

DOI 10.15589/jnn20150214

УДК 005.8: 519.14

К56

## ANALYSIS OF TOPOLOGICAL PROPERTIES OF LINEAR-FUNCTIONAL ORGANIZATIONAL STRUCTURES OF ENTERPRISES

## АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИНЕЙНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР ПРЕДПРИЯТИЙ

**Ihor I. Kovalenko**

igor.kovalenko@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-2655-6667

**Kateryna S. Puhachenko**

pugachenko.katya@yandex.ua

ORCID: 0000-0003-0310-5724

**Kateryna O. Antipova**

rinaredka@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9012-5290

**И. И. Коваленко,**

д-р техн. наук, проф.;

**Е. С. Пугаченко,**

асп.;

**Е. А. Антипова**

магистр

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

**Abstract.** In the process of restructuring and formation of the organizational structures of modern enterprises, the problem of the complex estimation of the structures effectiveness arises. The organizational structures of the enterprises capable of self-management and self-development are linear-functional. On the one hand, they are strictly hierarchical, on the other hand, they differ significantly in the number of their constituent units (divisions, departments, etc.). This indicates the sharp uneven distribution of management information load in the existing structural enterprises. For the analysis of such structures, it is reasonable to use a systematic approach that allows taking into account many factors. They are economic, financial, environmental, regulatory and others. The aim of the study is to consider the method of the analysis of linear-functional organizational structures. It uses a number of criteria for characterizing and evaluating the topological properties of the tree graphs. The study considers such criteria as the organizational structure controllability (controllability norm); organizational structure compactness (graph diameter, graph radius, tree height, tree balance); organizational structure stability (external sustainability number, internal stability number). The topological properties of the organizational structures represented by tree graphs are considered using the graph theory.

The practical application of the method is considered by the example of the linear-functional organizational structure of a seaport.

The results of the study can be applied for the complex evaluation of the effectiveness of linear-functional organizational structures in the process of restructuring or formation.

**Keywords:** linear-functional organizational structure; topological properties; graph theory.

**Аннотация.** В процессе реструктуризации и формирования современных организационных структур, способных к самоуправлению и саморазвитию, возникает задача получения комплексной оценки их эффективности. Рассматривается методика, позволяющая проводить анализ линейно-функциональных организационных структур с использованием критериев, оценивающих их топологические свойства. Анализируются топологические свойства организационных структур, представленных графами-деревьями с применением теории графов. Предлагается практическое использование методики на примере анализа линейно-функциональной организационной структуры морского порта.

**Ключевые слова:** линейно-функциональные организационные структуры; топологические свойства; теория графов.

**Анотація.** У процесі реструктуризації і формування сучасних організаційних структур, здатних до самоуправління та саморозвитку, виникає завдання отримання комплексної оцінки їх ефективності. Розглядається методика, що дозволяє проводити аналіз лінійно-функціональних організаційних структур з використанням критеріїв, що оцінюють їх топологічні властивості. Анализуються топологічні властивості організаційних структур, представлених графами-деревями із застосуванням теорії графів. Пропонується

практичне використання методики на прикладі аналізу лінійно-функціональної організаційної структури морського порту.

**Ключові слова:** лінійно-функціональні організаційні структури; топологічні властивості; теорія графів.

## REFERENCES

- [1] Burkov V.N., Korgin N.A., Novikov D.A. *Vvedenie v teoriyu upravleniya organizatsionnymi sistemami* [Introduction to organizational systems management]. Moscow, LIBROKOM Publ., 2009. 264 p.
- [2] Voronin A.M., Mishin S.P. *Optimalnyie ierarkhicheskie struktury* [Optimal hierarchical structures]. Moscow, IPU RAN Publ., 2003. 214 p.
- [3] Gubko M.V. *Matematicheskie modeli optimizatsii ierarkhicheskikh struktur* [Mathematical models of hierarchical structures optimization]. Moscow, LENAND Publ., 2006. 264 p.
- [4] Diligenskiy N.V., Salov A.G. Sistemny analiz i sovershenstvovanie organizatsionnykh struktur upravleniya deyatel'nostyu generiruyushchego predpriyatiya [System analysis and improvement of the organizational structures for the management of the generating enterprise activity]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN — Proceedings of the Samara Scientific Center, RAS*, 2012, vol. 14, no. 4, issue 5, pp. 1445–1450
- [5] Diligenskiy N.V., Nemchenko V.I., Posashkov M.V. Sistemny podkhod v sovershenstvovanii organizatsionnoy struktury gazoraspredeleitel'noy organizatsii [Systematic approach at the improvement of the organizational structure of a gas distribution company]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Tekhnicheskie nauki»* [Bulletin of Samara State Technical University. Series «Technical Sciences»], 2013, no. 3, issue 39, pp. 32–42.
- [6] Novikov D.A. *Teoriya upravleniya organizatsionnimi sistemami* [Theory of organizational system management], Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 523 p.
- [7] Novikov D.A. *Diskretnaya matematika dlya programmistov* [Discrete mathematics for programmers]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2002. 304 p.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для многих крупных предприятий, функционирующих в условиях рыночной экономики и имеющих многоуровневую структуру управления и значительное количество работников, стоят задачи реструктуризации и формирования современных организационных структур, способных к самоуправлению и саморазвитию [4].

Анализ ряда публикаций, в частности [3, 4, 5], показывает, что организационные структуры (ОС) таких предприятий являются линейно-функциональными, которые, с одной стороны, характеризуются строгой иерархичностью, а с другой стороны, существенно отличаются по числу входящих в них подразделений (отделов, управлений и др.). Это свидетельствует о резкой неравномерности распределения управленческой информационной нагрузки в действующих структурных предприятиях.

При изучении таких структур для получения комплексной оценки их эффективности целесообразно использовать системный подход, который позволяет учитывать многие факторы: экономические, финансовые, экологические, нормативно-правовые и др.

Следует отметить, что в последние годы появился ряд публикаций, например [1, 2, 3, 6], в которых исследуются экономические (затраты на содержание

организационной структуры, норма управляемости и др.) и организационные факторы (формирование и оптимизация состава) структур.

Вместе с этим представляют интерес задачи, связанные с исследованием топологических свойств организационных структур, представленных графами-деревьями. Такие задачи решаются в работах [4, 5] с применением теории графов.

**ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ** является детальное изучение методики анализа линейно-функциональных организационных структур, которая использует ряд критериев, характеризующих и оценивающих топологические свойства древовидных графов.

## ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрим группы критериев, позволяющих проводить анализ топологических свойств линейно-функциональных организационных структур, представленных древовидными графами:

– управляемость (норма управляемости) организационной структуры может быть оценена двумя показателями – информационной нагрузкой элементов структуры, неоднородностью информационной нагрузки;

– компактность организационной структуры (диаметр графа, радиус графа, высота дерева, сбалансированность дерева);

– устойчивость организационной структуры (число внешней устойчивости, число внутренней устойчивости).

Дадим толкование перечисленных свойств с позиции теории графов.

**Управляемость ОС.** Информационная нагрузка интерпретируется величиной степени соответствующей вершины  $V_i$  графа  $G=(V, E)$ , которая определяется числом ребер, инцидентных  $V_i$  и обозначается  $\deg V_i$ . Минимальная степень вершин графа  $G$  —  $\min \deg G$  выражается формулой  $\min \deg G = \min \{\deg V_1, \deg V_2, \dots, \deg V_n\}$ . Максимальная степень вершин  $G$  —  $\max \deg G$  записывается как  $\max \deg G = \max \{\deg V_1, \deg V_2, \dots, \deg V_n\}$ . В случае, когда  $\min \deg G = \max \deg G$ , т. е. все вершины  $G$  имеют одинаковую степень, такой граф называется однородным. Системно обоснованной и оптимальной характеристикой числа управленческих связей на высших уровнях ОС является степень вершины, равная семи, т. е.  $\deg V_i \leq 7$  [4]. Тогда показатель информационной нагрузки может быть оценен как  $\lambda_0 = \lambda_{i_0}/7$ , а величина неравномерности (неоднородности) нагрузки характеризуется следующим выражением  $\bar{\lambda} = \max \deg G / \min \deg G$ .

**Компактность ОС.** Диаметр графа  $D(G)$  определяется длиной длиннейшей геодезической, которая, в свою очередь, определяет длину кратчайшей цепи между произвольными вершинами  $d(V_i, V_j)$ , т. е.  $D(G) = \max \min \{d(V_i, V_j)\}, (V_i, V_j) \in V, \forall G$ .

Радиус графа  $R(G)$  характеризует наименьшее из максимальных значений расстояний от некоторой фиксированной вершины  $V_0$  до всех остальных вершин, т. е.  $R(G) = \min \max \{d_1(V_0, V_1), d_2(V_0, V_2), \dots, d_m(V_0, V_m)\}$ . Эффективность (оптимальность) ОС в плане ее компактности (целостности) обеспечивается следующими условиями:  $D(G) \rightarrow \min, D(G) - R(G) \rightarrow \min$ .

Высотой графа-дерева  $H(G)$  называется длина наибольшего маршрута, проходящего из корневой вершины  $V_0$  через промежуточные вершины до какой-либо концевой вершины  $V_n$ .  $H(G)$ , в свою очередь, характеризуется числом уровней  $k$ . Говорят, что вершина  $V_i$ , удаленная на расстояние  $k$  от корневой вершины  $V_0$ , расположена на уровне  $k$  (или является вершиной уровня  $k$ ). Сам корень имеет уровень 0. Узлы одного уровня образуют ярус дерева. Другими словами, величина  $k$  определяет число уровней иерархии ОС, оптимальное значение которой  $k \leq 5$ .

Дерево будет сбалансированным (или симметричным), если высота левого и правого поддеревьев отличается не более чем на 1.

**Устойчивость ОС.** Множество вершин графа  $G(V, E)$  называется внутренне устойчивым (независимым), если никакие две вершины из этого множества несмежны. Число вершин в наибольшем независимом множестве графа  $G$  является числом внутренней устойчивости и обозначается  $\alpha_0(G)$ :

$$\alpha_0(G) = \max \{|S_i|\}, S_i \subset V,$$

где  $S_i$  — всевозможные внутренние устойчивые подмножества, а  $|S_i|$  — количество элементов в  $S_i$ .

Число  $\alpha_0(G)$  определяет множество независимости участников управленческой деятельности, чем больше данное число, тем больше степеней свободы имеет организационная структура.

Подмножество вершин  $S$  графа  $G(V, E)$  называется внешне устойчивым (доминирующим), если каждая вершина из  $V$  смежна с некоторой вершиной из  $S$ , другими словами, каждая вершина графа  $G$  находится на расстоянии не более 1 от доминирующего множества.

Таким образом, множество вершин  $S$  внешне устойчиво, если любая вершина  $V_i$  не входящая в  $S$ , служит началом хотя бы одной дуги, конец которой находится в  $S$ . Наименьшее из количеств вершин в подмножествах  $S_i, i=1, 2, \dots$  будет числом внешней устойчивости  $\beta_0(G)$  или числом доминирования.

Принадлежность к доминирующему множеству характеризует количество элементов структуры, где могут приниматься решения и учитываться их вес по отношению к общему числу структурных элементов.

Рассмотрим пример использования описанных критериев в анализе организационной структуры морского порта, изображенной на рис. 1. Граф такой структуры представляет собой пятиуровневую ( $k=5$ ) иерархию, состоящую из  $n=58$  вершин и  $m=57$  ребер (рис. 2).

Рассчитаем значения информационной нагрузки элементов второго уровня иерархии, реализующих управленческие решения:

$$\begin{aligned} \deg \{a_0\} &= 13; & \deg \{a_1\} &= 4; & \deg \{a_2\} &= 1; & \deg \{a_3\} &= 5; \\ \deg \{a_4\} &= 7; & \deg \{a_5\} &= 2; & \deg \{a_7\} &= 3; & \deg \{a_{13}\} &= 3. \end{aligned}$$

$$\text{Отсюда, } \max \deg \{G\} = \deg \{a_0\} = 13;$$

$$\min \deg \{G\} = \deg \{a_2\} = 1.$$

$$\lambda_{a_0} = \frac{\deg \{a_0\}}{7} = 1,86;$$

$$\lambda_{a_1} = \frac{\deg \{a_1\}}{7} = 0,57; \quad \lambda_{a_2} = \frac{\deg \{a_2\}}{7} = 0,14;$$

$$\lambda_{a_3} = \frac{\deg \{a_3\}}{7} = 0,7; \quad \lambda_{a_4} = \frac{\deg \{a_4\}}{7} = 1,0;$$

$$\lambda_{a_5} = \frac{\deg \{a_5\}}{7} = 0,28; \quad \lambda_{a_7} = \frac{\deg \{a_7\}}{7} = 0,43;$$

$$\lambda_{a_{13}} = \frac{\deg \{a_{13}\}}{7} = 0,43; \quad \bar{\lambda} = \frac{\max \deg \{G\}}{\min \deg \{G\}} = 13.$$

Проведенный расчет показывает, что начальник порта имеет информационную перегрузку в 186%, в то время как информационная нагрузка большинства руководителей высшего звена является недостаточной.

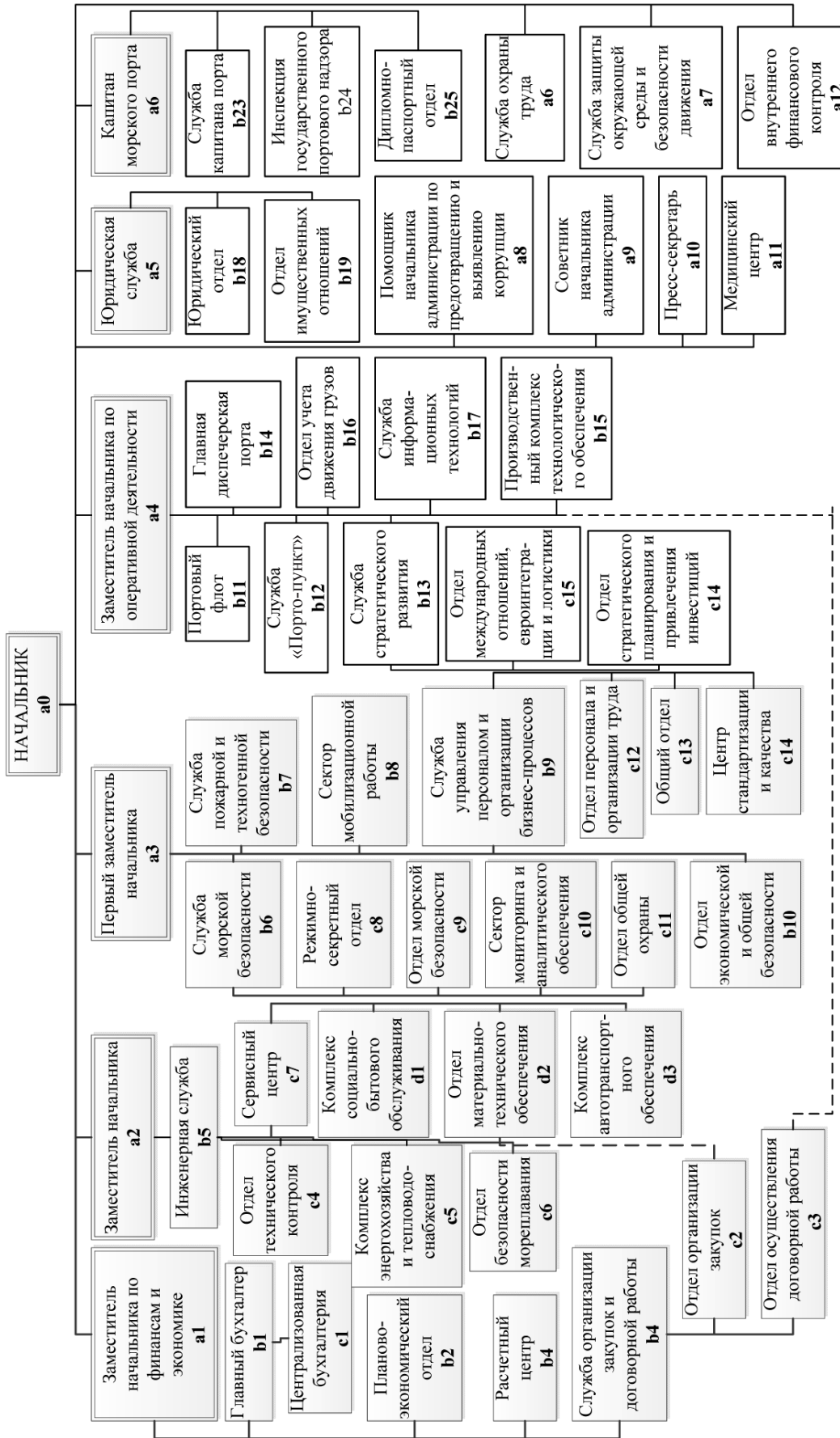


Рис. 1. Пример организационной структуры морского порта

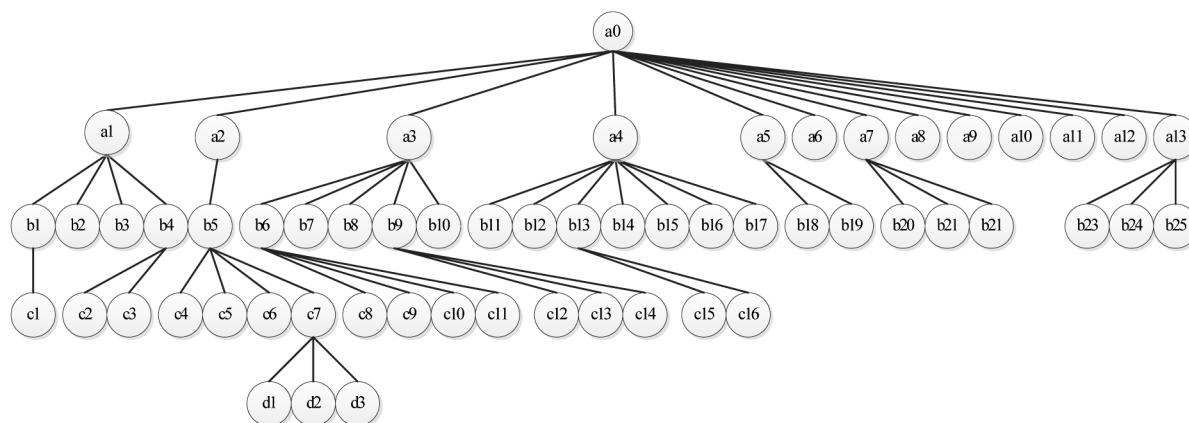


Рис. 2. Граф-дерево организационной структуры морского порта

Степень неравномерности информационной нагрузки  $\bar{\lambda}=13$  достаточно велика, а информационная нагрузка первого руководителя требует ее уменьшения.

Проведем анализ ОС порта с использованием критериев компактности, для чего определяем диаметр и радиус графа. Диаметр характеризует максимальную длину маршрута, необходимого для передачи информации от наиболее удаленного подразделения в центр принятия управленческих решений и передачи принятого решения другому наиболее удаленному подразделению организации. Для рассматриваемого графа диаметр  $D(G)=7$  и определяется цепью  $d_1 \rightarrow c_7 \rightarrow b_5 \rightarrow a_2 \rightarrow a_0 \rightarrow a_{13} \rightarrow b_{23}$ . Радиус графа  $R(G)$  характеризует наименьшее из максимальных значений расстояний для фиксирования вершин  $a_0$  до всех вершин графа. Для нашего примера  $R(G)=4$  и представлен цепью  $a_0 \rightarrow a_3 \rightarrow b_6 \rightarrow c_8$ .

Компактность ОС будет тем оптимальнее, чем меньше диаметр графа  $D(G)$  и разность между диаметром и радиусом  $R(G)$  графа  $(D(G)-R(G))$ . Для рассматриваемой ОС величины  $D(G)$  и  $(D(G)-R(G))$  достаточно велики, что отвечает не совсем удовлетворительной компактности существующей структуры порта.

Для анализа устойчивости структуры подсчитаем числа внутренней и внешней устойчивости гра-

фа  $(\alpha_0(G), \beta_0(G))$ . Наибольшим независимым множеством вершин в рассматриваемом графе является следующее:  $\{a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, b_2, b_3, b_7, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}, b_{14}, \dots, b_{25}, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_8, \dots, c_{16}, d_1, d_2, d_3\}$ . В соответствии с этим  $\alpha_0(G)=44$ , что в процентном отношении составляет 75,8% от общего числа вершин. Это можно трактовать как то, что организационная структура обладает достаточно высокой степенью независимости.

Наименьшим внешне устойчивым множеством вершин графа является  $\{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_7, a_{13}, b_1, b_4, b_5, b_6, b_8, b_{13}, c_7\}$ . Это определяет число  $\beta_0(G)=14$ , что составляет 24,2% от общего числа вершин ОС. Данный показатель характеризует достаточно большое число ключевых лиц, принимающих решения в рассматриваемой ОС.

**ВЫВОДЫ.** В работе рассмотрена методика анализа линейно-функциональных организационных структур, которая использует ряд критериев, характеризующих и оценивающих топологические свойства древовидных графов. Проведенный анализ одной из действующих организационных структур морского порта показал, что по критериям управляемости и компактности такая структура не в полной мере является эффективной, что может стать основанием для ее реструктуризации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Бурков, В. Н.** Введение в теорию управления организационными системами [Текст] / В. Н. Бурков, Н. А. Коргин, Д. А. Новиков. — М. : «ЛИБРОКОМ», 2009. — 264 с.
- [2] **Воронин, А. М.** Оптимальные иерархические структуры [Текст] / А. М. Воронин, С. П. Мишин. — М. : ИПУ РАН, 2003. — 214 с.
- [3] **Губко, М. В.** Математические модели оптимизации иерархических структур. [Текст] — М. : ЛЕНАНД, 2006. — 264 с.
- [4] **Дилигенский, Н. В.** Системный анализ и совершенствование организационных структур управления деятельностью генерирующего предприятия [Текст] / Н. В. Дилигенский, А. Г. Салов // Известия Самарского научного центра РАН, 2012. — Т. 14. — № 4 (5). — С. 1445–1450.

- [5] **Дилигенский, Н. В.** Системный подход в совершенствовании организационной структуры газораспределительной организации [Текст] / Н. В. Дилигенский, В. И. Немченко, М. В. Посашков // Вестник Самарского госуд. техн. ун-та. Серия «Технич. науки», 2013. — № 3 (39). — С. 32–42.
- [6] **Новиков, Д. А.** Теория управления организационными системами [Текст] / А. Д. Новиков. — М. : Физматлит, 2007. — 523 с.
- [7] **Новиков, Д. А.** Дискретная математика для программистов [Текст] / А. Д. Новиков. — СПб. : Питер, 2002. — 304 с.

---

© І. І. Коваленко, К. С. Пугаченко, К. О. Антіпова

Надійшла до редколегії 10.02.2015

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. *К. В. Кошкін*