

УДК 004.9

**В. В. Бескоровайный**, д-р техн. наук,  
**А. С. Москаленко, К. Е. Подоляка**

### **МНОГОФАКТОРНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ВАРИАНТОВ РЕИНЖИНИРИНГА КРУПНОМАСШТАБНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ**

***Аннотация.** Рассматривается задача реинжиниринга топологических структур крупномасштабных объектов по множеству функционально-стоимостных показателей. В рамках кардиналистического подхода предложена модификация метода многокритериальной оптимизации трехуровневых централизованных территориально распределенных систем, использующего направленный перебор вариантов по количеству узлов в системе.*

***Ключевые слова:** крупномасштабная система, структура, топология, реинжиниринг, оптимизация, частные критерии, подмножество компромиссов, обобщенный критерий эффективности*

**V. V. Beskorovainyi**, ScD.,  
**A. S. Moskalenko, X. E. Podolyaka**

### **MULTIFACTOR ESTIMATION OF REENGINEERING OPTIONS OF LARGE-SCALE OBJECT WHICH BASED ON IDENTIFICATION COMPARATOR**

***Abstract.** As part of the solution to the problem of optimization of large-scale objects made formalization of multi-criteria task of reengineering their topological structures. Formulated statement and shows a mathematical model of the task of reengineering of the three-level topological structure of centralized large-scale systems based on indicators of cost, efficiency, reliability and survivability.*

*Evaluation of options is made using the additive convolution of partial criteria. To solve the problem of incorrect identification of the weighting coefficients of particular criteria proposed combined method on the basis of an expert assessment, analysis hierarchy and the comparator technology. As a pseudo-original problem it is proposed to use a chebyshev approximation.*

*Thus formed the generalized objective function used in the method of directed enumeration of local extreme, which assumes a truncated bust topological structures and options for finding the best possible solutions across a variety of indicators.*

***Keywords:** geographically distributed system, structure, topology, reengineering, optimization, particular criteria, a subset of the compromise, the generalized criterion of efficiency*

**В. В. Безкоровайный**, д-р техн. наук,  
**А. С. Москаленко, К. Е. Подоляка**

### **БАГАТОФАКТОРНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВАРІАНТІВ РЕІНЖІНІРИНГУ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ КОМПАРАТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ**

***Анотація.** Розглядається задача реінжинірингу топологічних структур великомасштабних об'єктів по безлічі функціонально-вартісних показників. В рамках кардиналістичного підходу запропонована модифікація методу багатокритеріальної оптимізації тривірневих централізованих територіально розподілених систем, що використовує спрямований перебір варіантів за кількістю вузлів в системі.*

***Ключові слова:** великомасштабна система, структура, топологія, реінжиніринг, оптимізація, часткові критерії, підмножина компромісів, узагальнений критерій ефективності*

**Введение.** При принятии решений на всех этапах проектов создания и реинжиниринга крупномасштабных объектов (КМО) мониторинга, транспорта, связи, логистики неизбежно возникают задачи многофакторного оценивания и выбора вариантов. В основе моделей принятия решений в них лежит парадигма максимизации полезности.

Считается, что лицо, принимающее решения (ЛПР), при выборе вариантов из множества эффективных  $s \in S$  приписывает им некоторую полезность  $P(s)$ , значения которой и определяют его выбор. Методологической основой для реализации выбора ЛПР являются модели и методы ординалистической (порядковой) и кардиналистической (количественной) теории полезности.

© Бескоровайный В.В., Москаленко А.С.,  
Подоляка К.Е., 2016

Проекты создания и реинжиниринга КМО предполагают решение комплекса комбинаторных задач структурной, топологической, параметрической и технологической оптимизации. С учетом того, что мощности множеств допустимых технологий функционирования, параметров элементов и связей систем незначительны, основную трудность составляют задачи оптимизации их топологических структур, требующие оценки огромного количества вариантов.

Для реализации компьютерной поддержки принятия решений в рамках кардиналистического подхода необходимо предварительное решение задач структурной и параметрической идентификации моделей многофакторного оценивания [1]. При этом классические методы идентификации объектов практически непригодны для синтеза моделей принятия решений вследствие того, что выходные сигналы в этих процессах не могут быть оценены количественно.

К настоящему времени создан широкий арсенал математических моделей и методов выбора решений в условиях многокритериальности [1 – 4]. Большинство исследований в этой области направлено на измерение и шкалирование частных критериев [1], выбор функции нормирования частных критериев, оценку их важности [1 – 3]. В зависимости от роли ЛПП в процессе выбора лучшей альтернативы выделяется множество методов, которые отличаются способом перехода к скалярной оценке полезности альтернатив. В работах [4 – 10] предложены и (или) детально описаны методы принятия решений на основе теории полезности, анализа иерархий, теории нечетких множеств, методов ELECTRE и PROMETHEE, эвристических методов (взвешенной суммы оценок критериев, компенсации).

К числу достоинств существующего аппарата теории полезности относят возможность учета неопределенности и качественных предпочтения ЛПП [2; 7].

Преимуществами метода анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process – АНП) считаются наглядное системное представление структуры проблемы в виде иерархии и возможность четкого задания суждений экспертов. К числу недостатков этого метода отно-

сят его сложность и неустойчивость получаемых оценок к введению недоминирующих альтернатив. Это может приводить к противоречиям при ранжировании критериев и альтернатив [2; 6 – 7]. Кроме того, этот метод применим для анализа относительно небольшого количества альтернатив.

Аппарат теории нечетких множеств позволяет использовать нечеткие данные и учитывать неполную информацию. Недостатком этой группы методов считается то, что их применение требует значительных затрат на предварительное моделирование [2; 7].

Метод ELECTRE позволяет учитывать неопределенность данных, однако требует дополнительных данных для выполнения процедуры ранжирования альтернатив и не позволяет непосредственно идентифицировать сильные и слабые стороны альтернатив [2; 7; 10].

PROMETHEE прост в использовании и не требует выполнения предположения о пропорциональности критериев, предоставляет графический инструмент для представления ранжирования альтернатив. При этом метод не предоставляет четкого подхода к назначению весов [7; 10].

На последних этапах оптимизации КМО необходим более тщательный анализ альтернативных решений. На практике с этой целью применяют сочетания различных методов, что позволяет компенсировать их недостатки для получения эффективного решения [7]. Кроме того, для сокращения времени выбора наилучшего варианта построения в проектах оптимизации КМО целесообразно предварительно выделять подмножество компромиссных (эффективных, Парето-оптимальных) вариантов.

**Целью исследования** является разработка метода выбора решений в проектах реинжиниринга топологических структур крупномасштабных объектов по множеству функционально-стоимостных показателей.

**Постановка и математическая модель задачи.** Варианты топологических структур оптимизируемых объектов задаются количествами узлов, местами их размещения и схемой связей между элементами, узлами и центром. Ограничения на технологию функционирования, структуру и параметры опреде-

ляют подмножество допустимых проектных решений. Суть задачи состоит в поиске среди множества допустимых решений таких вариантов, которые удовлетворяют заданным ограничениям и являются лучшими по заданному множеству функционально-стоимостных показателей [11].

Задача реинжиниринга топологических структур КМО рассматривается как обобщение задачи реинжиниринга топологических структур трехуровневых централизованных систем крупномасштабного мониторинга в следующей постановке [12].

Задано множество элементов объекта (системы)  $I = \{i\}, i = \overline{1, n}$ ; существующий вариант топологической структуры системы  $a \in S$  (где  $S$  – множество допустимых вариантов топологических структур), задаваемый местами расположения элементов, узлов (размещаются на базе элементов), центра (центр системы расположен на базе элемента  $i = 1$ ), а также связями между элементами, узлами и центром  $x' = [x'_{ij}], i, j = \overline{1, n}$  ( $x'_{ij}$  – булева переменная,  $x'_{ij} = 1$ , если между элементами  $i$  и  $j$  существует непосредственная связь;  $x'_{ij} = 0$  – в противном случае); затраты на создание или модернизацию узлов  $[c_i], i = \overline{1, n}$  и связей  $[c_{ij}], i, j = \overline{1, n}$ .

Необходимо определить наилучший по показателям затрат, оперативности, надежности и живучести вариант топологической структуры КМО  $s^o \in S$ , задаваемый количеством узлов  $u$ , местами их размещения (центральный узел размещается на базе первого элемента) и схемой связей между элементами, узлами и центром с учетом заданных ограничений на функциональные показатели (оперативности, надежности и живучести).

Затраты на существующий вариант КМО  $C_c(a), a \in S$  состоят из затрат на центр  $C_c(a)$ , узлы  $C_u(a)$ , элементы  $C_e(a)$ , связи между узлами и центром  $C_{uc}(a)$ , элементами и узлами  $C_{eu}(a)$ .

Критерий минимума затрат на реинжиниринг  $k_1(a, s) \rightarrow \min_{s \in S}$  (с учетом возможности использования топологической структуры существующей системы  $a \in S$ ) представляются в виде:

$$k_1(a, s) = \sum_{i=1}^n [(c_i + e_i)(1 - x'_{ii})x_{ii} + (d_i - g_i)x'_{ii}x_{ii}] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(c_{ij} + e_{ij})(1 - x'_{ij})x_{ij} + (d_{ij} - g_{ij})x'_{ij}x_{ij}] \rightarrow \min_{s \in S}, \quad (1)$$

где  $c_i$  – стоимость элементов, узлов или центра в новой структуре,  $i = \overline{1, n}$ ;  $e_i$  – затраты на демонтаж узлов существующей структуры  $i = \overline{1, n}$ ;  $x'_{ij}$  и  $x_{ij}$  – соответственно элементы матриц смежности (связей) между элементами, узлами и центром в существующей  $x' = [x'_{ij}]$  и структуре после реинжиниринга  $x = [x_{ij}]$  ( $x'_{ij} = 1$  или  $x_{ij} = 1$ , если между элементами  $i$  и  $j$  существует непосредственная связь;  $x'_{ij} = 0$  или  $x_{ij} = 0$  – в противном случае);  $d_i$  – стоимость модернизации элемента, узла или центра в новой структуре  $i = \overline{1, n}$ ;  $g_i$  – стоимость ресурсов, которые могут быть повторно использованы (реализованы) после демонтажа оборудования узлов  $i = \overline{1, n}$ ;  $c_{ij}, e_{ij}, d_{ij}$  и  $g_{ij}, i, j = \overline{1, n}$  – соответственно стоимость связи, затраты на демонтаж, стоимость модернизации и стоимость ресурсов, которые могут быть повторно использованы для связи между элементами  $i$  и  $j$ ;  $S$  – множество допустимых вариантов топологических структур КМО.

В качестве оценки оперативности варианта построения КМО  $s$  используем значение максимального времени реализации функций элементом системы. Применительно к системе мониторинга это соответствует максимальному времени получения центром информации о наблюдаемом объекте [12]:

$$k_2(s) = \max_{1 \leq i \leq n} \left[ \tau_i^c + \frac{\alpha_i}{\gamma_{ij}} + \tau_i^e + \frac{\beta_i}{\gamma_{ij}} + \left( \frac{\alpha_i}{\gamma_i} + \frac{\alpha_i}{h_1^1} + \frac{\beta_i}{h_1^2} + \frac{\beta_i}{\gamma_i} \right) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}x_{ii} \right], \quad (2)$$

где  $n$  – количество элементов системы;  $\tau_i^c$  – время выдачи запроса  $i$ -у элементу;  $\alpha_i = const, \beta_i = const$  – объемы запросов и ответов;  $\gamma_i$  и  $\gamma_{ij}$  – пропускные способности каналов связи центр-узел и узел-элемент;  $h_1$  и  $h_2$  – скорости обработки запроса и ответа на запрос в узлах системы.

Для оценки надежности варианта построения КМО  $s$  воспользуемся соотношением [12]:

$$k_3(s) = k^C \cdot (k^U)^u \cdot k^E \cdot (k^{CU})^u \cdot (k^{UE})^n, \quad (3)$$

где  $k^C, k^U, k^E, k^{CU}, k^{UE}$  – соответственно, коэффициенты готовности топологической структуры КМО в целом, технических средств верхнего уровня (центра), среднего уровня (узлов), нижнего уровня (элементов), каналов связи верхнего уровня (центр – узлы), каналов связи нижнего уровня (узлы – элементы);  $u$  – количество узлов;  $n$  – количество элементов системы.

В качестве показателя живучести используем значение доли элементов в функционирующей КМО, связанных с центром при единичных повреждениях (для равновероятного единичного повреждения центра, узлов, элементов или одной из связей) [12]:

$$k_4(s) = \min_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{n - \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n x_{ji} x_{ij}}{n}, \frac{n-1}{n} \right\}, \quad (4)$$

где  $x_{ij}$  – булева переменная ( $x_{ij} = 1$ , если между элементами  $i$  и  $j$  существует непосредственная связь;  $x_{ij} = 0$  – в противном случае),  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – количество элементов системы.

Тогда формально задача реинжиниринга топологических структур КМО может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} k_1(a, s) \rightarrow \min_{s \in S}, k_1(a, s) \leq k_1^*; \\ k_2(s) \rightarrow \{\max_{1 \leq i \leq n} \tau_i\} \rightarrow \min_{s \in S}, k_2(s) \leq k_2^*; \\ k_3(s) \rightarrow \max_{s \in S}, k_3(s) \geq k_3^*; \\ k_4(s) = \{\min_{1 \leq j \leq n} [k_{4j}^{CU}(s), k_{4j}^U(s)]\} \rightarrow \max_{s \in S}, k_4(s) \geq k_4^*, \end{cases} \quad (5)$$

где  $k_1^*, k_2^*, k_3^*$  и  $k_4^*$  – граничные значения показателей затрат на реинжиниринг  $k_1(a, s)$  (1), оперативности  $k_2(s)$  (2), надежности  $k_3(s)$  (3) и живучести  $k_4(s)$  (4).

**Метод решения задачи.** В рамках кардиналистического подхода при использовании для оценки полезности вариантов аддитивной свертки частных критериев задача выбора наилучшего компромиссного решения  $s^o \in S$  (5) может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} s^o = \arg \max_{s \in S} \sum_{i=1}^4 \lambda_i \xi_i(s); \\ k_1(a, s) \leq k_1^*; \quad k_2(s) \leq k_2^*; \\ k_3(s) \geq k_3^*; \quad k_4(s) \geq k_4^*, \end{cases} \quad (6)$$

где  $\lambda_i$  – весовой коэффициент частного критерия  $k_i, i = \overline{1, 4}$  ( $\lambda_i \geq 0 \quad \forall i = \overline{1, 4}, \sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1$ );  $\xi_i(s)$  – функция полезности (ценности) варианта  $s \in S$  по частному критерию  $k_i, i = \overline{1, 4}$ ;  $k_1^*, k_2^*, k_3^*$  и  $k_4^*$  – граничные значения показателей затрат на реинжиниринг  $k_1(a, s)$ , оперативности  $k_2(s)$ , надежности  $k_3(s)$  и живучести  $k_4(s)$ .

В качестве функций полезности  $\xi_i(s)$  частных критериев  $k_i(s)$  предлагается использовать:

$$\xi_i(s) = \left( \frac{k_i(s) - k_i^-}{k_i^+ - k_i^-} \right)^{\mu_i}, \quad i = \overline{1, 4}, \quad (7)$$

где  $k_i^+, k_i^-, i = \overline{1, 4}$  – соответственно текущее, наихудшее и наилучшее значения  $i$ -го частного критерия;  $\mu_i$  – параметр, определяющий вид зависимости (выпуклая, линейная или вогнутая).

Для решения задачи (4) необходимо предварительно определить значения весовых коэффициентов частных критериев  $\lambda_i, i = \overline{1, 4}$ . С этой целью воспользуемся преимуществами методов анализа иерархии АНР [4 – 6] и компараторной идентификации [13].

В общем случае реализация метода анализа иерархии состоит из следующих этапов:

- описание задачи в виде иерархической структуры с уровнями: цель – критерии – альтернативы;
- формирование структуры модели;
- попарные сравнения элементов каждого уровня, с присвоением количественных оценок;
- вычисление коэффициентов важности элементов каждого уровня;
- вычисление веса каждой из альтернатив и определение наилучшей.

По результатам анализа решаемой задачи создадим иерархическую структуру модели. На последнем этапе метод предполагает

анализ всего множества возможных вариантов реинжиниринга топологических структур КМО. Его мощность в общем случае составляет [13]:

$$N(n) = \sum_{u=1}^n C_n^u = \sum_{u=1}^n \frac{n!}{u!(n-u)!} = 2^n, \quad (8)$$

где  $n$  – количество мест возможного размещения узлов (элементов системы);  $u$  – количество узлов в системе.

Ввиду того, что экспертам не под силу анализ такого количества допустимых вариантов (8) даже для систем с небольшим количеством элементов, предлагается для анализа отбирать только наилучшие альтернативы по каждому из частных критериев  $s_i^o \in S, i = \overline{1,4}$ . Они определяются в процессе выделения подмножества Парето-оптимальных вариантов [14].

На основе информации о значениях частных критериев альтернатив с помощью экспертов сформируем матрицу их парных сравнений  $Y = [y_{ij}]$ , каждый элемент которой служат оценкой относительной важности альтернативы  $s_i^o$  относительно альтернативы  $s_j^o$ . При этом, если  $y_{ij} = f_k$ , то  $y_{ji} = 1/f_k$ , где  $f_k$  – оценка важности альтернативы  $s_i^o$  относительно альтернативы  $s_j^o$ .

Для матрицы  $Y = [y_{ij}]$  определим собственный вектор уровня альтернатив  $w = [w_i]_{i=1}^4$  и значения функции полезности альтернатив:

$$w_i = \sqrt[4]{\prod_{j=1}^4 y_{ij}}, \quad i, j = \overline{1,4}; \quad (9)$$

$$P(s_i^o) = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^4 w_j}, \quad i, j = \overline{1,4}$$

По ходу вычисления значений функции полезности альтернатив (9) определяются и грубые значения весовых коэффициентов частных критериев  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ . Для повышения точности оценок предлагается использовать информацию о предпочтениях экспертов при оценке альтернатив по имеющимся количественным значениям частных критериев.

Зная экспертные оценки полезности множества наилучших по каждому критерию

альтернатив  $s_i^o \in S, P(s_i^o), i = \overline{1,4}$  и, вычислив значения их функций полезности по каждому частному критерию  $\xi_i(s_i^o), i = \overline{1,4}$  (7), составим систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \lambda_1 \xi_1(s_1^o) + \lambda_2 \xi_2(s_1^o) + \lambda_3 \xi_3(s_1^o) + \lambda_4 \xi_4(s_1^o) = P(s_1^o), \\ \lambda_1 \xi_1(s_2^o) + \lambda_2 \xi_2(s_2^o) + \lambda_3 \xi_3(s_2^o) + \lambda_4 \xi_4(s_2^o) = P(s_2^o), \\ \lambda_1 \xi_1(s_3^o) + \lambda_2 \xi_2(s_3^o) + \lambda_3 \xi_3(s_3^o) + \lambda_4 \xi_4(s_3^o) = P(s_3^o), \\ \lambda_1 \xi_1(s_4^o) + \lambda_2 \xi_2(s_4^o) + \lambda_3 \xi_3(s_4^o) + \lambda_4 \xi_4(s_4^o) = P(s_4^o), \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 1, \end{cases} \quad (10)$$

которая в матричном представлении будет иметь вид:

$$\Xi(s') \cdot \lambda = P(s'), \quad (11)$$

где  $\Xi(s')$  – матрица значений функций полезности частных критериев для наилучших решений по каждому из них:

$$\Xi(s') = \begin{pmatrix} \xi_1(s_1^o) & \xi_2(s_1^o) & \xi_3(s_1^o) & \xi_4(s_1^o) \\ \xi_1(s_2^o) & \xi_2(s_2^o) & \xi_3(s_2^o) & \xi_4(s_2^o) \\ \xi_1(s_3^o) & \xi_2(s_3^o) & \xi_3(s_3^o) & \xi_4(s_3^o) \\ \xi_1(s_4^o) & \xi_2(s_4^o) & \xi_3(s_4^o) & \xi_4(s_4^o) \end{pmatrix}; \quad (12)$$

$\lambda = [\lambda_1, \dots, \lambda_4]^T$  – вектор весовых коэффициентов частных критериев;  $P(s') = [P(s_1^o), \dots, P(s_4^o)]^T$  – вектор значений функции полезности наилучших вариантов по каждому из частных критериев.

Однако, в общем случае задача в такой постановке является некорректной по Адамару [1; 15 – 17]. Для определения единственного псевдорешения  $\lambda^o = [\lambda_1^o, \dots, \lambda_4^o]^T$  проведем регуляризацию исходную задачи путем сведения ее к задаче поиска чебышевской точки [13]. В этом случае решение задачи определения чебышевской точки может быть сведено к решению задачи линейного программирования вида:

$$\lambda_5 \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} \lambda_1 \xi_1(s_1^o) + \lambda_2 \xi_2(s_1^o) + \lambda_3 \xi_3(s_1^o) + \lambda_4 \xi_4(s_1^o) + \lambda_5 = P(s_1^o), \\ \lambda_1 \xi_1(s_2^o) + \lambda_2 \xi_2(s_2^o) + \lambda_3 \xi_3(s_2^o) + \lambda_4 \xi_4(s_2^o) + \lambda_5 = P(s_2^o), \\ \lambda_1 \xi_1(s_3^o) + \lambda_2 \xi_2(s_3^o) + \lambda_3 \xi_3(s_3^o) + \lambda_4 \xi_4(s_3^o) + \lambda_5 = P(s_3^o), \\ \lambda_1 \xi_1(s_4^o) + \lambda_2 \xi_2(s_4^o) + \lambda_3 \xi_3(s_4^o) + \lambda_4 \xi_4(s_4^o) + \lambda_5 = P(s_4^o), \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 1, \end{cases} \quad (13)$$

где  $\lambda_5$  – дополнительная переменная, обеспечивающая минимизацию максимальной невязки системы уравнений (11).

Решив задачу линейного программирования (13), получим значения весовых коэффициентов частных критериев, удовлетворяющих исходным условиям  $\lambda_i \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1$ .

Анализ зависимостей значений частных критериев  $k_1(a, s)$  (1),  $k_2(s)$  (2),  $k_3(s)$  (3) и  $k_4(s)$  (4) от количества узлов в системе  $u$  позволил выявить границы подмножества эффективных оптимальных решений  $[1, u_{\max}]$ . При этом значение  $u_{\max}$  соответствует количеству узлов в системе, после которого значения всех частных критериев ухудшаются.

Для поиска глобального оптимального решения задачи предлагается использовать идею направленного перебора [14; 18]. Суть ее состоит в определении отрезка  $[u_{\min}, u_{\max}]$ , который гарантированно содержит оптимальное решение.

В качестве нижней границы количества узлов в системе выберем  $u_{\min} = 1$ . Для определения верхней границы  $u_{\max}$  необходимо определить минимум максимальных затрат  $\Delta C_{\max}$ . С этой целью требуется решить задачу синтеза оптимальной топологии системы (без учета существующей топологии).

Поиск оптимального решения задачи будем производить на отрезке  $[1, u_{\max}]$ , изменяя количество узлов в системе по правилу  $u := u + 1$ .

Для решения задачи предложенным методом необходимо решение двух подзадач поиска минимума максимальных затрат  $\Delta C_{\max}$  и поиск минимума функции затрат на реинжиниринг. Каждая задача сравнима по сложности с классической задачей структурно-топологического синтеза.

С учетом этого временная сложность предлагаемого метода имеет порядок  $2 \cdot O[t(n)]$ , где  $t(n)$  – временная сложность метода решения базовой задачи структурно-топологического синтеза.

Точность предлагаемого метода определяется точностью метода размещения узлов. Для уменьшения времени решения задачи предлагается ряд модификаций метода направленного перебора с использованием

различных процедур определения мест размещения узлов.

В качестве базовой использована комбинаторная процедура, реализующая полный перебор всевозможных вариантов размещения узлов. В качестве альтернативных предлагается использовать процедуры на основе методов покоординатной оптимизации, имитации отжига (Simulated annealing), поиска с запретами (Tabu Search), эволюционного синтеза, кластеризации на основе k-means.

**Выводы.** Разработан метод реинжиниринга топологических структур централизованных трехуровневых крупномасштабных объектов по показателям затрат, оперативности, надежности и живучести. В нем рационально сочетаются достоинства экспертной оценки важности частных критериев путем анализа иерархии, компараторной идентификации и направленного перебора вариантов по количеству узлов в системе.

При необходимости решения задач большой размерности предлагается использовать модификации метода, реализующие размещения узлов на основе методов покоординатной оптимизации, имитации отжига, поиска с запретами, эволюционного синтеза, кластеризации на основе k-means.

Предложенный метод может быть развит в направлении совершенствования метода идентификации модели обобщенного критерия эффективности и использован при решении задач оптимизации информационных, транспортных, логистических систем и систем обслуживания. Его практическое применение позволит сократить сроки решения задач реинжиниринга и (или) затраты на реализацию топологических структур реструктуризуемых объектов.

#### Список использованной литературы

1. Овезгельдыев О. А. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации [Текст] / О. А. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров. – К. : Наукова думка, 2002. – 161 с.
2. Christodoulos A., and Pardalos M., (2014), Recent Advances in Global

Optimization [Text], *Princeton: Princeton University Press*, 648 p.

3. Соболева Е. В. Модификации критериев обобщенной полезности в задачах идентификации многокритериального выбора [Текст] / Е. В. Соболева // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2012. – №. 3. – С. 58 – 65.

4. Xu L., Yang J.B., (2001), Introduction to multi-criteria Decision Making and the Evidential Reasoning Approach [Text], *Manchester: Manchester School of Management*, pp. 163 – 187.

5. Hwang C.L., and Yoon K., (2012), Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications a state-of-the-art Survey [Text], *Springer Science & Business Media*, Vol. 186, 270 p.

6. Саати Т. Теория принятия решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.

7. Velasquez M., Hester P.T., (2013), An Analysis of multi-criteria Decision Making Methods [Text], *International Journal of Operations Research*, Vol. 10, No. 2, pp. 56 – 66.

8. Ambrasaite I., Barfod, M., and Salling, (2011), MCDA and Risk Analysis in Transport Infrastructure Appraisals: The Rail Baltica case Ambrasaite, I., Barfod, M., and Salling, K [Text], *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 20, pp. 944 – 953.

9. Kiker G.A. et al., (2005), Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making [Text], *Integrated Environmental Assessment and Management*, Vol. 1, No. 2, pp. 95 – 108.

10. Corrente S., Greco S., and Słowiński R., (2013), Multiple Criteria Hierarchy Process with ELECTRE and PROMETHEE [Text], *Omega*, Vol. 41, No. 5, pp. 820 – 846.

11. Чеботарева Д. В. Многокритериальная оптимизация проектных решений при планировании сотовых сетей мобильной связи [Текст] / Д. В. Чеботарева, В. М. Безрук. – Х. : Компания СМІТ. – 2013. – 148 с.

12. Бескорвайный В. В. Разработка модели многокритериальной задачи реинжини-

ринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга [Текст] / В. В. Бескорвайный, К. Е. Подоляка // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 4(76). – С. 49 – 55.

13. Бескорвайный В.В., Трофименко И.В. Структурно-параметрична ідентифікація моделей багатофакторного оцінювання [Текст] // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 3 (7). – С. 56 – 59.

14. Бескорвайный В. В. Выбор многокритериальных решений при реинжиниринге топологических структур систем крупномасштабного мониторинга [Текст] / В. В. Бескорвайный, К. Е. Подоляка // Системи обробки інформації. – 2016, – № 5(142). – С. 80 – 86.

15. Губаренко Е. В. Модели и методы управления устойчивым развитием социально-экономических систем: монография [Текст] / Е. В. Губаренко, А. О. Овезгельдыев, Э. Г. Петров; под. общ. ред. Э. Г. Петрова. – Херсон : Гринь Д. С., 2013. – 252 с.

16. Петров Э. Г. Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности: монография [Текст] / Э. Г. Петров, Н. А. Брынза, Л. В. Колесник, О. А. Пискалова; под. общ. ред. Э. Г. Петрова. – Херсон : Гринь Д. С., 2014. – 192 с.

17. Крючковский В. В. Введение в нормативную теорию принятия решений. Методы и модели: монография [Текст] / В. В. Крючковский, Э. Г. Петров, Н. А. Соколова, В. Е. Ходаков; под. общ. ред. Э. Г. Петрова. – Херсон : Гринь Д.С., 2013. – 284 с.

18. Бескорвайный В. В. Метод реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга [Текст] / В. В. Бескорвайный, К. Е. Подоляка // Прикладная радиоэлектроника. – 2015. – Т. 14. – № 3. – С. 197 – 202.

Получено 08.06.2016

#### References

1. Ovezgel'dyev O.A., Petrov E.G., and Petrov K.E. Sintez i identifikatsiya modeley

- mnogofaktornogo otsenivaniya i optimizatsii [Synthesis and Identification Multivariate Model Estimation and Optimization], (2002), Kiev, Ukraine, *Naukova Dumka*, 161 p. (In Russian).
2. Christodoulos A., and M. Pardalos, (2014), Recent Advances in Global Optimization, *Princeton: Princeton University Press*, 648 p. (In English).
  3. Soboleva E.V. Modifikatsii kriteriev obobshchennoy poleznosti v zadachakh identifikatsii mnogokriterial'nogo vybora [Modifications to the Criteria of the Generalized Utility in the Identification of Problems of Multi-criteria Selection], (2012), *Sistemni Doslidzhennya ta Informatsiyi Tekhnologii*, No. 3, pp. 58 – 65 (In Russian).
  4. Xu L., and Yang J.B., (2001), Introduction to multi-criteria Decision Making and the Evidential Reasoning Approach, *Manchester: Manchester School of Management*, pp. 163 – 187 (In English).
  5. Hwang C.L., and Yoon K., (2012), Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications a state-of-the-art Survey, *Springer Science & Business Media*, Vol. 186, 270 p. (In English).
  6. Saati T. Teoriya prinyatiya resheniy. Metod analiza ierarkhiy [Decision theory. The method of analysis of hierarchies], (1993), Moscow, Russian Federation, *Radio i Svyaz'*, 278 p. (In Russian).
  7. Velasquez M., and Hester P.T., (2013), An Analysis of multi-criteria Decision Making Methods, *International Journal of Operations Research*, Vol. 10, No. 2, pp. 56 – 66 (In English).
  8. Ambrasaite I., Barfod, M., and Salling, K., (2011), MCDA and risk Analysis in Transport Infrastructure Appraisals: The Rail Baltica case Ambrasaite, I., Barfod, M., and Salling, K. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 20, pp. 944 – 953 (In English).
  9. Kiker G.A. et al., (2005), Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making, *Integrated Environmental Assessment and Management*, Vol. 1, No. 2, pp. 95 – 108 (In English).
  10. Corrente S., Greco S., and Słowiński R., (2013), Multiple Criteria Hierarchy Process with ELECTRE and PROMETHEE, *Omega*, Vol. 41, No. 5, pp. 820 – 846 (In English).
  11. Chebotareva D.V., and Bezruk V.M., Mnogokriterial'naya optimizatsiya proektnykh resheniy pri planirovanii sotovykh setey mobil'noy svyazi [Multi-criteria Optimization of the Design Decisions in the Planning of Cellular Mobile Networks], (2013), Kharkov Ukraine, *Kompaniya SMIT*, 148 p. (In Russian).
  12. Beskorovaynyy V.V., and Podolyaka K. E., Razrabotka modeli mnogokriterial'noy zadachi reinzhiniringa topologicheskikh struktur sistem krupnomasshtabnogo monitoringa [Development of a Model of Multicriteria Task of Reengineering of Topological Structures of Large-scale Monitoring Systems], (2015), *Vostochno-Evropeyskiy Zhurnal Peredovykh Tekhnologiy*, No. 4(76), pp. 49 – 55 (In Russian).
  13. Beskorovaynyy V.V., and Trofimenko I.V., Strukturno-parametrichna identifikatsiya modeley bagato-faktornogo otsinyuvannya [Structural and Parametric Identification of Models of Multifactor Evaluation], (2006), *Sistemy Ozbroyennya i Viys'kova Tekhnika*, No. 3 (7), pp. 56 – 59 (In Ukrainian).
  14. Beskorovaynyy V.V., and Podolyaka K.E., Vyor mnogokriteri-al'nykh resheniy pri reinzhiniringe topologicheskikh struktur sistem krupnomasshtabnogo monitoringa [Choice of Multi-criteria Decision at Reengineering Topological Structures of Large-scale Monitoring Systems], (2016), *Sistemi Obrobki Informatsii*, No. 5(142), pp. 80 – 86 (In Russian).
  15. Gubarenko E.V., Ovezgel'dyev A.O., and Petrov E.G., Modeli i metody upravleniya ustoychivym razvitiem sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: monografiya [Models and Methods of Management of Sustainable Development of Socio-economic Systems: Monograph], (2013); pod. obshch. red. E.G. Petrova. – Kherson, Ukraine, *Grin' D.S.*, 252 p. (In Russian).
  16. Petrov E.G., Brynza N.A., Kolesnik L.V., and Pisklakova O.A., Metody i modeli prinyatiya resheniy v usloviyakh mnogokriterial'nosti i neopredelennosti: monografiya [Methods and Models of Decision

Making under Uncertainty and Multicriteriality: Monograph], (2014); *pod. obshch. red. E.G. Petrova*, Kherson, Ukraine, *Grin' D.S.*, 192 p. (In Russian).

17. Kryuchkovskiy V.V., Petrov E.G., Sokolova N.A., and Khodakov V.E., *Vvedenie v normativnyuyu teoriyu prinyatiya resheniy. Metody i modeli: monografiya* [Introduction to the Theory of Regulatory Decision-making. Methods and Models: Monograph], (2013); *pod. obshch. red. E.G. Petrova*, Kherson, Ukraine, *Grin' D.S.*, 284 p. (In Russian).

18. Beskorovaynyy, V.V., and K.E. Podolyaka, *Metod reinzhiniringa topologicheskikh struktur sistem krupnomasshtabnogo monitoringa* [Method Reengineering Topological Structures of Large-scale Monitoring Systems], (2015), *Prikladnaya Radioelektronika*, Vol. 14, No. 3, pp. 197 – 202 (In Russian).



**Бескоровайный**

Владимир Валентинович, д-р техн. наук, профессор, академик Академии наук Прикладной радиоэлектроники, профессор кафедры Системотехники Харьковского нац. ун-та радиоэлектроники.

Тел. 702-16-73.

E-mail:

[vvbeskorovainyi@mail.ru](mailto:vvbeskorovainyi@mail.ru).



**Москаленко**

Анастасия Сергеевна, аспирантка кафедры Системотехники Харьковского нац. ун-та радиоэлектроники.

Тел. 702-16-73.

E-mail:

[exxy1111@mail.ru](mailto:exxy1111@mail.ru).



**Подольяка**

Ксения Евгеньевна, младший научный сотрудник кафедры Системотехники Харьковского нац. ун-та радиоэлектроники.

Тел. 702-16-73.

E-mail:

[podolyakakseniya@gmail.com](mailto:podolyakakseniya@gmail.com)