

УДК 519.816

**Коваленко Игорь Иванович**

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, *ORCID: 0000-0003-2655-6667*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев*

**Пугаченко Екатерина Сергеевна**

Аспирант кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, *ORCID: 0000-0003-0310-5724*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев*

**Чернова Любава Сергеевна**

Аспирант кафедры управления проектами, *ORCID: 0000-0001-7846-9034*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев*

**Антипова Екатерина Александровна**

Магистр кафедры программного обеспечения автоматизированных систем

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев*

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

*Аннотация.* С целью получения оценки функционального состояния сложных линейно-функциональных организационных структур управления современными крупными региональными предприятиями используется системный подход, который позволяет учитывать многие факторы и критерии: экономические, технологические, финансовые нормативно-правовые и др. Предложена методика анализа линейно-функциональных организационных структур предприятий на основе критериев по затратам на содержание и качества таких структур. Приведены свойства оптимальных иерархий, позволяющие анализировать организационные иерархические структуры на оптимальность по критерию затрат на их содержание. Рассмотрены группы показателей топологических свойств линейно-функциональных структур, определяющих их оптимальность по критерию качества. Приведено толкование перечисленных свойств с позиции теории графов. Рассмотрен пример использования указанных критериев для анализа организационной структуры одного из судостроительных заводов. Рассмотренная методика анализа организационных структур позволяет сформировать множество допустимых по оптимальности иерархий.

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

### Постановка проблемы

Одним из основных условий функционирования предприятий в условиях рыночной экономики является соответствие организационной структуры управления целям и задачам, стоящими перед ними. Современные крупные региональные предприятия характеризуются большим числом работников, многоуровневой структурой управления, разнообразием входящих в них подразделений (отделов, управлений и др.), неравномерностью распределения управленческих нагрузок и др. Все это привело к созданию сложных линейно-функциональных организационных структур управления такими предприятиями.

Для анализа таких структур с целью получения оценки их функционального состояния целесообразно использовать системный подход,

который позволяет учитывать многие факторы и критерии: экономические, технологические, финансовые нормативно-правовые и др.

### Анализ последних исследований и публикаций

Анализ публикаций последних лет [1; 2; 3; 6], посвященных данной проблеме, позволяет указать на два направления ее решения. Так, например, монографии [1; 3] посвящены оптимальным иерархическим структурам, где в роли критерия оптимизации выступают затраты на содержание организационной структуры управления. В работах [4; 5] рассматривается другой подход, позволяющий определять качество организационной структуры на основе оценивания ее топологических свойств (компактность, устойчивость и др.) с применением теории графов.

Вместе с этим, для более полной оценки эффективности функционирования действующих организационных структур управления предприятиями представляет интерес комплексное использование отмеченных подходов.

### Цель статьи

Целью работы является рассмотрение методики анализа линейно-функциональных организационных структур предприятий для оценивания их состояний на основе критериев по затратам на содержание и качества таких структур.

### Изложение основного материала

Рассмотрим заявленные критерии более подробно. Задача поиска оптимальной иерархии  $H_{opt}$  на некотором множестве иерархий  $\Omega(H_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$  при условии, что в качестве критерия оптимальности рассматриваются затраты на содержание иерархии  $C \in [0; \infty]$ , представляется в общем виде:

$$H_{opt} \in \text{Arg min } C(H), H \in \Omega(N). \quad (1)$$

Из (1) очевидно, что даже в самых простых случаях поиск  $H_{opt}$  на множестве возможных иерархий с помощью широко известного метода перебора всех вариантов требует больших вычислительных затрат. Вместе с тем анализ современных результатов исследований [1; 3] показывает, что на множестве допустимых иерархий  $\Omega(H_N)$  существует оптимальная иерархия  $H_{opt}$  (в смысле критерия затрат на ее содержание), обладающая следующими свойствами:

1. Отсутствие дублирования, при котором два менеджера  $m_1$  и  $m_2$  управляют одной и той же группой исполнителей  $V_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ :

$$\left\{ \left( v_1^{(1)}, v_2^{(1)}, \dots, v_n^{(1)} \right) \in m_1 \right\} \cap \left\{ \left( v_1^{(2)}, v_2^{(2)}, \dots, v_n^{(2)} \right) \in m_2 \right\} = \emptyset; \quad (2)$$

2. Если менеджер  $m_1$  непосредственно подчиняется менеджеру  $m_2$  ( $m_1 \in m_2$ ), тогда последний не управляет подчиненными  $m_1$ .

$$\left( v_1^{(1)}, v_2^{(1)}, \dots, v_n^{(1)} \right) \notin m_2; \quad (3)$$

3. Наличие только одного менеджера (топ-менеджера)  $m_0$ , который не имеет начальников, и только ему подчинены все остальные менеджеры и исполнители организации:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left( v_1^{(1)}, v_2^{(1)}, \dots, v_n^{(1)} \right) \in m_1, \\ \left( v_1^{(2)}, v_2^{(2)}, \dots, v_n^{(2)} \right) \in m_2, \\ \dots \left( v_1^{(k)}, v_2^{(k)}, \dots, v_n^{(k)} \right) \in m_k \end{array} \right\} \in m_{02}. \quad (4)$$

4. Норма управляемости  $r$  (количество подчиненных у менеджера) в рамках одной

организации постоянна ( $r = \text{const}$ ), т. е. каждый ее менеджер имеет примерно одинаковое количество подчиненных:

$$(r_{m_1} \approx r_{m_2} \approx \dots \approx r_{m_k}); \quad (5)$$

5. Наличие однородности в организационной иерархии, когда топ-менеджер ( $m_0$ ) делит группу исполнителей между менеджерами на примерно равные части или пропорции:

$$\left\{ \left( v_1^{(1)}, v_2^{(1)}, \dots, v_n^{(1)} \right) \in m_1 \right\} \approx \left\{ \left( v_1^{(2)}, v_2^{(2)}, \dots, v_l^{(2)} \right) \in m_2 \right\} \approx \dots \approx \left\{ \left( v_1^{(k)}, v_2^{(k)}, \dots, v_d^{(k)} \right) \in m_k \right\} \quad (6)$$

6. Количество менеджеров в оптимальной иерархии с нормой управляемости  $r$  на множестве из  $n$  исполнителей равно:

$$M = (n-1)/(r-1). \quad (7)$$

Приведенные свойства позволяют анализировать организационные иерархические структуры на оптимальность по критерию затрат на их содержание.

Теперь рассмотрим группы показателей топологических свойств линейно-функциональных структур, определяющих их оптимальность по критерию качества:

- управляемость организационной структуры может быть оценена двумя показателями – информационной нагрузкой элементов структуры и 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  $\text{deg } V_i$ . Минимальная степень вершин графа  $G$  обозначается через  $\min \text{deg } G$  и определяется выражением:

$$\min \text{deg } G = \min \{ \text{deg } V_1, \text{deg } V_2, \dots, \text{deg } V_n \}.$$

Максимальная степень вершин  $G$  обозначается  $\max \text{deg } G$  и записывается выражением:

$$\max \text{deg } G = \max \{ \text{deg } V_1, \text{deg } V_2, \dots, \text{deg } V_n \}.$$

В случае, когда  $\min \text{deg } G = \max \text{deg } G$ , 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  $\lambda = \lambda_{V_1} = \frac{\deg V_1}{7}$ , а величина неравномерности (неоднородности) нагрузки характеризуется следующим выражением

$$\lambda = \frac{\max \deg G}{\min \deg G}.$$

**Компактность ОС.** Диаметр графа  $D(G)$  определяется длиной длиннейшей геодезической цепи, которая в свою очередь определяет длину кратчайшей цепи между произвольными вершинами  $d(V_i, V_j)$ , т.е.

$$D(G) = \max \min \{d(V_i, V_j)\}, (V_i, V_j) \in V, V \subset G.$$

Радиус графа  $R(G)$  характеризует наименьшее из максимальных значений расстояний от некоторой фиксированной вершины  $V_0$  до всех остальных вершин, т.е.

$$R(G) = \min \max \{d_1(V_0, V_1), d_2(V_0, V_1), \dots, d_m(V_0, V_{n1})\}.$$

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 называется сбалансированным (или симметричным), если высота узлов левого и правого поддерева 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  $G$  называется числом внутренней устойчивости и обозначается через  $\alpha_0(G)$ :

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

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  $S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$  называется числом внешней устойчивости  $\beta_0(G)$  или числом доминирования.

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

Приведем пример использования рассмотренных критериев для анализа организационной структуры одного из судостроительных заводов, представленной на рис.1. Граф такой структуры представляет собой пятиуровневую ( $k=5$ ) иерархию, состоящую из  $n = 65$  вершин и  $m=64$  ребер (рис. 2).

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

$$\begin{aligned} \deg\{a_0\} &= 8; \deg\{a_1\} = 1; \deg\{a_2\} = 6; \\ \deg\{a_3\} &= 12; \deg\{a_4\} = 4; \deg\{a_5\} = 5; \\ \deg\{a_6\} &= 14; \deg\{a_7\} = 1; \deg\{a_8\} = 1; \\ \lambda_{a_0} &= 1,14; \lambda_{a_3} = 1,71; \lambda_{a_6} = 2. \end{aligned}$$

Таким образом, генеральный директор имеет информационную перегрузку в 14%, его заместитель по производству — 71%, а заместитель по безопасности и персоналу — 100%.

$$\text{Отсюда } \max \deg\{G\} = \deg\{a_6\} = 14;$$

$$\min \deg\{G\} = 1; \lambda = 14/1 = 14.$$

Для приведения графа к однородному виду следует более равномерно распределить информационную нагрузку между руководителями.

Проведем анализ организационной структуры с использованием критериев компактности.

Для рассматриваемого графа диаметр  $D(G) = 7$  и определяется цепью

$$d_1 \rightarrow c_2 \rightarrow b_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_0 \rightarrow a_6 \rightarrow b_{34} \rightarrow c_{15}$$

Радиус графа  $R(G)$  характеризует наименьшее из максимальных значений расстояний для фиксирования вершин  $a_0$  до всех вершин графа. Радиус  $R(G) = 4$  и определяется цепью  $a_0 \rightarrow a_2 \rightarrow b_1 \rightarrow c_2 \rightarrow d_1$ . Компактность ОС будет тем оптимальней, 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 не в полной степени отвечает удовлетворительной компактности существующей организационной структуры.

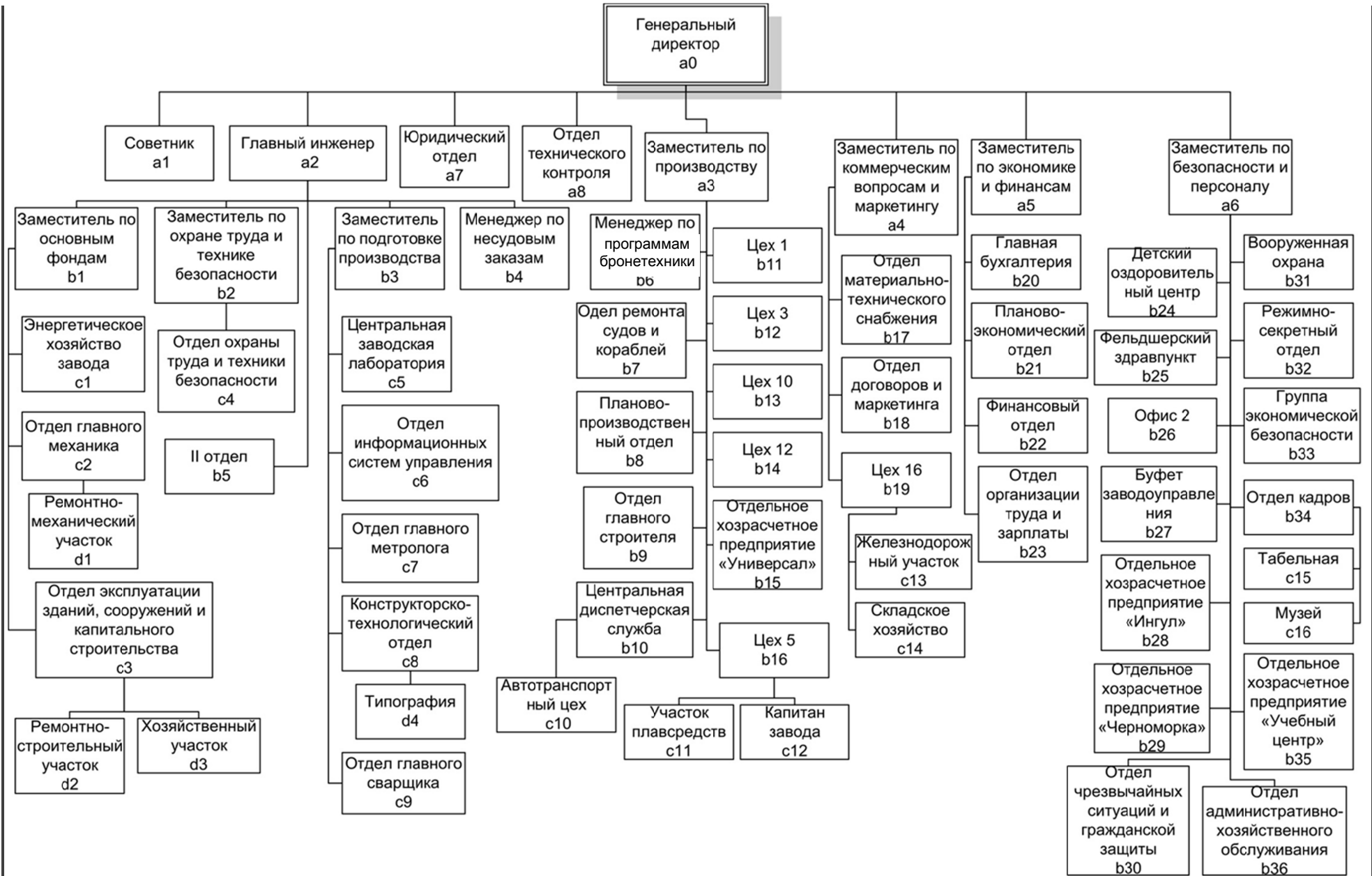


Рисунок 1 – Пример организационной структуры судостроительного завода

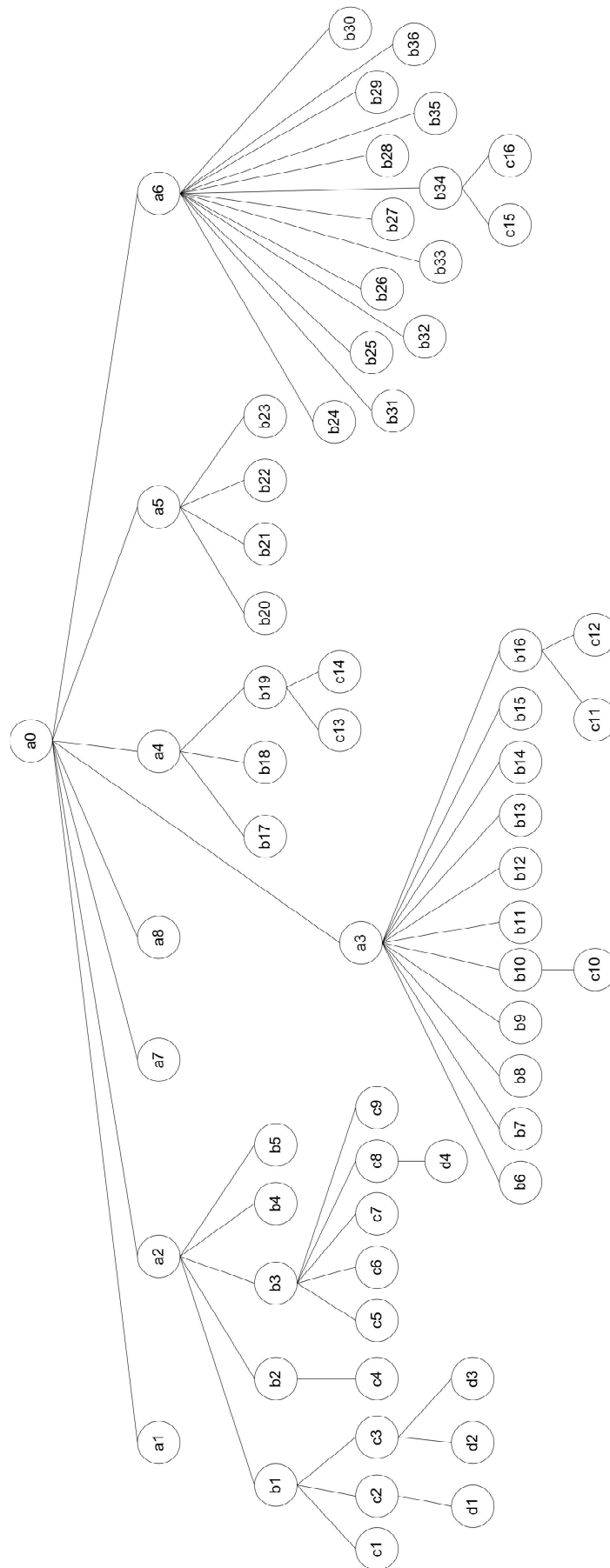


Рисунок 2 – Граф-дерево организационной структуры судостроительного завода

Для анализа устойчивости структуры подсчитаем числа внутренней и внешней устойчивости графа  $(\alpha_0(G), \beta_0(G))$ .

Наибольшим независимым множеством вершин в рассматриваемом графе является следующее —  $\{a_1, a_7, a_8, b_4...b_9, b_{11}...b_{15}, b_{17}, b_{18}, b_{20}...b_{33}, b_{35}, b_{36}, c_1, c_4...c_7, c_9...c_{16}, d_1...d_4\}$ . В соответствии с этим  $\alpha_0(G) = 49$ , что в процентном отношении составляет 75,4% от общего числа вершин. Это можно трактовать как то, что организационная структура обладает достаточно высокой степенью независимости.

Наименьшим внешне устойчивым множеством вершин графа является  $\{a_0, a_2...a_6, b_1, b_2, b_3, b_{10}, b_{16}, b_{19}, b_{34}, c_2, c_3, c_8\}$ . Соответственно  $\beta_0(G) = 16$ , что составляет 24,6% от общего числа вершин ОС. Данный показатель характеризует достаточно большое число ключевых лиц, принимающих решения в рассматриваемой ОС.

Проведем анализ организационной структуры завода с точки зрения оптимальности по затратам на ее содержание:

1. В данной структуре отсутствует дублирование, при котором два менеджера управляют одной и той же группой исполнителей;

2. Если один менеджер непосредственно подчиняется второму менеджеру, тогда последний не управляет подчиненными первого;

3. В данной структуре есть только один менеджер  $a_0$ , который не имеет начальников и которому подчинены все остальные менеджеры и

исполнители организации;

4. Норма управляемости  $r$  не является постоянной:  $0 \leq r_{mi} \leq 13$ ;

5. Организационная иерархия не является симметричной:

$\{\emptyset\} \in a_1; \{b_1...b_5\} \in a_2; \{b_6...b_{16}\} \in a_3;$   
 $\{b_{17}...b_{19}\} \in a_4; \{b_{20}...b_{23}\} \in a_5; \{b_{24}...b_{36}\} \in a_6; \{\emptyset\} \in a_7; \{\emptyset\} \in a_8;$

6. Количество менеджеров в оптимальной иерархии с нормой управляемости  $r = 7$  на множестве из  $n = 65$  исполнителей равно  $q = (n - 1) / (r - 1) = 64 / 6 \approx 11$ , а в данной структуре 16 менеджеров.

Таким образом, данная организационная структура является не вполне оптимальной, что может служить основанием для ее перестройки.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Рассмотренная методика анализа организационных структур позволяет сформировать множество допустимых по оптимальности иерархий. Это связано с тем, что получаемые локальные оценки по целому ряду частных критериев, характеризуют разные аспекты исследуемых структур. Поэтому перспектива дальнейших исследований, по мнению авторов, видится в разработке модели, позволяющей получать обобщенную оценку иерархий по всем рассмотренным критериям.

### Список 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. Посаишков // Вестник Самарского госуд. техн. ун-та. Серия «Технич. науки», 2013. — №3(39). — С. 32-42.
6. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами [Текст]. — М.: Физматлит, 2007. — 523 с.
7. Новиков Д.А. Дискретная математика для программистов [Текст]. — СПб.: Питер, 2002. — 304 с.

Статья поступила в редакцию 20.03.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.К. Чернов, заведующий кафедрой управления проектами Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев.

**Коваленко Ігор Іванович**

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем, *ORCID: 0000-0003-2655-6667*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв*

**Пугаченко Катерина Сергіївна**

Аспірант кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем, *ORCID: 0000-0003-0310-5724*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв*

**Чернова Любава Сергіївна**

Аспірант кафедри управління проектами, *ORCID: 0000-0001-7846-9034*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв*

**Антіпова Катерина Олександрівна**

Магістр кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв*

**СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СТРУКТУР УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ**

*Анотація.* З метою отримання оцінки функціонального стану складних лінійно-функціональних організаційних структур управління сучасними великими регіональними підприємствами використовується системний підхід, який дозволяє враховувати багато факторів і критеріїв: економічні, технологічні, фінансові нормативно-правові та ін. Запропоновано методіку аналізу лінійно-функціональних організаційних структур підприємств на основі критеріїв за витратами на утримання і якості таких структур. Наведено властивості оптимальних ієрархій, що дозволяють аналізувати ієрархічні організаційні структури на оптимальність за критерієм витрат на їх утримання. Розглянуто групи показників топологічних властивостей лінійно-функціональних структур, що визначають їх оптимальність за критерієм якості. Наведено тлумачення перелічених властивостей з позиції теорії графів. Розглянуто приклад використання зазначених критеріїв для аналізу організаційної структури одного з суднобудівних заводів. Розглянута методика аналізу організаційних структур дозволяє сформулювати множину допустимих за оптимальності ієрархій.

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

**Kovalenko Igor Ivanovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of software for automation systems, *ORCID:0000-0003-2655-6667*

*National University of Shipbuilding, Nikolaev*

**Pugachenko Ekaterina Sergeevna**

Graduate, Department of software for automation system, *ORCID: 0000-0003-0310-5724*

*National University of Shipbuilding, Nikolaev*

**Chernova Lyubava Sergeevna**

Graduate, Department of Project Management, *ORCID:0000-0001-7846-9034*

*National University of Shipbuilding, Nikolaev*

**Antipova Ekaterina Aleksandrovna**

Master, Department of software for automation systems

*National University of Shipbuilding, Nikolaev*

**SYSTEM ANALYSIS OF ENTERPRISE MANAGEMENT COMPLICATED ORGANIZATIONAL STRUCTURE**

*Abstract.* For the purpose of obtaining an estimation of a functional condition of complex linear functional organizational structures of management of a modern major regional business uses a systematic approach. This approach allows us to consider many factors and criteria: economic, technological, financial, regulatory, legal and other. Methods of analysis of linear-functional organizational structures of enterprises on the basis of the criteria on the costs and quality of such structures is proposed. Properties of optimal hierarchies, allowing to analyze the organizational hierarchical structure on the optimality criterion of the cost of maintaining them are considered. The groups of indicators topological properties of linear-functional structures that define their optimality criterion are considered. The interpretation of the listed properties from the perspective of graph theory is given. An example of the use of these criteria to analyze the organizational structure of one of the shipyards is considered. The proposed method of analysis of organizational structures allows to define a set of admissible on the optimality of hierarchies.

*Keywords:* linear-functional organizational structure; the optimality of the hierarchy; topological properties; graph theory

**References**

1. Burkov, V. N., Korgin, N. A. & Novikov, D. A. (2009). *Introduction to organizational systems management*. Moscow, Russia : LIBROKOM.
2. Voronin, A.M. & Mishin, S.P. (2003). *Optimal hierarchical structure*. Moscow, Russia: IPU RAN.
3. Gubko, M. V. (2006). *Mathematical optimization model of hierarchical structures*. Moscow, Russia: LENAND.
4. Diligenskiy, N.V. (2012). *System analysis and perfectoning of organizational structures of activity management of generated company* / N.V. Diligenskiy, A.G. Salov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 14, 1445-1450.
5. Diligenskiy, N.V. (2013). "System method of perfectoning of organizational structure of gas-routing organization/ N.V. Diligenskiy, V.I. Nemchenko, M.V. Posashkov // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya "Tekhnicheskie nauki"*, 3(39), 32-42.
6. Novikov, D.A. (2007). *Management theory of organizational systems*. Moscow, Russia: Fizmatlit.
7. Novikov, D.A. (2002). *Discrete mathematics for programmers*. Sankt-Peterburg, Russia: Piter.

**Ссылка на публикацию**

- APA Kovalenko, I. I., Pugachenko, E. S., Chernova, L. S., & Antipova, E. A. (2015). *System analysis of enterprise management complicated organizational structure*. *Management of Development of Complex Systems*, 22 (1), 61-68.
- ГОСТ Коваленко И. И. Системный анализ сложных организационных структур управления предприятиями [Текст] / И. И. Коваленко, Е. С. Пугаченко, Л. С. Чернова, Е. А. Антипова // *Управление развитием сложных систем*. – 2015. – №22 (1). – С. 61-68.