТОД ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ВЫПОЛНЕНИЯ ТРАНЗАКЦИЙ E-LEARNING

Н.Г. Кучук

Разработана математическая модель планирования выполнения транзакций e-learning в течении заданного интервала времени. На ее основе сформулирована задача выбора оптимального плана из множества допустимых по критерию минимизации вычислительного ресурса.

Ключевые слова: e-learning; электронные образовательные ресурсы; гиперконвергентная платформа.

METHOD OF SELECTION OF THE OPTIMAL PLAN FOR E -LEARNING TRANSACTIONS

N.G. Kucuk

A mathematical model for planning the execution of e-learning transactions within a given time interval has been developed. On its basis, the problem of choosing the optimal plan from the set of computable resources that are admissible by the criterion of minimization is formulated.

Keywords: e-learning; electronic educational resources; hyperconvergent platform