

Коваленко И. И.,
д-р техн. наук, профессор, Национальный университет
кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина
Пугаченко Е. С.,
Национальный университет
кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина
Антипова Е. А.,
Национальный университет
кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ЛИНЕЙНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР НАУКОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Большинство моделей дискретной оптимизации сводятся к поиску оптимальных иерархий. Критерием оптимальности чаще всего выступают затраты на содержание системы управления. Анализ топологических свойств графа организационной структуры дает возможность сделать вывод о том, как следует перестроить организационную структуру, чтобы она стала более оптимальной с точки зрения затрат на ее содержание. Нерационально выбранная организационная структура предприятия может содержать организационные риски. Следствием таких рисков могут быть ошибки менеджмента предприятия, проблемы с внутренним контролем выполнения работ, низкое качество сбора и обмена информацией и т. п. Поэтому в современных динамических условиях организационные структуры нуждаются в постоянном контроле их состояния, создании математических моделей, которые дадут возможность выполнять анализ и оптимизацию таких структур. Описанная технология может применяться для комплексного анализа крупных наукоемких предприятий, таких как морские порты, судостроительные, машиноремонтные заводы и т. п.

Ключевые слова: *линейно-функциональные организационные структуры; критерии эффективности; критерии качества; информационные связи; теория графодинамических систем.*

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 публикаций и последних достижений. Монографии [1; 2] посвящены оптимальным иерархическим структурам, где в роли критерия оптимизации

выступают затраты на содержание организационной структуры управления. В работах [3; 4] 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 посредством реализации информационной технологии.

Цель работы. Анализ и оптимизация существующей организационной структуры машиностроительного завода для повышения эффективности ее функционирования.

Изложение основного материала. Проведем комплексный анализ существующей организационной структуры наукоемкого предприятия на примере машиностроительного завода. Действующая структура управления представлена на рис. 1.

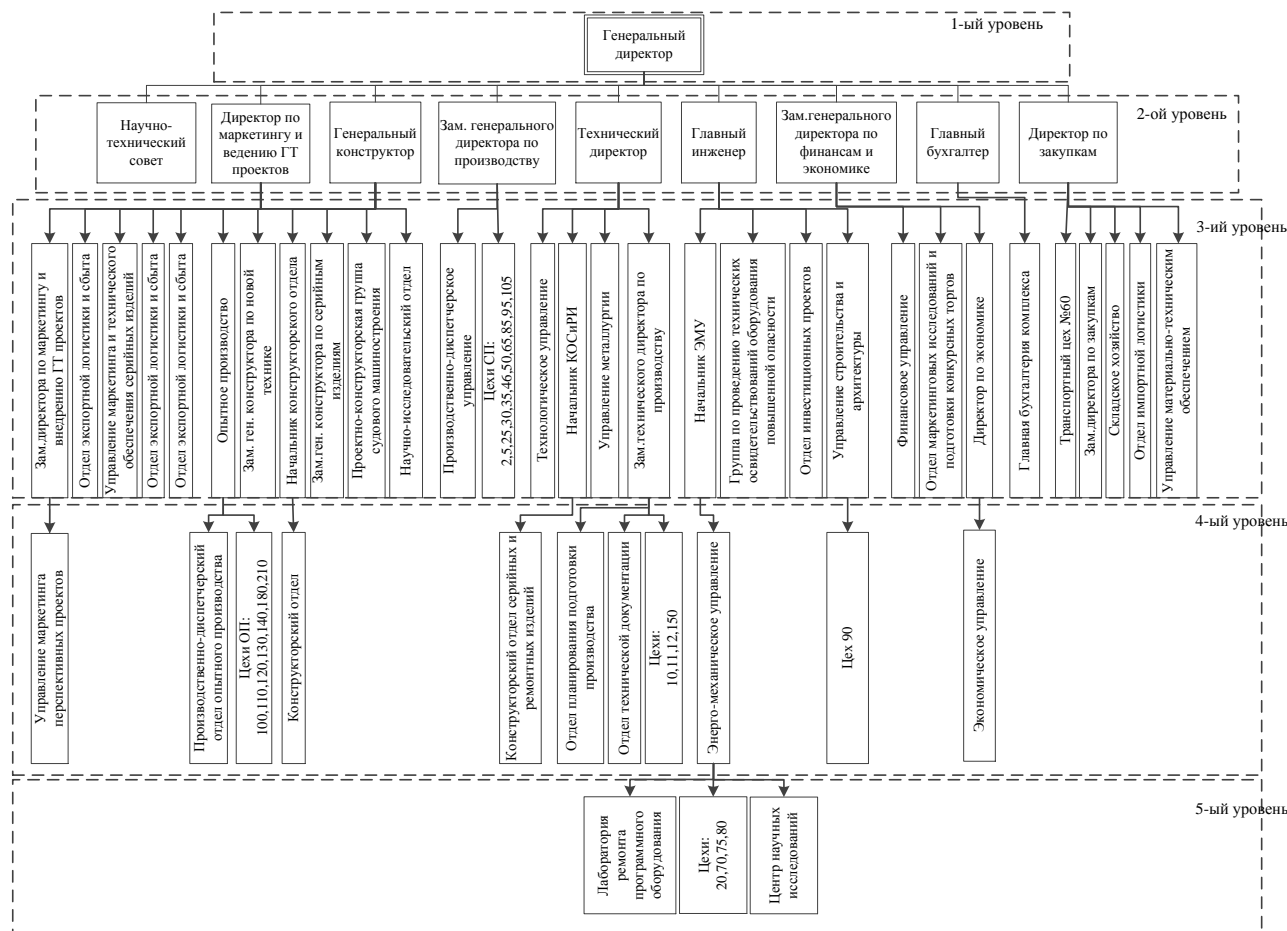


Рис. 1. Действующая структура управления

Анализ существующей организационной структуры показывает, что она является линейно-функциональной [1] с сочетанием директивного управления по вертикальным связям с руководством менеджерами высшего звена отдельными функциональными направлениями. В структуре каждого функционального направления, с одной стороны, просматривается строгая иерархичность, с другой стороны структуры существенно отличаются по числу входящих в них подразделений (отделов и управлений), что свидетельствует о резкой неравномерности распределения управленческой информационной нагрузки в действующей структуре предприятия.

Наибольшая информационная нагрузка у первого заместителя генерального директора по производству, у которого в непосредственном подчинении 12 руководителей различных подразделений. В то же время у других менеджеров высшего звена в оперативном управлении находится значительно меньшее число подразделений, например: главного бухгалтера – 1; заместителя по финансам и экономике – 3; техни-

ческого директора – 4; главного инженера – 4; директора по закупкам – 5; директора по маркетингу и ведению ГТ проектов – 5, генерального конструктора – 6. Напротив, научно-техническому совету не подчинено ни одно подразделение. Поэтому для обеспечения рационального равномерного распределения информационной нагрузки между руководителями функциональных направлений существующая организационная структура нуждается в реорганизации.

Для более полной оценки эффективности функционирования действующей организационной структуры управления предприятием используем теорию графов [2], теорию графодинамических систем (ТГС) [3], концепцию, предложенную в [4], развитую в работах [5; 6; 7] и позволяющую определять показатели качества структуры, а также выявлять направления ее совершенствования. Представим действующую организационную структуру предприятия в виде графа G_1 приведенного на рис. 2. Нумерация вершин выполнена в соответствии с «правильной нумерацией» ТГС [3].

$$G_1 = \{n_1^1, n_2^2, \dots, n_{10}^2, n_{11}^3, \dots, n_{50}^3, n_{51}^4, \dots, n_{70}^4, n_{71}^5, \dots, n_{76}^5\}$$

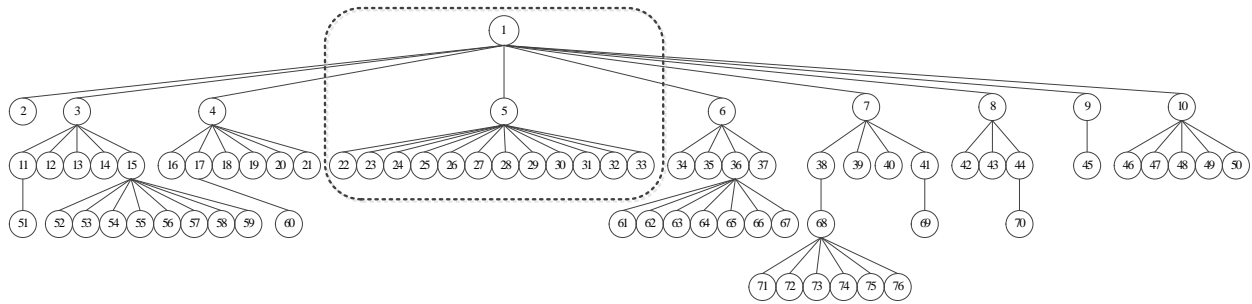


Рис. 2. Граф действующей структуры управления

Граф G_1 представляет собой пяти уровневую иерархическую структуру, состоящую из $n = 76$ элементов (вершин) и $N = 75$ ребер. Он является неоднородным, древесным, без циклов [6].

В соответствии с базовыми положениями теории графов для анализа графа G_1 выделим следующие группы критериев:

- сбалансированность структуры;
- целостность структуры;
- управляемость структуры;
- надежность структуры.

Наиболее эффективно функционирует сбалансированная организационная структура с равномерно распределенной информационной нагрузкой между всеми элементами структуры.

Выше был выполнен первый этап содержательного анализа сбалансированности. Проведем более полный анализ *сбалансированности* на основе построенного графа структуры G_1 . Сбалансированность будем оценивать тремя показателями – информационной нагрузкой на первого руководителя – генерального директора – наибольшей информационной нагрузкой элемента организационной структуры и степенью неравномерности информационной нагрузки у различных участников управленческой деятельности. Информационная нагрузка на высшем уровне иерархии – генерального директора – определяется степенью однородности $\deg\{n_1^1\}$ [6] вершины n_1^1 количеством ребер графа вершины n_1^1 – $\deg\{n_1^1\}=9$ – генеральный директор принимает и реализует управленческие решения по девяти каналам информационных связей с другими участниками организационной структуры. Рациональным количеством информационных связей на высших уровнях системы управления является семь [2]. В соответствии с этим системно обоснованной характеристикой числа управленческих связей, информационной нагрузки генерального директора, является относительная величина:

$$\lambda_0 = \lambda_{n_1^1} = \frac{\deg n_1^1}{7} \quad (2)$$

Для графа G_1 этот показатель равен 1,2857, т. е. генеральный директор имеет информационную перегрузку в 28,57 %. Максимальное количество управленческих связей – $\max \deg(G_1)$ имеется у заместителя генерального директора по производству – $\max \deg(G_1) = \deg\{n_5^2\} = 12$ с его информационной перегрузкой 71,43 %.

Минимальное количество информационных каналов $\min \deg G_1$ вершины n_9^2 , которая соответствует главному бухгалтеру – $\min \deg(G_1) = \deg\{n_9^2\} = 1$. В соответствии с этим степень неравномерности распределения информационной нагрузки, характеризуемая отношением максимальной и минимальной степеней однородности вершин графа G_1 равна 12:

$$\bar{\lambda} = \frac{\max \deg(G)}{\min \deg(G)} = \frac{12}{1} = 12.$$

Таким образом, оценки сбалансированности организационной структуры по двум показателям – максимальной информационной нагрузке и степени неравномерности информационной нагрузки – являются весьма неудовлетворительными, и третий показатель – информационная нагрузка пятого руководителя нуждается в улучшении.

Под целостностью будем понимать компактность архитектуры организационной структуры и также будем оценивать ее тремя частными критериями: диаметром графа $d(G_1)$, радиусом графа $r(G_1)$ и числом центров графа – m . Диаметр графа $d(G)$ характеризует наибольшую длину кратчайшей цепи, связывающей две вершины – максимальное расстояние между двумя его вершинами a и b :

$$d(G) = \max_{a,b \in V(G)} d(a,b), \quad (3)$$

где a и b произвольные вершины графа, $V(G)$ – множество всех вершин, $d(a, b)$ – расстояние между вершинами a и b . Он определяет максимальную длину маршрута, необходимого для передачи информации от наиболее удаленного подразделения в центр принятия управленческих решений и передачи принятого управленческого решения другому наиболее удаленному подразделению организации. Для структуры G_1 диаметр графа равен $d(G_1) = 7$

(цепь $n_{51}^4 \rightarrow n_{11}^3 \rightarrow n_2^2 \rightarrow n_7^1 \rightarrow n_7^2 \rightarrow n_{38}^3 \rightarrow n_{68}^4 \rightarrow n_{71}^5$).

Радиус графа $r(G)$ характеризует наименьшее из максимальных значений расстояний от фиксированной вершины a до всех вершин графа $V(G)$

$$r(G) = \min_{a \in V(G)} \max_{b \in V(G)} d(a,b). \quad (4)$$

Он определяет длину маршрута передачи информации от центра принятия решений. Для анализируемой структуры графа G_1 радиус равен $r(G) = 4$ (например, цепь для вершины n_1^1 – $n_1^1 \rightarrow n_7^2 \rightarrow n_{38}^3 \rightarrow n_{68}^4 \rightarrow n_{71}^5$). Центрами являются важнейшие вершины графа организационной структуры G_1 , где формируются основные управленческие решения. Центром графа явля-

ется вершина, для которой выполняется следующее условие:

$$m(G) = \max_{b \in V(G)} d(a, b) = \min_{a \in V(G)} \max_{b \in V(G)} d(a, b) \quad (5)$$

Центр графа (m) отвечает минимизации расстояния d(a, b) до самой удаленной вершины множества V(G). Эффективность архитектуры организационной структуры тем выше, чем меньше диаметр графа d(G) и разница между диаметром и радиусом r(G) графа, и чем больше число центров графа m. Для рассматриваемой организационной структуры величины d(G) и d(G) – r(G) достаточно велики, а m – мало (m = 1), что отвечает неудовлетворительному качеству существующей структуры.

Для анализа **управляемости структуры** применим следующие критерии – удельное число информационных каналов и количество замкнутых контуров управления. Удельное число информационных каналов – N/n, где N – число ребер и n – число вершин характеризует потенциал управления организационной структуры. Чем выше удельное число каналов управления, тем больше число управленческих связей, приходящихся на одного руководителя, и более эффективна система управления. Удельное число ин-

$$V(n_2^2, n_{12}^3 \dots n_{14}^3, n_{16}^3, n_{18}^3 \dots n_{35}^3, n_{37}^3, n_{39}^3, n_{40}^3, n_{42}^3, n_{43}^3, n_{45}^3 \dots n_{67}^4, n_{69}^4 \dots n_{70}^4, n_{71}^5 \dots n_{76}^5).$$

В соответствии с этим число внутренней устойчивости структуры $\alpha(G_1) = 59$, что составляет 77,63 % от общего количества структурных элементов, и организационная структура обладает достаточно высокой степенью независимости.

– Число внешней устойчивости (или число доминирования) $\beta(G)$ определяет количество вершин, входящих в наименьшее множество внешней устойчивости. Подмножество вершин графа V является внешне устойчивым, или доминирующим, если каждая вершина графа G смежна с некоторой вершиной из V, иначе говоря, каждая вершина графа находится на расстоянии не более 1 от доминирующего множества. Принадлежность к доминирующему множеству характеризует надежность обеспечения информацией всех участников управленческой деятельности,

формационных каналов для графа G₁ составил N/n = 75/76 = 0,9868 – это низкий показатель эффективности.

Устойчивость организационной структуры, характеризующая сохранение работоспособности системы управления при потере некоторого количества структурных элементов, будем оценивать следующими критериями:

– Число внутренней устойчивости (или число независимости) $\alpha(G)$ – характеризует количество вершин в наибольшем максимальном внутренне устойчивом множестве графа G₁. Множество внутренней устойчивости графа – это совокупность несмежных вершин, и оно определяет множество независимости участников управленческой деятельности. Чем больше число внутренней устойчивости α , тем больше степеней свободы имеет организационная структура, тем выше компетентность и профессионализм в выработке управленческих воздействий и меньше вероятность появления ошибок управления.

Наибольшим независимым множеством вершин в графе G₁ является:

которая тем выше, тем больше наименьшее доминирующее множество и, соответственно, число внешней устойчивости β . Анализ графа G₁ показал, что наименьшим внешне устойчивым множеством является множество:

$$V(n_1^1, n_3^2 \dots n_{10}^2, n_{11}^3, n_{15}^3, n_{17}^3, n_{36}^3, n_{38}^3, n_{41}^3, n_{44}^3, n_{68}^4).$$

Число внешней устойчивости структуры G₁ $\beta = 17$ – достаточно высокий показатель количества ключевых лиц, принимающих управленческие решения – 22% от общего числа структурных элементов.

Полученные значения частных критериев качества действующей организационной структуры наукоемкого машиностроительного предприятия приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии качества действующей организационной структуры

Группа критериев	Наименование критерия	Обозначение	Значение	Оптимизация
Сбалансированность	информационная нагрузка первого руководителя	$\lambda_0 = \lambda_{n_1} = \frac{\deg n_1^1}{7}$	1,2857	min
	максимальная информационная нагрузка	$\max \deg G_1$	12	min
	степень неравномерности информационной нагрузки	$\bar{\lambda}$	12	min
Целостность	число центров	m	1	max
	диаметр	d	7	min
	радиус	r	4	min
Управляемость	число каналов управления	N	75	max
	соотношение числа каналов управления и вершин	N/n	0,9868	max
Надежность	число внутренней устойчивости	α	59	max
	число внешней устойчивости	β	17	max

Проведем анализ действующей организационной структуры предприятия по критериям затрат на содержание структуры [8]:

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.

$$\{\emptyset\} \in n_2^2; \{n_{11}^3 \dots n_{15}^3\} \in n_3^2; \{n_{16}^3 \dots n_{21}^3\} \in n_4^2; \{n_{22}^3 \dots n_{33}^3\} \in n_5^2; \{n_{34}^3 \dots n_{37}^3\} \in n_6^2;$$

$$\{n_{38}^3 \dots n_{41}^3\} \in n_7^2; \{n_{42}^3 \dots n_{44}^3\} \in n_8^2; \{n_{45}^3\} \in n_9^2; \{n_{46}^3 \dots n_{50}^3\} \in n_{10}^2.$$

6. Количество менеджеров в оптимальной иерархии с нормой управляемости $r = 7$ на множестве из $n = 76$ исполнителей равно $M = (n - 1)/(r - 1) = 75/6 \approx 12$, а в данной структуре 18 менеджеров.

С целью уменьшения информационной нагрузки топ-менеджера и перераспределения нормы управляемости менеджеров второго уровня иерархии, прове-

$$\psi(n) = \begin{cases} (n) & \text{при тех } n, \text{ где } p(n) = 0; \\ 0 & \text{при тех } n, \text{ где } p(n) = -1, 0 \leq (n) \leq 1; \\ n - 1 & \text{при тех } n, \text{ где } p(n) = 1; \\ (n) + p(n) & \text{при тех } n, \text{ где } p(n) = -1, (n) > 1 \end{cases};$$

$\varphi(n)$ – функция подчинения исходного графа;

$p(n)$ – функция перестройки $p(n) \in \{-1; 0; +1\}$ [9].

В связи с тем, что превышения показателя нормы управляемости приходится на вершины n_1^1 , n_5^2 , то

$$p(n_8^2) = p(n_9^2) = p(n_{22}^3) = p(n_{24}^3) = p(n_{26}^3) = p(n_{28}^3) = p(n_{30}^3) = p(n_{32}^3) = 1;$$

$$p(n_2^2) \dots p(n_7^2) = 0; p(n_{10}^2) = 0; p(n_{11}^3) \dots p(n_{21}^3) = 0;$$

$$p(n_{23}^3) = p(n_{25}^3) = p(n_{27}^3) = p(n_{29}^3) = p(n_{31}^3) = p(n_{33}^3) = 0; p(n_{34}^3) \dots p(n_{76}^5) = 0$$

В результате преобразований получим граф-дерево G_2 , структура которого изображена на рис. 3.

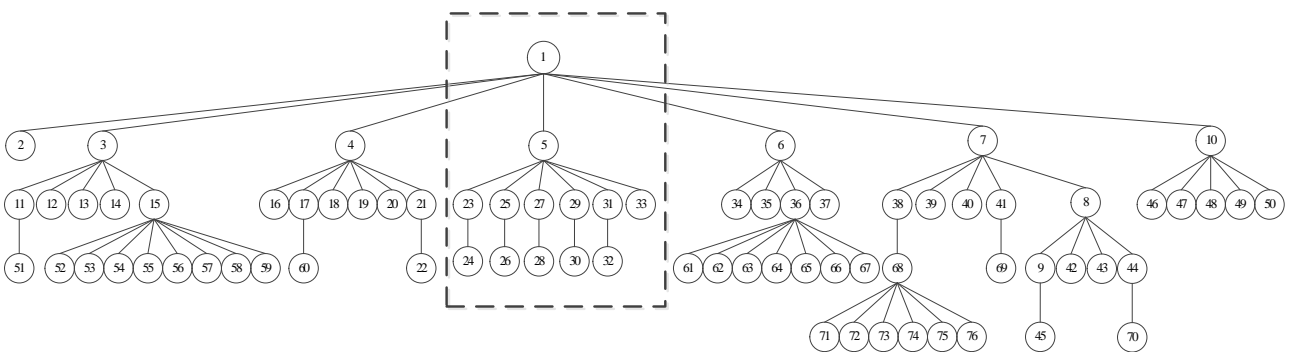


Рис. 3. Граф преобразованной структуры

Далее выполним анализ преобразованной структуры по критериям качества топологии. Результаты анализа отражены в таблице 2.

Таблица 2

Критерии качества преобразованной организационной структуры

Группа критериев	Наименование критерия	Обозначение	Значение	Оптимизация
Сбалансированность	информационная нагрузка первого руководителя	$\lambda_0 = \lambda_{n_1^1} = \frac{\text{deg } n_1^1}{7}$	1	min
	максимальная информационная нагрузка	$\max \text{deg } G_1$	7	min
	степень неравномерности информационной нагрузки	$\bar{\lambda}$	7	min

Целостность	число центров	m	1	max
	диаметр	d	7	min
	радиус	r	4	min
Управляемость	число каналов управления	N	75	max
	соотношение числа каналов управления и вершин	N/n	0,9868	max
Надежность	число внутренней устойчивости	α	53	max
	число внешней устойчивости	β	23	max

Проведем анализ преобразованной организационной структуры предприятия по критериям затрат на содержание структуры [8]:

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.

$$\{\emptyset\} \in n_2^2; \{n_{11}^3 \dots n_{15}^3\} \in n_3^2; \{n_{16}^3 \dots n_{21}^3\} \in n_4^2; \{n_{22}^3, n_{25}^3, n_{27}^3, n_{29}^3, n_{31}^3, n_{33}^3\} \in n_5^2;$$

$$\{n_{34}^3 \dots n_{37}^3\} \in n_6^2; \{n_{38}^3 \dots n_{41}^3, n_8^2\} \in n_7^2; \{n_{46}^3 \dots n_{50}^3\} \in n_{10}^2.$$

6. Количество менеджеров в оптимальной иерархии с нормой управляемости $r = 7$ на множестве из $n = 76$ исполнителей равно $M = (n - 1) / (r - 1) = 75 / 6 \approx 12$, а в данной структуре 23 менеджера.

Выводы. Выполненный анализ показал, что преобразованная структура машиностроительного предприятия является допустимой по оптимальности согласно критериям качества топологии и критериям затрат на содержание. Допустимость по оптимальности подразумевает выполнение всех или большей

3. В данной структуре есть только один менеджер n_1^1 , который не имеет начальников и которому подчинены все остальные менеджеры и исполнители организации;

4. Норма управляемости r не является постоянной: $0 \leq r \leq 7$.

5. Организационная иерархия не является симметричной:

части условий (критериев) оптимальности. Для данного примера, оптимальность ОС выполняется по критериям сбалансированности, надежности, а также по первым пяти критериям затрат на содержание. При этом следует отметить, что выполненное графодинамическое имитационное моделирование ОС позволило получить преобразованную структуру со сниженными показателями нормы управляемости и информационной нагрузки вершин n_1^1, n_5^2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Мескон М. Х. Основы менеджмента [Текст] / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури ; Пер. с англ. – М. : Дело, 1992. – 493 с.
2. Харари Ф. Теория графов [Текст] / Ф. Харари. – М. : Мир, 1973. – 301 с.
3. Айзерман М. А. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (основы графодинамики) I [Текст] / М. А. Айзерман, Л. А. Гусев, С. В. Петров, И. М. Смирнова // Автоматика и телемеханика. – 1977. – №7. – С. 135–151.
4. Дилигенский Н. В. Структурный синтез локально оптимальных организационных систем управления с обратными связями [Текст] // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды VIII межд. конф. – Самара : СамНЦ РАН, 2006. – С. 57–65.
5. Дилигенский Н. В. Многокритериальная оценка сравнительной эффективности организационных систем управления [Текст] / Н. В. Дилигенский, М. В. Цапенко // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды VIII межд. конф. – Самара : СамНЦ РАН, 2006. – С. 66–72.
6. Дилигенский Н. В. Комплексная оценка эффективности организационной структуры газораспределительной организации [Текст] / Н. В. Дилигенский, В. И. Немченко, М. В. Посашков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 14, № 4(5), 2012. – С. 1445–1450.
7. Коваленко И. И. Графодинамическое имитационное моделирование организационных иерархий с использованием критериев их оптимальности [Текст] / И. И. Коваленко, С. Б. Приходько, А. В. Швед, Е. С. Пугаченко // Проблемы информационных технологий. – 2013. – № 2(014). – С. 40–44.
8. Коваленко И. И. Исследование графодинамической операции перестройки в проектах оптимизации иерархических организационных структур: зб. наук. пр. НУК [Текст] / И. И. Коваленко, Е. С. Пугаченко. – 2014. – № 5. – С. 74–79.
9. Салов А. Г. Анализ эффективности функционирования структур управления энергетическими предприятиями [Текст] // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. «Технические науки». – Новочеркасск, 2008. № 1(143). – С. 32–37.

Коваленко І. І., Пугаченко К. С., Антіпова К. О.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна

Системний аналіз складних лінійно-функціональних організаційних структур наукомістких підприємств

Більшість моделей дискретної оптимізації зводяться до завдань пошуку оптимальних ієрархій. Критерієм оптимальності найчастіше виступають витрати на утримання системи управління. Аналіз топологічних

властивостей графу організаційної структури дає змогу зробити висновок, яких саме змін потребує організаційна структура, щоб стати якомога більшою оптимальною з точки зору витрат на її утримання. Нераціонально обрана організаційна структура підприємства може нести в собі так звані «організаційні ризики». Наслідками таких ризиків можуть бути помилки менеджменту підприємства, проблеми з внутрішнім контролем за виконанням робіт, низька якість збору та обміну інформацією тощо. Тому в сучасних динамічних умовах організаційні структури потребують постійного контролю за їхнім станом, створення математичних моделей, які дадуть змогу виконувати аналіз та оптимізацію таких структур. Описана в цій роботі технологія може застосовуватися для комплексного аналізу великих наукомістких підприємств, таких як морські порти, суднобудівні та машиноремонтні заводи тощо.

Ключові слова: лінійно-функціональні організаційні структури; критерії ефективності; критерії якості; інформаційні зв'язки; теорія графодинамічних систем.

Kovalenko I. I., Pugachenko K. S., Antipova K. A.,

The Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

System analysis of complex linear-functional organizational structures of high technology enterprises

Most models of discrete optimization come down to finding the optimum hierarchies. The optimality criteria usually are the costs of maintaining control system. An analysis of the topological properties of the organizational structure's graph makes it possible to decide how to rebuild the organizational structure, in order to make it more optimal due to the cost of its maintenance. The irrationally chosen enterprise's organizational structure may include organizational risks. The consequences of these risks are the errors of enterprise management, problems with internal work control, the poor quality of gathering and exchange of information, etc. Therefore, in the dynamic modern conditions organizational structures are in need of constant monitoring of their condition and of creating mathematical models to perform the analysis and optimization of structures. In order to increase the efficiency of a machine-building plant functioning the current organizational structure of the plant was analyzed in this paper. The type of organizational structure was defined and groups of criteria characterizing its balance, integrity, manageability and reliability were formed. The graph theory and the theory of graph dynamical systems were used to get the numerical values of criteria. The graph dynamical operation of local reassignment was used to optimize the structure. The described technology can be used for a comprehensive analysis of the major high-tech enterprises, such as sea ports, shipyards, machine factories, etc.

Key words: linear-functional organizational structures; effectiveness criteria; quality criteria; models of information flows; informational communication; graph dynamical system theory.

© Коваленко І. І., Пугаченко Е. С.,
Антипова Е. А., 2015

Дата надходження статті до редколегії 08.11.2015