

Н. Г. КУЧУК<sup>1</sup>, В. Ю. МЕРЛАК<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Україна<sup>2</sup> Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна

## МЕТОД ПЕРЕРОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ УНІВЕРСИТЕТСЬКОЇ СИСТЕМИ E-LEARNING НА ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНІЙ ПЛАТФОРМІ

У зв'язку з популяризацією використання ІТ-технологій традиційні методи навчання все частіше змінюються підходами електронного навчання. E-learning – це система навчання за допомогою інформаційних та електронних технологій. E-learning на гіперконвергентній платформі можна розглядати як складну організаційну ієрархічну систему, яка у статті розглядається як певний математичний об'єкт. Проте ресурси системи e-learning обмежені та для її успішної реалізації існує потреба забезпечити її максимальне використання на всіх рівнях системи. Отже, як суттєвий елемент всієї системи, має бути швидкий перерозподіл ресурсів університетської системи e-learning на гіперконвергентній платформі. Автори статті проаналізували існуючі проблеми систем з ієрархічною структурою та можливі вирішення цих проблем. В роботі розглянуто сукупність цілей та завдань, що стоять перед керівними органами ієрархічної системи та представлено у вигляді набору графів системних цілей та завдань. Було встановлено, що процесі досягнення основної мети системи виникають зовнішні обурення, які мають переважно ситуаційний характер, а не стохастичний. І тому перед керівними органами управління існує безліч об'єктів і завдань з усунення відхилень. На верхньому рівні управління ієрархічної системи – управління гіперконвергентної структурою, на нижньому рівні управління – управління віджетами e-learning. **Предметом** дослідження є електронні освітні ресурси університетського e-learning. **Метою** статті є розробка методу швидкого перерозподілу ресурсів електронного навчання на гіперконвергентній платформі. **Висновки.** У статті запропоновано метод побудови графічної моделі процесу функціонування університетського e-learning, розгорнутого на гіперконвергентній платформі, який базується на проблемах та цілях аналізу структури системи. Було створений граф узгоджувальних цілей та завдань, який розглядає доступні навчальні ресурси. Також було запропоновано метод розподілу ресурсів різних типів. Для оцінки ефективності процесу розподілу ресурсів було обрано критерій “обґрунтованість” та розраховано імовірнісний показник.

**Ключові слова:** e-learning; ієрархічна структура; віджети.

### Вступ

Сучасні тенденції у розвитку ІТ вимагають складних університетських систем передачі підтримки e-learning на гіперконвергентній платформі.

E-learning на гіперконвергентній платформі можна розглядати як складну організаційну ієрархічну систему. У науковому розвитку багато уваги приділяється дослідженню властивостей ієрархічних систем, процесів їх функціонування [1, 2]. Відомо, що процес прийняття рішень у різних складних організаційних ієрархічних системах має свої особливості. Ці особливості слід враховувати при створенні відповідних систем. У зв'язку з цим виникає проблема визначення відповідних особливостей. Найбільш ефективним способом її вирішення є моделювання процесів функціонування [3-5]. Організаційна система розглядається як певний математичний об'єкт. Його дослідження проводиться на основі вивчення властивостей цього об'єкта.

Проте ресурси системи e-learning обмежені. Відповідно до її успішної реалізації існує потреба забезпечити її максимальне використання на всіх рівнях системи. Отже, як суттєвий елемент всієї системи, має бути швидкий перерозподіл ресурсів підсистеми.

Предметом дослідження є електронні освітні ресурси університетського e-learning.

Метою статті є розробка методу швидкого перерозподілу ресурсів електронного навчання на гіперконвергентній платформі.

### 1. Аналіз існуючих підходів

У джерелах [1, 2] велика увага приділяється розгляду систем з ієрархічною структурою.

У [3] пропонується підхід до опису моделізованої системи. Тут організаційна система сприймається як сукупність взаємодіючих елементів. Характер цієї взаємодії залежить від цілей чи завдань, що сто-

ють перед системою. Передбачається, що набір елементів фіксований. Рівень опису таких систем визначається виділеним детальним рівнем розглянутих процесів.

У [4] розглядається можливість взаємодії елементів системи один з одним. Аналізуються інформаційні канали комунікації елементів. Тип каналу ототожнюється з типом інформації. Загальний перелік інформаційних каналів визначається рівнем опису системи. Структура системи характеризується зазначенням функціонуючих каналів зв'язку між його елементами. Кожна проблема розглядається як оператор системного перетворення. Процес вирішення проблеми в системі проявляється шляхом пристосування його структури до завдання.

У роботі [5] було показано, що структура системи може інтерпретуватися як стан системи в певний момент часу. У ієрархічних системах всі стани є ієрархіями. У кожній ієрархічній системі можна вказати набір структур, які є ієрархіями. Запропоновано визначення повної ієрархічної системи.

У [6-8] показані основні проблеми, що виникають у процесі моделювання складної організаційної ієрархічної системи:

- ідентифікація систем та специфікація компонентів моделі;
- вибір методу для визначення моделі параметра;
- класифікація організаційних систем;
- вибір підсистеми та її комунікаційних операцій;
- вивчення структур в межах однієї досліджуваної системи.

У статті [9] в основу моделі покладена структура цілей і завдань складної організаційної системи, для реалізації якої обрано гіперконвергентний підхід. Система представлена деревом графів  $G_X$  [5] (рис. 1):

$$G_X = (\bar{X}, R), \tag{1}$$

де  $\bar{X} = (X^0, \bar{X}^{(1)}, \dots, \bar{X}^{(m-1)})$  – кортеж, що складається з набору органів управління різних рангів від 0 до  $m-1$  (під органом управління розуміється ієрархічний ланцюг від головного органу управління  $X^0$ , до нижнього рівня);

$$\bar{X}^{(i)} = (X_1^{(i)}, X_2^{(i)}, \dots, X_{\ell(i)}^{(i)}), \quad 0 \leq i \leq m-1$$

– набір органів управління  $i$ -го рангу;

$$R = \{r_{jv}^i\}, \quad 0 \leq i \leq m-2, \quad 1 \leq j \leq \ell(i), \quad 1 \leq v \leq \ell_{(i-1)},$$

– множина дуг графа, що є зв'язками підлеглості між органами управління;

і вказує ранг органу управління  $j$ , з якого виходить зв'язок;

$v$  – номер вершини  $(i+1)$ -го рангу, до якої надходить зв'язок.

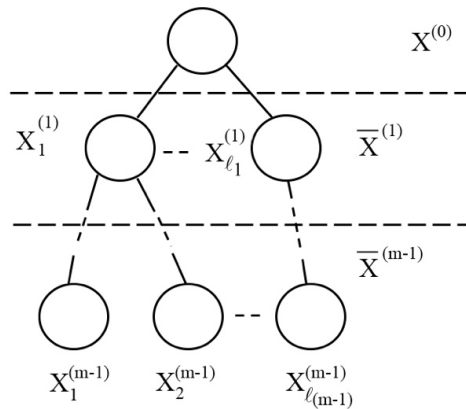


Рис. 1. Граф  $G_X$

Зокрема, на верхньому рівні управління  $X^0$  відбувається управління гіперконвергентною структурою, на нижньому рівні управління – управління віджетами e-learning.

Пропонується використати цей підхід для побудови моделі функціонування e-learning університету на гіперконвергентній платформі.

## 2. Модель функціонування e-learning

Ми пов'язуємо з графом  $G_X$  граф, який є ізоморфний йому –  $G_C(\bar{C}, H)$ , де  $\bar{C}$  – набір системних цільових вершин,  $H = \{h_{jv}^i\}$  – набір дуг графа  $G_C$ , а кожна дуга визначає зв'язок між умовами досягнення цілей.

У процесі досягнення основної мети системи  $C_0$ , виникають зовнішні обурення. Вони мають переважно ситуаційний характер, а не стохастичний. Перед керівними органами управління  $(m-1)$ -го рангу  $\{X^{v_{m-1}}\}$ ,  $1 \leq v_{m-1} \leq \ell_{m-1}$ , існує безліч об'єктів і завдань з усунення відхилень. Цей факт веде до невиконання відповідних цілей  $\{C^{v_{m-1}}\}$ .

Далі розглядається сукупність цілей та завдань  $\{X^{v_{m-1}}\}$ , що стоять перед керівними органами. Цей набір представлений у вигляді набору графів:

$$G_{C_0}^{m-1} = \{G_{C_0}^{v_{m-1}}\}$$

$$G_{C_0}^{v_{m-1}} = (\bar{C}_0^{v_{m-1}}, h), \tag{2}$$

де  $\bar{C}_0^{v_{m-1}} = (C_0^{v_{m-1},0}, C_0^{v_{m-1},1}, \dots, C_0^{v_{m-1},n-1})$  – кортеж, що складається з цілей оперативного управління для різних рангів;

$C_0^{v,m-1,0}$  – основна мета оперативного управління  $v$ -го керівного органу  $(m-1)$ -го рангу;

$$\bar{C}_0^{v,m-1,f} = \left( C_0^{v,m-1,f,1}, \dots, C_0^{v,m-1,f,\ell_f} \right); 0 \leq f \leq n-1;$$

де  $f$  – ідентифікатор рангу на графіку  $G_{C_0}^{v,m-1}$ ;

$\ell_f$  – кількість цілей  $f$ -го рангу;

$h = \{h_{jg}^f\}$ ,  $0 \leq f \leq n-2$ ;  $1 \leq j \leq \ell_f$ ,  $1 \leq g \leq \ell_{f+1}$  – набір дуг графа.

Вершини на графу  $G_{C_0}^{v,m-1}$  пов'язані ребрами

$h_{j\Theta}^{f v m-1} Z^{\alpha m-1}$ , де  $0 \leq f \leq n(v)-1$ ;  $0 \leq Z \leq n(\alpha)-1$ ;  $1 \leq j \leq \ell_f$ ,  $1 \leq \Theta \leq \ell_Z$ , з однією або декількома вершинами в графі  $G_{C_0}^{\alpha m-1}$ ;  $\alpha \neq v$ ;  $0 \leq \alpha, v \leq \ell_Z$  (рис. 2).

Наступним кроком є встановлення відповідності кожного з'єднання для  $h_{j\Theta}^{f v m-1} Z^{\alpha m-1}$  набору завдань до досягнення найвищого рангу керівного органу (КО) структури  $G_X$ . Це завдання щодо координації діяльності КО  $X^{v m-1}$  та  $X^{\alpha m-1}$  у випадку прийняття їм управлінських рішень.

Таким чином, можна побудувати граф координуючих цілей та завдань (рис. 2):

$$G_{CK} = (\bar{C}_K, S_K), \quad (3)$$

де  $\bar{C}_K = (\bar{C}_K^0, \bar{C}_K^1, \dots, \bar{C}_K^{m-2})$  – вектор, що складається з сукупності координуючих цілей КО різних рангів;

$\bar{C}_K^0 = (C_{K1}^0, C_{K2}^0, \dots, C_{K\ell_0}^0)$  – набір координаційних цілей керуючих органів  $X_0$  на графіку  $G_X$ ;

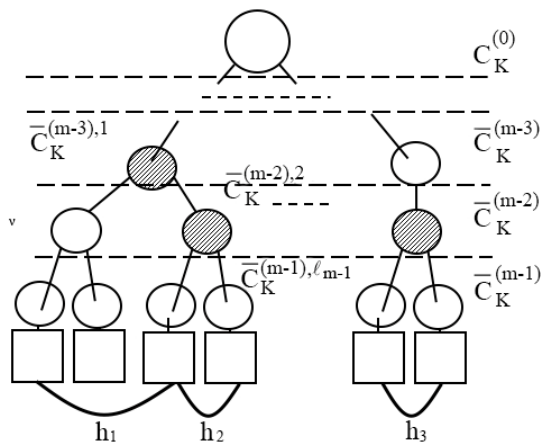


Рис. 2. Граф координуючих цілей та завдань

$\bar{C}_K^{ij} = (C_{K1}^{ij}, C_{K2}^{ij}, \dots, C_{K\ell_t}^{ij})$ ,  $1 \leq j \leq \ell_t$ ;  $0 \leq i \leq m-2$ ;  $1 \leq t \leq \ell_t$  – контрольний набір  $\ell_t$  координуючих цілей  $X_j^i$ ;

$$S_K = S_K^T \cup S_K^{TA}, \quad S_K^T \cap S_K^{TA} = \emptyset, \quad (4)$$

де  $S_K^T = \{S_{k\omega\tau\gamma v}^{Tt ij}\}$ ,  $1 \leq t, \omega \leq \ell_t$ ;  $0 \leq i, \tau \leq m-2$ ;

$1 \leq j \leq \ell_t$ ;  $1 \leq \gamma \leq \ell_t$ ;  $1 \leq v \leq \ell_{m-1}$  – набір неорганізованих відносин  $\tau$ -го та  $\omega$ -го координаційних завдань  $j$ -го керівного органу  $i$ -го рангу та  $\gamma$ -го керівного органу  $\tau$ -го рангу у випадку оперативного вирішення завдань  $v$ -го керівного органу з  $(m-1)$ -го рангу управління;

$S_K^{TA} = \{S_{k\omega\tau\gamma v}^{TA t ij}\}$  – набір орієнтованих (транзитивно – антисиметричний) відносин між відповідними координаційними цілями.

Створення координаційної мети  $C_{Kt}^{ij}$  взаємозв'язку  $h_{j\Theta}^{f v m-1} Z^{\alpha m-1}$  в графі  $G_{C_0}^{v m-1}$  здійснюється наступним чином: в графі  $G_X$  керівний орган визначається за найменшим значенням чину  $i$ , з якими органами  $\alpha$  та  $v$  з рангом  $(m-1)$  транзитивно пов'язані відносинами  $R = \{r_{jv}^i\}$ .

Нехай  $\bar{C}_0^{v m-1}$  – кількість ресурсів, необхідних для досягнення цілей оперативного управління  $v$ -го керівного органу  $(m-1)$ -го рангу. КО  $X_j^i$  транзитивно пов'язана з  $v$  відносинами  $R = \{r_{jv}^i\}$ .

Ці відносини визначають завдання  $\bar{C}_\Pi$  щодо перерозподілу ресурсів між керівними органами та індексами  $v$  і  $\alpha$  ( $1 \leq v, \alpha \leq \ell_{m-1}, v \neq \alpha$ ) для  $(m-1)$ -го рангу.

Побудуємо граф цілей та завдань оперативного перерозподілу ресурсів

$$G_{C\Pi} = (\bar{C}_\Pi, S_\Pi), \quad (5)$$

де  $\bar{C}_\Pi = (\bar{C}_\Pi^0, \bar{C}_\Pi^1, \dots, \bar{C}_\Pi^{m-2})$  – кортеж, що складається з сукупності цілей процесу перерозподілу ресурсів;

$\bar{C}_\Pi^0 = (C_{\Pi 1}^0, C_{\Pi 2}^0, \dots, C_{\Pi \ell_t}^0)$ ,  $1 \leq t \leq \ell_t$  – сукупність завдань, пов'язаних з перерозподілом ресурсів, що стоять перед керівним органом  $X^0$ .

Аналогічним чином для керівних органів  $X_j^i$ :

$$\begin{aligned} \bar{C}_{\Pi}^{ij} &= (C_{\Pi 1}^{ij}, C_{\Pi 2}^{ij}, \dots, C_{\Pi \ell_t}^{ij}); \\ S_{\Pi} &= S_{\Pi}^T \cup S_{\Pi}^{TA}, \\ S_{\Pi}^T \cap S_{\Pi}^{TA} &= \emptyset, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $S_{\Pi}^T = \{S_{\Pi \omega \tau \nu}^{Tij}\}$ ,  $1 \leq t, \omega \leq \ell_t; 0 \leq i, \tau \leq m-2;$

$1 \leq j \leq \ell_i; 1 \leq \gamma \leq \ell_{\tau}; 1 \leq \nu \leq \ell_{m-1}$  неорієнтовані відносини  $t$ -ї та  $\omega$ -ї цілей перерозподілу ресурсів  $j$ -го КО з  $i$ -го рангу та  $\gamma$ -го КО з  $\tau$ -го рангу, які забезпечують оперативне управління вирішення завдань КО  $\nu_{m-1}$ ;

$S_{\Pi}^{TA} = \{S_{\Pi \omega \tau \nu}^{TAij}\}$  – набір відносин між відпо-

відними цілями щодо перерозподілу ресурсів.

КО з індексами  $\nu$  та  $\alpha$  ( $1 \leq \nu_{m-1}, \alpha \leq \ell_{m-1}$ ) від  $(m-1)$ -го рангу, які мають ізоморфні графи  $G_{C_0}^{\nu_{m-1}}$  та  $G_{C_0}^{\alpha_{m-1}}$  цілі та завдання оперативного управління були названі подібними одиницями.

На набір КО  $\bar{X}^{m-1} = \{X^{\nu_{m-1}}\}$ ,  $1 \leq \nu \leq \ell_{m-1}$ ,

розділ  $\{U_1, U_2, \dots, U_{\ell_y}\}$  з набору  $\bar{X}^{m-1}$  буде встановлено з типами ( $y = \bar{1}, \ell_y$  – набір типів КО для  $(m-1)$ -го рангу).

Таким чином, для встановлення набору цілей та завдань оперативного управління на  $G_X$  структуру досить визначити:

- граfi об'єктів та задачі оперативного управління кожним типом КО для  $(m-1)$ -го рангу;

- набір країв  $h = \{h_{j\emptyset}^{f \nu_{m-1} \alpha_{m-1}}\}$ , який визначає залежність оперативного управління досягнення органами  $X^{\alpha_{m-1}}$  та  $X^{\nu_{m-1}}$ ;

- набір показників  $d = \{d_{ff}^{\nu_{m-1} \alpha_{m-1}}\}$ , які встановлюють можливі зв'язки щодо перерозподілу ресурсів:

- відображення:

$$F_{\Pi} : d \rightarrow \bar{C}_{\Pi}; F_K : h \rightarrow \bar{C}_K. \quad (7)$$

Структура  $W$  цілей і завдань оперативного управління встановлюється на графі  $G_X$  за допомогою набору з шести елементів:

$$M = \langle G_X, G_{C_0}^{m-1}, G_{CK}, G_{C\Pi}, F_{\Pi}, F_K \rangle. \quad (8)$$

Таким чином, вона має форму об'єднання підструктур

$$W = \bigcup_{\nu=1}^{\ell_{m-1}} W_{\nu}.$$

Зокрема, на верхньому рівні управління – управління гіперконвергентної структурою, на нижньому рівні управління – управління віджетами e-learning.

### 3. Метод розподілу ресурсів

Наступним кроком є розбиття кожного графа з набору  $G_{C_0}^{m-1}$ . З цією метою потрібно додати сімейство вбудованих перебірок

$$K = \langle K^1, \dots, K^{n-2} \rangle \quad (9)$$

у графах  $\{G_{C_0}^{\nu_{m-1}}\}$ :

$$K^f = \langle K_{\ell_f}^f, \dots, K_1^f \rangle, \quad (10)$$

та

$$\bigcup_{j=1}^{\ell_f} K_j^f = G_{C_0}^{\nu_{m-1}}, K_j^f \cap K_{\rho}^f = \emptyset, j \neq \rho, 1 \leq f \leq n-2,$$

$$1 \leq \ell_f \leq \ell_f.$$

Будь-який  $K_j^f$  встановлений член являє собою комбінацію з декількох підграфів  $K_1^{f+1}, \dots, K_{\ell_{f+1}}^{f+1}$  рівня  $(f+1)$ .

Розділ керується наступним чином. В графі  $G_{C_0, f}^{\nu_{m-1}}$  ( $C_{0, f}^{\nu_{m-1}, j}$  – є корінь  $G_{C_0, f}^{\nu_{m-1}}$ ) підграфи вибираються з вершинами  $\{C_{0, f+1}^{\nu_{m-1}}\}$ . Вони пов'язані між собою  $h_{jg}^f$  з  $C_{0, f}^{\nu_{m-1}}$ .

Таким чином, перебірка  $K = \langle K^1, \dots, K^{n-2} \rangle$  визначає безліч незалежних для відносин  $\{h_{jg}^f\}$  підграфів в графі  $G_{C_0}^{\nu_{m-1}}$ .

Його можна представити як

$$G_{C_0}^{\nu_{m-1}} = \bigcup_{\beta^v=1}^U G_{C_0, \beta^v}^{\nu_{m-1}}. \quad (11)$$

Набір зовнішніх впливів був визначений як

$$\bar{\alpha} : \{G_{C_0}^{v_{m-1}}\} \rightarrow \{G_{C_0}^{v_{m-1}*}\}, \quad (12)$$

де  $\{G_{C_0}^{v_{m-1}*}\}$  – набір підграфів, цілей та завдань оперативного управління, підданих зовнішньому впливу.

Це дозволяє

$$\bar{\beta} : \{G_{C_0}^{v_{m-1}*}\} \xrightarrow{K} \{G_{C_0, \beta^v}^{v_{m-1}*}\} \quad (13)$$

представлення множини  $\{G_{C_0}^{v_{m-1}*}\}$  в наборі підграфів, визначених розділом К.

Процес визначення сукупності підграфів об'єктів оперативного управління буде мати форму:

$$\begin{aligned} \{G_{C_0}^{v_{m-1}**}\} \subset \bigcup_{\beta^v=1}^U G_{C_0, \beta^v}^{v_{m-1}*} \cup \\ \bigcup \left( \bigcup_{\beta^v=1}^U G_{C_0, \beta^v}^{v_{m-1}} \cap \left\{ \left\{ G_{C_0, \beta^1}^{1, m-1} \right\} \times \dots \times \left\{ G_{C_0, \beta^\ell}^{\ell, m-1} \right\} \right\} \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Структура розподілу ресурсів  $S_{prv}$  буде представлена у вигляді графа

$$S_{prv} = \left( \begin{array}{l} G_{C_0}^{v_{m-1}} = \{G_{C_0K}^{v_{m-1}}\} \cup \\ \cup \{G_{C_0B}^{v_{m-1}**}\} \cup \{G_{C_0H}^{v_{m-1}**}\}, R^S \end{array} \right). \quad (15)$$

Вершини в  $S_{pr}$  – у вигляді підграфів  $\{G_{C_0B}^{v_{m-1}**}\}$ , які не забезпечені ресурсами  $\{G_{C_0H}^{v_{m-1}**}\}$ .

До кожної вершини  $\{G_{C_0H}^{v_{m-1}**}\}$  визначено вектор необхідних ресурсів:

$$e_B = (e_B^1, e_B^2, \dots, e_B^{\ell_B}), \quad (16)$$

де  $R^S$  – набір дуг від  $\{G_{C_0K}^{v_{m-1}}\}$ ,  $\{G_{C_0B}^{v_{m-1}**}\}$  в  $\{G_{C_0H}^{v_{m-1}**}\}$ . Вони визначаються елементами набору  $\{G_{C_0H}^{v_{m-1}**}\}$ . Вектор ресурсів є випадковим для кожної дуги:

$$e_D = (e_D^1, e_D^2, \dots, e_D^{\ell_D}). \quad (17)$$

В той самий час

$$\sum_{a \in \ell_a} e_{D_a} = e_{B_C} \quad (\text{рис. 3}). \quad (18)$$

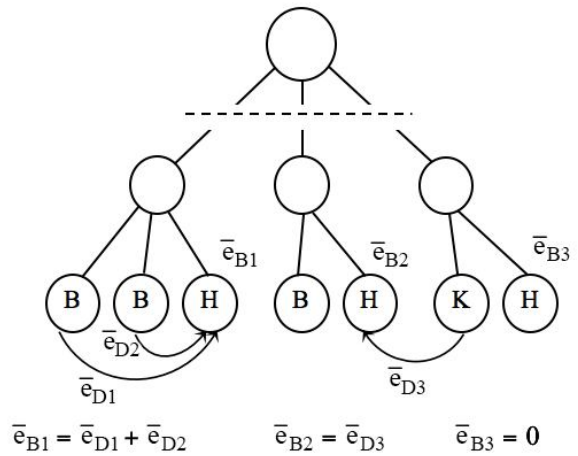


Рис. 3. Структура перерозподілу ресурсів (B, K, H – типи ресурсів)

Таким чином на наборі  $\{G_{C_0}^{v_{m-1}}\}$  можна визначити сукупність структур  $S_{pr}$ , встановивши різні  $R^S$ . В результаті набір  $\{G_{C_0B}^{v_{m-1}**}\}$  буде отримано, включаючи різні підграфні цілі оперативного управління, розташовані раніше  $X^{v_{m-1}}$ .

Кожна з структур  $\{S_{pr}^{v_{m-2}}\}$  визначає розподіл ресурсів між прями нащадками КО  $v_{m-2}$ .

#### 4. Аналіз та обговорення результатів

Оцінку ефективності запропонованого методу розподілу електронних освітніх ресурсів можна проводити з використанням різних параметрів системи, значення яких є суттєвими для користувачів. Зокрема, при функціонуванні e-learning, зазвичай, обирають такі критерії: своєчасне завершення мультисанса e-learning та наявність відносного резерву ЕОР.

Для оцінки ефективності процесу розподілу ресурсів оберемо комплексний критерій "рівень обгрунтованості розподілу ресурсів", що базується на вищенаведених. Розрахунок імовірнісного показника за цим критерієм було виконано за формулою [9]:

$$\eta = \max_{\ell} \eta_{\ell} = \max_{\ell} |x_{\ell}^{(0)} - x_{\ell}|, \ell = \overline{1, u}, \quad (19)$$

де погрешності  $\eta_\ell = x_\ell^{(0)} - x_\ell$  є випадковими величинами, котрі мають для  $\ell$ -го параметру закон розподілу  $f(x_\ell)$ .

Рівень обґрунтованості рішення про розподіл ресурсів при паралельному виконанні  $m$  освітніх процесів (кожен з освітніх процесів використовує деяку, заздалегідь відому, кількість різних освітніх ресурсів) розраховується як ймовірність:

$$P = 1 - \prod_{\alpha=1}^m \left( 1 - \frac{1}{m_0} \prod_{\ell_\gamma=1}^{u_\gamma - \mu_\gamma} \left[ \int_{-\varepsilon_{\ell_\gamma}}^{\varepsilon_{\ell_\gamma}} f(x_{\ell_\gamma}) dx_{\ell_\gamma} \right] \right). \quad (20)$$

Діаграми залежностей рівня обґрунтованості розподілу ресурсів для прийнятих рішень щодо розподілу ресурсів від кількості освітніх процесів, що виконуються паралельно, наведено на рис. 4.

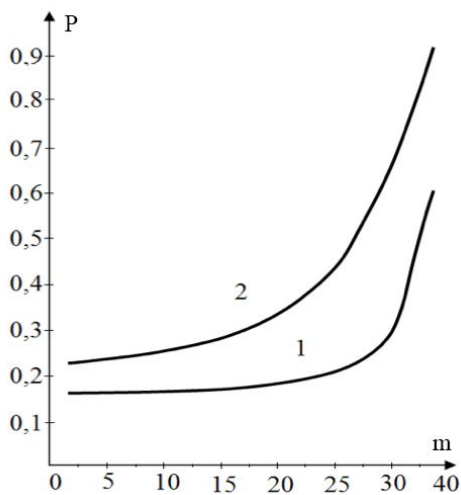


Рис. 4. Залежність рівня обґрунтованості розподілу ресурсів (P) від кількості освітніх процесів, що виконуються паралельно (m):

- 1 – без урахування запропонованого методу;  
2 – з урахуванням запропонованого методу

Результати аналізу показують, що застосування запропонованого методу швидкого перерозподілу ресурсів університетської системи e-learning є доцільним при виникненні передумов щодо несвоєчасного завершення одного чи деяких мультисеансів. При цьому бачимо, що потреба у використанні запропонованого методу зростає із зростанням кількості одночасно виконуваних освітніх процесів.

## Висновки

Запропоновано метод швидкого перерозподілу ресурсів університетської системи e-learning на гіперконвергентній платформі.

E-learning розглядається як складна організаційна ієрархічна система. Метод базується на аналізі структури цілей та завдань системи. Створений варіант перерозподілу враховує наявні ресурси e-learning та орієнтований на своєчасне завершення мультисеансів e-learning з можливістю максимізації відносного резерву електронних освітніх ресурсів. Надалі планується розробити метод пошуку оптимального розподілу ресурсів для сумісного використання гіперконвергентної платформи завданнями e-learning та суміжними обчислювальними завданнями.

## Література

1. Nadkarni, P. *Clinical Research Computing: A Practitioner's Handbook [Text]* / P. Nadkarni. – London : Academic Press, 2016. – 240 p.
2. Buede, D. M. *The Engineering Design of Systems Models and Methods [Text]* / D. M. Buede. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2009. – 516 p.
3. Fang, S. *Approximate Modeling of Wireless Channel Based on Service Process Burstiness [Electronic resource]* / S. Fang; Y. Dong and H. Shi // Proc. of the International Conference on Wireless Networks (ICWN), 2012. – Access mode: <http://www.worldacademyofscience.org/worldcomp12/ws/program/icw18.html> (accessed 19.01.2019).
4. *Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems [Text]* / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, A. Shamraev // *Green IT Engineering: Components, Networks and Systems Implementation / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, A. Shamraev. – (Studies in Systems, Decision and Control (Book 105)). – Springer International Publishing, 2017. – P. 313-338.*
5. *Campus Network for High Availability Design Guide [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/HA\\_campus\\_DG/hacampusdg.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/HA_campus_DG/hacampusdg.html). (accessed 19.01.2019).*
6. Sobieraj, M. *Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks [Text]* / M. Sobieraj, M. Stasiak, and J. Weissenberg // *IEICE Transactions on Communications. – 2012. – Vol. E95.B, No. 1. – P. 120-132.*
7. *Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems. [Text]* / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, and E. Ruchkov // *IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016). – Erevan, 2016. – P. 384-389.*
8. Moscholios, I. D. *Performance metrics of a multirate resource sharing teletraffic model with finite sources under the threshold and bandwidth reservation policies [Electronic resource]* / I. D. Moscholios, M. D. Logothetis, J. S. Vardakas // *IET Networks. – 2016. – Vol. 4, Issue 3. – P. 195-208. – Access mode: <http://>*

*digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-net.2014.0050. (accessed 19.01.2019).*

9. Кучук, Г. А. *Метод перераспределения пропускной способности для уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети [Текст] / Г. А. Кучук, А. С. Мохаммад, А. А. Коваленко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – X. : ХУПС, 2011. – Вип. 3(29). – С. 140–145.*

10. Шматков, С. І. *Аналіз інформаційних технологій у системах мобільного навчання [Текст] / С. І. Шматков, Н. Г. Кучук, Ж. О. Коломієць // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 4(44). – С. 143-149.*

## References

1. Nadkarni, P. *Clinical Research Computing: A Practitioner's Handbook*. London, Academic Press Publ., 2016. 240 p.

2. Buede, D. *The Engineering Design of Systems Models and Methods*, New Jersey, John Wiley & Sons Publ., 2009. 516 p.

3. Fang, S., Dong, Y., Shi, H. Approximate Modeling of Wireless Channel Based on Service Process Burstiness. *Proc. of the International Conference on Wireless Networks (ICWN)*, 2012. Available at: <http://www.worldacademyofscience.org/worldcomp12/ws/program/icw18.html> (accessed 19.01.2019).

4. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Kharchenko, V., Shamraev, A. Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems. *Green IT Engineering: Components, Network, and Systems Implementation*, Springer International Publishing, 2017, vol. 105, pp. 313-338.

5. *Campus Network for High Availability Design Guide*. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/>

[docs/solutions/Enterprise/Campus/HA\\_campus\\_DG/hacampusdg.html](docs/solutions/Enterprise/Campus/HA_campus_DG/hacampusdg.html). (accessed 19.01.2019).

6. Sobieraj, M., Stasiak, M., Weissenberg, J. Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks. *Proc. of the IEICE Transactions on Communications*, 2012, vol. E95.B, no. 1, pp. 120-132.

7. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. *Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems*. [Proc. of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016)]. Erevan, 2016, pp. 384-389.

8. Moscholios, I. D., Logothetis, M. D. and Vardakas, J. S. Performance metrics of a multirate resource sharing teletraffic model with finite sources under the threshold and bandwidth reservation policies, *IET Networks*, 2016, vol. 4, iss. 3, pp. 195-208. Available at: <http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-net.2014.0050>. (accessed 19.01.2019).

9. Kuchuk, G. A., Mohammad, A. S. Kovalenko, A. A. *Metod pereraspredeleniya propusknoy sposobnosti dlya umen'sheniya vremeni peredachi dannykh v besprovodnoy seti [Method of bandwidth redistribution to reduce data transfer time in a wireless network]. Zbirnik naukovih prats Kharkivskogo University, Povitryan Forces – Collection of scientific works of Kharkiv University of Air Forces*, HUPS Publ., 2011, iss. 3 (29), pp. 140-145.

10. Shmatkov, S. I., Kuchuk, N. G., Kolomiets, J. O. *Analiz informatsiynykh tekhnolohiy u systemakh mobil'noho navchannya [Analysis of information technologies in mobile education systems]. Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku – Systems of control, navigation and communication*, Poltava, PNTU Publ., 2017, iss. 4 (44), pp. 143-149.

Надійшла до редакції 18.02.2019, розглянута на редколегії 15.03.2019

## МЕТОД ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ СИСТЕМЫ УНИВЕРСИТЕТСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ГИПЕРКОНВЕРГЕНТНОЙ ПЛАТФОРМЕ

Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак

В связи с популяризацией использования IT-технологий традиционные методы обучения все чаще меняются подходами электронного обучения. E-learning – это система обучения с помощью информационных и электронных технологий. E-learning на гиперконвергентной платформе можно рассматривать как сложную организационную иерархическую систему, которая в статье рассматривается как некий математический объект. Однако ресурсы системы e-learning ограничены и для ее успешной реализации существует потребность обеспечить ее максимальное использование на всех уровнях системы. Итак, как существенный элемент всей системы, должно быть быстрое перераспределение ресурсов университетской системы e-learning на гиперконвергентной платформе. Авторы статьи проанализировали существующие проблемы систем с иерархической структурой и возможные решения этих проблем. В работе рассмотрены совокупности целей и задач, стоящих перед руководящими органами иерархической системы и представлены в виде набора графов системных целей и задач. Было установлено, что процессе достижения основной цели системы возникают внешние препятствия, которые имеют преимущественно ситуационный характер, а не стохастический. И поэтому перед руководящими органами управления существует множество объектов и задач по устранению отклонений. На верхнем уровне управления иерархической системы – управление гиперконвергентной структурой, на нижнем уровне управления – управление виджетами e-learning. Предметом исследования являются электронные образовательные ресурсы университетского e-learning. Целью статьи является разра-



ботка метода быстрого перераспределения ресурсов электронного обучения на гиперконвергентной платформе. Выводы. В статье предложен метод построения графической модели процесса функционирования университетской системы e-learning, развернутой на гиперконвергентной платформе, основанной на проблемах и целях анализа структуры системы. Был создан граф согласовательных целей и задач, который рассматривает доступны учебные ресурсы. Также был предложен метод распределения ресурсов различных типов. Для оценки эффективности процесса распределения ресурсов был избран критерий "обоснованность" и рассчитан вероятностный показатель.

**Ключевые слова:** e-learning; иерархическая структура; виджеты.

## THE METHOD OF REDISTRIBUTING RESOURCES OF THE UNIVERSITY E-LEARNING SYSTEM ON A HYPERCONVERGENT PLATFORM

*N. G. Kuchuk, V. Yu. Merlak*

In connection with the popularization of the use of IT technologies, traditional teaching methods are increasingly changing e-learning approaches. E-learning is a learning system using information and electronic technologies. E-learning on a hyperconvergent platform can be viewed as a complex organizational hierarchical system, which the article considers as a kind of mathematical object. However, the resources of the e-learning system are limited and for its successful implementation, there is a need to ensure its maximum use at all levels of the system. So, as an essential element of the entire system, there must be a rapid redistribution of resources of the university e-learning system on a hyperconvergent platform. The authors of the article analyzed the existing problems of systems with a hierarchical structure and possible solutions to these problems. The paper discusses the sets of goals and objectives facing the governing bodies of the hierarchical system and are presented as a set of graphs of system goals and objectives. It was found that the process of achieving the main goal of the system poses external obstacles that are mainly situational in nature and not stochastic. And so before the governing bodies of management, there are many objects and tasks to eliminate deviations. At the upper level of management of the hierarchical system is the management of a hyperconvergent structure, at the lower level of management is the management of e-learning widgets. The subject of the research is the electronic educational resources of university e-learning. The aim of the article is to develop a method for the rapid redistribution of e-learning resources on a hyperconvergent platform. Findings. The article proposes a method for constructing a graphical model of the process of functioning of the university e-learning system, deployed on a hyperconvergent platform, based on the problems and goals of analyzing the structure of the system. A graph of consensus goals and objectives was created that considers learning resources available. A method for allocating resources of various types was also proposed. To assess the effectiveness of the resource allocation process, the "validity" criterion was chosen and a probability indicator was calculated.

**Keywords:** e-learning; hierarchical structure; widgets.

**Кучук Ніна Георгіївна** – канд. пед. наук, доцент каф. теоретичної та прикладної системотехніки, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна.

**Мерлак Вікторія Юріївна** – аспірантка каф. комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

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

**Merlak Viktoriia Yuriyivna** – PhD student of Dept. of Computer Systems, Networks and Cybersecurity, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: v.merlak@csn.khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0003-4096-0797.