

УДК 004: 519.876

**В. В. БЕЗКОРОВАЙНИЙ, А. С. МОСКАЛЕНКО**

## МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР У ПРОЕКТАХ РЕІНЖИНІРИНГУ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ОБ'ЄКТІВ

Знайшла подальшого розвитку математична модель задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих великомасштабних об'єктів за показником витрат у частині врахування їх багаторівневості. Цільову функцію моделі деталізовано до рівня явної залежності від параметрів топологічної структури об'єкта. На основі аналізу особливостей цільової функції запропоновано модифікації методу спрямованого перебору варіантів, які дозволяють отримувати розв'язки задачі для систем з великою кількістю структурних елементів.

**Ключові слова:** великомасштабний об'єкт, системне проектування, реінжиніринг, модель, структура, топологія, оптимізація.

Нашла дальнейшее развитие математическая модель задачи реинжиниринга топологических структур централизованных крупномасштабных объектов по показателю затрат в части учета их многоуровневости. Целевая функция модели детализирована до явной зависимости от параметров топологической структуры объекта. На основе анализа особенностей целевой функции предложены модификации метода направленного перебора вариантов, которые позволяют получать решения задачи для систем с большим количеством структурных элементов.

**Ключевые слова:** крупномасштабный объект, системное проектирование, реинжиниринг, модель, структура, топология, оптимизация.

She found further development of the mathematical model of the task of reengineering topological structures of large centralized facilities in terms of costs in consideration of multires. The objective function models detailed to the level of explicit parameters depending on the topological structure of the object, which takes into account the cost of upgrading and dismantling of its components. Based on analysis of the characteristics of the objective function proposed modification of directional sorting options using different procedures for determining placement units. As the base used combinatorial procedure that implements exhaustive search all possible variants of the units. To reduce the time complexity of solving the problem of reengineering Topological centralized large scale multi objects in terms of cost, based on the procedures for placing units coordinate-wise optimization methods, simulated annealing and search the prohibitions. They allow for decoupling problem for systems with a large number of structural elements.

**Keywords:** large-scale object, system design, re-engineering, model, structure, topology optimization.

**Вступ.** У процесах проектування великомасштабних об'єктів (ВМО), при їх реорганізації або плануванні розвитку неминує виникають задачі оптимізації їх структур. При цьому здійснюється синтез нової або оптимізація існуючої організаційної, топологічної, функціональної структур. Важливість подібних задач зростає для територіально розподілених, великомасштабних об'єктів. Врахування топології дозволяє суттєво покращувати вартісні та функціональні характеристики подібних об'єктів, проте вимагає разом з традиційними задачами структурного синтезу розв'язувати задачі їх топологічної оптимізації [1–5].

Важливість проблеми вибору обґрунтованих рішень на всіх етапах життєвих циклів ВМО, необхідні при цьому значні матеріальні, часові та фінансові витрати роблять актуальними задачі вдосконалення методології формування та вибору ефективних рішень в проектах їх оптимізації з урахуванням множин різнорідних чинників і умов, що з часом змінюються.

**Аналіз сучасного стану проблеми реінжинірингу великомасштабних об'єктів.** Традиційно проблема синтезу систем складається із сукупності неповністю визначених задач проектування, для яких не сконструйовані схеми та не синтезовані моделі проектування [6].

Сучасна методологія структурного синтезу ВМО базується на ідеях агрегативно-декомпозиційного та блочно-ієрархічного підходів, які передбачають розбиття опису об'єкта за ступенем деталізації на ієрархічні рівні й аспекти, а процесу проектування – на групи проектних процедур, пов'язаних з отриманням і

перетворенням описів (рішень) із подальшим їх об'єднанням для отримання на відповідному рівні рішень щодо системи у цілому [7].

Проблему реінжинірингу можна подати як метазадачу, що складається із множини задач, які відносяться до різних ієрархічних рівнів декомпозиції з їх взаємозв'язками за вхідними, вихідними даними та результатами розв'язання.

Базовими задачами системного реінжинірингу ВМО є задачі [8–9]: вибору принципів побудови системи, оптимізації структури та топології елементів і зв'язків, вибору технології функціонування, визначення параметрів елементів і зв'язків, оцінки ефективності варіантів і вибору найбільш ефективного серед них.

З урахуванням характерних особливостей задач системного проектування ВМО, існуючих вимог до процедур їх розв'язання, визначеної раціональної послідовності розв'язання задач, а також аксіом системного проектування [5–6] формування розв'язків задачі реінжинірингу здійснюється за ітераційними схемами. Це дозволяє у процесі проектування ВМО, виходячи з часових та технічних обмежень, отримувати поступове покращення розв'язку загальної задачі *MetaTask*.

Унаслідок невирішеності задач за даними у послідовності  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{2, 5}$  формування вхідних даних та обмежень для них на початковій ітерації здійснюється на основі експертних даних. На наступних ітераціях як вхідні дані та обмеження будуть використовуватися розв'язки попередніх задач ітераційної схеми.

Розв'язання задачі реінжинірингу ВМО за ітера-

ційною схемою передбачає розв'язання множини комбінаторних задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації. Виходячи із того, що потужності множин допустимих технологій функціонування, параметрів елементів і зв'язків ВМО незначні, основну складність становлять задачі оптимізації їх структур і топологій.

Для їх розв'язання використовуються точні комбінаторні та наближені методи [1, 5, 10]. Найбільш ефективними серед точних методів вважаються методи обмеженого або спрямованого перебору. Точні методи дозволяють гарантовано знаходити оптимальні розв'язки, однак, з огляду на NP-складність задачі, вони застосовуються тільки для оптимізації найпростіших систем з невеликою кількістю елементів.

Серед наближених методів найбільшого поширення набули методи покоординатної оптимізації (COM – coordinatewise optimization method), імітації відпалу (SA – Simulated annealing), пошуку із заборонами (TS – Tabu Search), еволюційного синтезу на основі генетичних алгоритмів (GA – Genetic algorithm) кластеризації на основі k-means [10].

При цьому найбільших успіхів досягнуто при розв'язанні задач структурно-топологічної оптимізації централізованих тривірневих ВМО, які побудовані на однотипних компонентах та зв'язках.

На практиці існує необхідність оптимізації топологічних структур у процесі реінжинірингу ВМО, що мають різні види структур, за різними показниками, із використанням різних цільових функцій, в умовах різної розмірності та ступеня визначеності вхідних даних, часових і ресурсних обмежень. Це потребує розробки множини методів, які б суттєво розрізнялись за показниками точності та складності, мали меншу часову складність, ніж комбінаторні методи та більшу точність, ніж наближені методи.

**Метою роботи** є модифікація методу спрямованого перебору для зниження часової складності розв'язання задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих багаторівневих ВМО за показником витрат.

**Постановка та математична модель задачі.** Великомасштабна система складається з центру, множини проміжних вузлів та елементів, кожен із яких зв'язаний з центром через один із вузлів. Вузли системи створюються на базі її елементів.

Задача реінжинірингу топологічної структури великомасштабної системи розглядається у такій постановці. Задані: множина елементів системи  $I = \{i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ; існуючий варіант топологічної структури  $s' \in S$ , що заданий місцями розташування елементів, вузлів, центру ( $S$  – множина допустимих варіантів топологічних структур), а також зв'язками між елементами, вузлами та центром  $[s'_{ij}]$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  ( $s'_{ij} = 1$ , якщо між елементами (вузлами)  $i$  та  $j$  існує безпосередній зв'язок та  $s'_{ij} = 0$  – у протилежному випадку); витрати на створення або модернізацію вузлів  $c_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  і зв'язків  $c_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ .

Необхідно визначити найкращий за показником витрат варіант реінжинірингу топологічної структури системи  $s' \in S$ . Де без втрати загальності будемо вважати, що центр (центральный вузол) розміщується на базі елемента  $i = 1$  ( $s'_{i1} = 1$ ). З урахуванням цього:

$$S = \{s\} = \begin{cases} [s_{ij}], s_{ij} \in \{0,1\}, i, j = \overline{1, n}, s_{11} = 1; \\ \sum_{i=1}^n s_{ij} \geq 1 \forall j = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} = 2(n-1) + 1; \\ \forall i = \overline{1, n} : s_{ii} = 1 \vee \exists j : s_{ij} = 1 \wedge s_{jj} = 1; \\ s_{ij} = 1 \rightarrow ij = \arg \min_{\substack{1 \leq j \leq n \\ i \neq j}} c_{ij}, i, j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $[s_{ij}]$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  – матриця зв'язків ( $s_{ij} = 1$ , якщо між елементами (вузлами)  $i$  та  $j$  існує безпосередній зв'язок та  $s_{ij} = 0$  – інакше;  $s_{ii} = 1$ , якщо на базі елемента  $i$  розміщується вузол системи).

Витрати на  $s$ -й варіант реінжинірингу топологічної структури  $s'$  складаються із витрат на центр  $C_C(s)$ , вузли  $C_U(s)$ , елементи  $C_E(s)$ , зв'язки між вузлами  $C_{UU}(s)$ , вузлами та центром  $C_{UC}(s)$ , елементами та вузлами  $C_{EU}(s)$ :

$$C(s', s) = C_C(s) + C_U(s) + C_E(s) + C_{UU}(s) + C_{UC}(s) + C_{EU}(s). \quad (2)$$

Витратний критерій задачі реінжинірингу, побудований на основі (2), який враховує топологічну реалізацію структури, можна подати у вигляді:

$$C(s', s) = \sum_{i=1}^n [c_i(1-s'_{ii})s_{ii} + d_i s'_{ii} s_{ii} + e_i(1-s_{ii})s'_{ii}] + \sum_{i,j=1}^n [c_{ij}(1-s'_{ij})s_{ij} + d_{ij} s'_{ij} s_{ij} + e_{ij}(1-s_{ij})s'_{ij}] - \sum_{i,j=1}^n [g_{ij}(1-s_{ij})s'_{ij}] \rightarrow \min_{s \in S}, \quad (3)$$

де  $c_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  – витрати на створення або модернізацію  $i$ -го компонента системи;

$s'_{ij}$ ,  $s_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  – елементи матриць суміжності (зв'язків) між компонентами  $i$  та  $j$  в існуючій структурі та структурі після реінжинірингу;

$c_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  – витрати на створення або модернізацію зв'язку між  $i$ -м та  $j$ -м компонентами системи;

$d_i$ ,  $e_i$ ,  $g_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  – витрати на модернізацію, демонтаж та вартість ресурсів, які можуть бути реалізовані після демонтажу обладнання  $i$ -го вузла;

$d_{ij}$ ,  $e_{ij}$ ,  $g_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  – витрати на модернізацію, демонтаж та вартість ресурсів, які можуть бути реалізовані після демонтажу зв'язку між  $i$ -м та  $j$ -м компонентами системи.

**Методи розв'язання задачі.** Аналіз залежності витрат на реінжиніринг  $C(s', s)$  (3) від кількості вузлів у системі  $u$  дозволив встановити, що вона має мінімум на відрізку  $1 \leq u \leq n$ . З урахуванням цього для розв'язання задачі за критерієм мінімуму витрат пропонується базовий метод. Він базується на комплексному використанні ідей спрямованого перебору, оптимізації розміщення вузлів та побудови найкоротших остовних дерев. Суть методу полягає у такому. Визначити початкове значення допустимої кількості вузлів  $u_{\min}$ , необхідних для обслуговування всієї множини елементів (наприклад,  $u_{\min} = 1$ ).

Для заданої кількості вузлів  $u = u_{\min}$  за показником мінімуму витрат вирішити задачу найкращого розміщення вузлів і розподілу множини елементів між вузлами. Шляхом побудови найменшого основного дерева на множині вузлів визначити схему взаємозв'язків вузлів і витрати на реалізацію отриманого варіанту  $C(s', s)$  (3).

Змінюючи кількість вузлів у системі  $u := u + 1$  розв'язувати задачу розміщення вузлів, розподілу множини елементів між вузлами, схему взаємозв'язків вузлів до отримання найкращого у заданих умовах розв'язку.

З урахуванням можливої багатоекстремальності функції витрат (3) від кількості вузлів у мережі  $C(s', s, u)$  для пошуку глобального оптимального розв'язку задачі пропонується використовувати ідею методу, запропонованого в [10].

Суть її полягає у визначенні відрізка  $[u_{\min}, u_{\max}]$ , який гарантовано містить оптимальне рішення. Як нижню межу кількості вузлів у мережі оберемо  $u_{\min} = 1$ . Для визначення верхньої межі  $u_{\max}$  необхідно визначити значення мінімуму максимальних витрат на реінжиніринг  $C_{\max}(u)$ . Воно є розв'язком задачі синтезу оптимальної топологічної структури без урахування компонентів і зв'язків існуючої системи.

Пошук розв'язку задачі здійснюється на відрізку  $[1, u_{\max}]$ , змінюючи кількість вузлів у системі за правилом  $u := u + 1$ . Таким чином, необхідно знайти розв'язки двох задач: пошуку мінімуму максимальних витрат і пошуку мінімуму функції витрат на реінжиніринг.

Обидві задачі мають часову складність порівняну зі складністю традиційної задачі проектування КМО – його структурно-топологічного синтезу.

У прийнятих позначеннях загальна кількість можливих варіантів розміщення вузлів у задачі реінжинірингу топологічної структури системи для  $1 \leq u \leq n$  складає:

$$N_u(n) = \sum_{u=1}^n C_n^u = \sum_{u=1}^n \frac{n!}{u!(n-u)!} \approx 2^n. \quad (4)$$

При цьому для кожного із варіантів розміщення вузлів необхідно розв'язати задачу побудови оптимального остовного дерева. Часова складність точного

алгоритму Прима для побудови таких дерев без обмежень складає  $O[n^2]$ .

На сучасному етапі розвитку обчислювальної техніки занадто висока часова складність комбінаторних методів (4) не дозволяє використовувати їх для розв'язання задач реінжинірингу ВМО з кількістю елементів  $n$  більше ніж 60–80. Як вихід пропонується модифікації методу спрямованого перебору варіантів з евристичними процедурами розміщення вузлів [10].

Виходячи з цього, запропоновано ряд модифікацій методу спрямованого перебору із використанням різних процедур визначення місць розміщення вузлів. Як базова використана комбінаторна процедура, як альтернативні використані процедури на основі методів покоординатної оптимізації, імітації відпалу та пошуку із заборонами.

**Алгоритм методу покоординатної оптимізації** [10]. Суть полягає у поліпшенні початкового розміщення вузлів шляхом почергової оптимізації для кожного вузла при фіксованих розміщеннях  $(u-1)$  вузла. Повторюється до досягнення локального екстремуму цільової функції.

Алгоритм.

1. Задати вхідні дані: множину місць можливого розміщення вузлів; кількість вузлів  $u$ ; індекс поточного вузла –  $j := 1$ ; значення поточної ітерації –  $i := 1$ ; значення лічильника проходу по всіх точках  $l$ ; початковий варіант розміщення вузлів  $w^0$ ; краще поточне значення критерію  $C(w_i^l) = \infty$ .

2. Сформувати початкове розміщення вузлів  $w_i^l$ , розрахувати значення критерію  $C(w_i^l)$ .

3. Збільшити значення лічильника кількості ітерацій  $i := i + 1$ ; для вузла  $j$  в  $w_i^l$  змінити місце його розміщення при фіксованих значеннях для  $(u-1)$  вузлів.

4. Розрахувати значення критерію. Якщо  $C(w_i^l) \leq C(w_{i-1}^l)$ , то  $C(w^l) \leq C(w_i^l)$ ,  $w^0 := w_i^l$  і перейти до кроку 5.

5. Збільшити значення  $j := j + 1$ . Якщо  $j < u$  перейти до кроку 3, в іншому випадку – до кроку 6.

6. Якщо  $l = 0$ , то  $w_i^{l+1} := w_i^l$ ,  $l := l + 1$ ,  $j := 1$  і перейти до кроку 3, в іншому випадку – до кроку 7.

7. Якщо  $C(w^l) \leq C(w_i^{l-1})$ , то  $w_i^{l+1} = w_i^l$ ,  $l := l + 1$ ,  $j := 1$  і перейти до кроку 3, інакше – до кроку 8.

8. Закінчення алгоритму: отримано розв'язок  $w^0$ , який має найменше з розглянутих значення витрат  $C(w^0)$ .

**Алгоритм методу імітації відпалу** [10]. Метод імітує фізичний процес кристалізації речовини. Основна ідея полягає у тому, щоб для виходу з локальних мінімумів дозволити рух алгоритму у напрямку погіршення розв'язку. Імовірність виконати такий крок зменшується по ходу пошуку. У процесі розв'язання задачі здійснюється розрахунок значення

зміни енергії процесу  $\Delta E$ , ймовірності переходу до отриманого значення  $p(\Delta E)$ , функції зниження температури  $T$ :

$$\Delta E = C(w_i) - C(w_{i-1}), \quad (5)$$

де  $w_i, w_{i-1}$  – множини місць розміщення вузлів, визначених на  $i$ -й та  $(i-1)$ -й ітераціях.

Ймовірність переходу до отриманого варіанту визначається за співвідношенням:

$$p(\Delta E) = e^{-\Delta E/t_i}, \quad (6)$$

де  $t_i$  – «температура» процесу на  $i$ -й ітерації.

У найпростішому випадку використовується лінійна функція зниження температури:

$$T(i) = \frac{t_1}{i}, \quad (7)$$

де  $t_1$  – початкова температура процесу;

$i$  – номер ітерації.

Алгоритм.

1. Завдання вхідних даних: множини місць можливого розміщення вузлів; мінімальної  $t_{\min}$ , максимальної  $t_{\max}$  та початкової  $t_1 = t_{\max}$  температур відпалу; значення поточної ітерації  $i := 0$ ; кількості вузлів  $u := u_{\max}$ ; кількості обраних вузлів  $k := u_{\max}$ .

2. Формування початкового рішення: множини місць розміщення вузлів  $w_o, w^o := w_o$ ; матриці зв'язків елементів, вузлів і центру  $s = [s_{ij}]$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ .

3. Перевірка умови закінчення: якщо  $t_1 \leq t_{\max}$  перейти до кроку 9, інакше – до кроку 4.

4. Зміна значення  $i := i + 1$  і генерація  $w_i(k)$ .

5. Визначення зміни енергії  $\Delta E$  (5).

6. Якщо  $\Delta E \leq 0$ , тоді краще рішення  $w^o := w_i$  та перейти до кроку 3, інакше – до кроку 7.

7. Розрахувати ймовірність  $p(\Delta E)$  (6) та перейти із визначеною можливістю до отриманого варіанту.

8. Знизити температуру процесу  $t_{i+1} := T(i)$ , зменшити значення  $k$  та перейти до кроку 3.

9. Закінчення роботи алгоритму: отримано розв'язок  $w^o$  із мінімальним значенням витрат  $C(w^o)$ .

**Алгоритм методу Tabu Search** [10]. В основу методу Tabu Search покладена процедура аналізу матриці найближчих сусідів. Для виходу із локального оптимуму використовується список заборон, до якого входить передісторія пошуку. У процесі реалізації методу необхідне розв'язання додаткової задачі формування списку «найближчих сусідів».

Алгоритм.

1. Завдання вхідних даних: множини місць можливого розміщення вузлів; списку заборон  $T := \emptyset$ ; околиці пошуку «найближчих сусідів»; кількості ітерацій  $i := 0$ ; краще поточне значення критерію  $\Delta C(w_i^1) = \infty$ .

2. Сформувати список «найближчих сусідів».

3. Сформувати рішення  $w^o := w_o$ .

4. Якщо виконується умова зупинки, перейти до кроку 8, інакше – до кроку 5.

5. Сформувати рішення  $w_i$  на підставі матриці «найближчих сусідів» і списку заборон  $T$ .

6. Якщо  $C(w_i) < C(w_{i-1}^1)$  то  $w^o := w_i$ , додати елементи множини  $T$  до списку заборон.

7. Змінити значення  $i := i + 1$  та перейти до кроку 4.

8. Закінчення роботи алгоритму: отримано рішення  $w_o$  із мінімальним значенням показника витрат  $C(w_o)$ .

Для прогнозування часу розв'язання задач розміщення вузлів із використанням запропонованих модифікацій методу спрямованого перебору  $t(n)$  експериментальні дані апроксимовані поліномами із достовірністю  $R$ :

$$- \text{COM: } t(n) = 1.54n^2 - 4.05n; R = 0.99;$$

$$- \text{SA: } t(n) = 0.09n^2 - 0.22n; R = 0.99;$$

$$- \text{TS: } t(n) = 0.51n^2 - 1.68n; R = 0.99.$$

При цьому відносні похибки методів розв'язання задачі розміщення вузлів мають практично лінійну залежність від кількості вузлів у системі.

**Висновки.** На основі аналізу проблеми оптимізації великомасштабних об'єктів сформульована постановка задачі реінжинірингу їх топологічних структур. Для багаторівневих централізованих об'єктів знайшла подальшого розвитку математична модель задачі реінжинірингу за показником мінімуму витрат, цільова функція якої подана у вигляді явної залежності від параметрів топологічної структури об'єкта та дозволяє враховувати витрати на модернізацію, демонтаж і реалізацію його компонентів.

Для розв'язання задачі запропоновано модифікації методу спрямованого перебору варіантів, які дозволяють отримувати її розв'язки для систем з великою кількістю елементів.

Запропоновані математична модель та модифікації методу спрямованого перебору можуть бути використані для розв'язання задач проектування та оптимізації інформаційних, логістичних, транспортних систем і систем обслуговування.

#### Список літератури

1. Макаров В. Л. Управление развитием крупномасштабных систем (Современные проблемы. Выпуск 2) / В. Л. Макаров, С. Н. Васильев, А. А. Макаров, Н. А. Махутов и др.; под ред. А. Д. Цвиркуна. – М. : Изд-во физ.-мат. литературы, 2015. – 477 с.
2. Ткаченко В. І. Інформаційні системи та мережі військ. Ч. 1 / В. І. Ткаченко, Є. Б. Смірнов, І. О. Романенко та ін.; за ред. І. В. Рубана. – Х. : ХУПС, 2013. – 328 с.
3. Чеботарева Д. В. Многокритериальная оптимизация проектных решений при планировании сотовых сетей мобильной связи / Д. В. Чеботарева, В. М. Безрук. – Харьков : Компания СМІТ, 2013. – 148 с.
4. Андришкевич С. К. Построение информационной модели крупномасштабных объектов технологического управления с применением аспектно-ориентированного подхода /

- С. К. Андрюшкевич // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2010. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 34–45.
- Петров Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э. Г. Петров, В. П. Пискалкова, В. В. Бескоровайный. – К. : Техника, 1992. – 208 с.
  - Тимченко А. А. Основы системного проектирования та аналізу складних об'єктів / А. А. Тимченко; за ред. В. І. Бикова. – К. : Либідь, 2000. – 272 с.
  - Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 336 с.
  - Бескоровайный В. В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем / В. В. Бескоровайный // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2002. – Вып. 120. – С. 29–37.
  - Бескоровайный В. В. Разработка системологической модели проблемы структурно-топологического реинжиниринга систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3 (75). – С. 37–42.
  - Бескоровайный В. В. Модификации метода направленного перебора для реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Радиоэлектроника и информатика. – 2015. – № 3 (70). – С. 55–62.
- References (transliterated)**
- Makarov V. L., Mahutov N. A., Vasilev S. N., Makarov A. A. *Upravlenie razvitiem krupno-masshtabnykh sistem (Sovremennyye problemy. Vyipusk 2)* [Managing the development of large-scale systems (Modern Problems. Issue 2)]. Moscow, physico-mathematical publ., 2015, 477 p.
  - Tkachenko V. I., Smirnov E. B., Romanenko I. O. *Informatsiyni sistemi ta merezhi viysk. Ch. I* [Information systems and networks troops. Part 1]. Kharkov, HUPS Publ., 2013, 328 p.
  - Chebotaeva D. V., Bezruk V. M. *Mnogokriterialnaya optimizatsiya proektnykh resheniy pri planirovaniy sotovykh setey mobilnoy svyazi* [Multi-criteria optimization of the design decisions in the planning of cellular mobile networks]. Harkov, Komp. SMIT Publ., 2013, 148 p.
  - Andryushkevich S. K. *Postroenie informatsionnoy modeli krupnomasshtabnykh ob'ektov tehnologicheskogo upravleniya s primeneniem aspektno-orientirovannogo podhoda* [Building information model of technological management of large-scale objects c using aspect-oriented]. Vestnik NGU. Seriya: Informatsionnyye tehnologii, 2010, vol. 8, issue 3, pp. 34–45.
  - Petrov E. G. Piskalkova V. P., Beskorovaynyy V. V. *Territorialno raspredelennyye sistemyi obsluzhivaniya* [Geographically distributed service system]. Kiyv, Tehnika Publ., 1992, 208 p.
  - Timchenko A. A. *Osnovi sistemnogo proektuvannya ta analizu skladnih ob'ektiv* [Fundamentals of System Design and Analysis of Complex Objects]. Kiyv, Libid Publ., 2000, 272 p.
  - Norenkov I. P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Fundamentals of computer-aided design]. Moscow, MG TU im. Bauman Publ., 2002, 336 p.
  - Beskorovaynyy V. V. Sistemologicheskyy analiz problemy struktornogo sinteza territorialno raspredelennykh sistem [Systemological analysis of the problem of structural synthesis of geographically distributed systems]. *Avtomatizirovannyye sistemyi upravleniya i priboryi avtomatiki* [Automated control systems and automation equipment]. 2002, vol. 120, pp 29–37.
  - Beskorovaynyy V. V., Podolyaka K. E. *Razrabotka sistemologicheskoy modeli problemyi struktorno-topologicheskogo reinzhiniringa sistem krupnomasshtabnogo monitoringa* [Development systemological model problems of structural and topological re-engineering of large-scale monitoring systems]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyykh tehnologiy* [Eastern European Journal of advanced technology], 2015, issue 3 (75), pp. 37–42.
  - Beskorovaynyy V. V., Podolyaka K. E. *Modifikatsii metoda napravlennoogo perebora dlya reinzhiniringa topologicheskikh struktur sistem krupnomasshtabnogo monitoringa* [Method of directed enumeration modifications for reengineering topological structures of large-scale monitoring systems]. *Radioelektronika i informatika*, 2015, issue 3 (70), pp. 55–62.

Надійшла (received) 16.02.2017

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Методи оптимізації топологічних структур у проектах реінжинірингу великомасштабних об'єктів / В. В. Бескоровайний, А. С. Москаленко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 23–27. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

**Методы оптимизации топологических структур в проектах реинжиниринга крупномасштабных объектов / В. В. Бескоровайный, А. С. Москаленко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 23–27. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

**Topological optimization method in large-scale objects projects reengineering / V V. Beskorovainyi, A. S. Moskalenko** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 23–27. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0023.

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

**Бескоровайний Володимир Валентинович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків; e-mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua

**Бескоровайный Владимир Валентинович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков; e-mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua

**Beskorovainyi Volodymyr V.** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of systems engineering Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv; e mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua

**Москаленко Анастасія Сергіївна** – аспірантка Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків; e-mail: exxy1111@gmail.com

**Москаленко Анастасия Сергеевна** – аспирантка Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков; e-mail: exxy1111@gmail.com

**Moskalenko Anastasia S.** – graduate student Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv; e mail: exxy1111@gmail.com