

С. А. ОГРЫЗКОВ
**Применение структурного анализа для
выбора варианта построения
интегрированной системы управления**

Владимирский
государственный
университет,
г. Владимир

Интегрированная система управления (ИСУ, в оригинале – Integrated Management System, IMS) представляет собой совокупность системы менеджмента качества (СМК), системы экологического менеджмента (СЭМ) и системы менеджмента в области профессиональной безопасности и охраны труда (СОТ), которая рассматривается как единое целое в рамках организационной структуры предприятия [1].

Концепция ИСУ не исключает интеграции с другими системами управления и стандартами на них, однако в рамках настоящей статьи будет рассматриваться интеграция только этих трёх основных систем: СМК (ISO 9000), СЭМ (ISO 14000) и СОТ (OHSAS 18000).

Все упомянутые стандарты систем управления (особенно ISO 9001:2000) изначально основываются на так называемом *процессном подходе*. Руководящий документ Госстандарта РФ Р50.1.028-2001 для реализации процессного подхода рекомендует использовать методологию функционального моделирования *IDEF0*, однако при этом могут быть использованы и другие методологии моделирования, рассматривающие бизнес-процессы предприятия в комплексе, например, DFD. В настоящей статье в качестве примера будет использоваться именно IDEF0.

Модель ИСУ сама по себе является интегрированной моделью, изначально состоящей из трёх отдельных моделей: СМК, СЭМ и СОТ. Существуют три способа разработки интегрированной модели [2]: 1) объединение отдельных моделей в виде абстрактной макромоделли, которая декомпозируется на эти модели, 2) объединение моделей в обобщённую модель, содержащую элементы каждой и 3) выбор лучшей модели среди всех и адаптация под неё остальных. Выбор лучшей модели и адаптация под неё остальных – задача сама по себе нетривиальная, поэтому имеет смысл рассмотреть её отдельно.

Анализ и сравнение IDEF0-моделей удобно выполнять с использованием теории множеств и ориентированных графов (орграфов) – IDEF0-диаграммы даже чисто визуально похожи на орграфы – с учётом следующей особенности: IDEF0-модели по природе своей являются иерархическими (содержат несколько уровней абстракции, на каждом из которых – своя декомпозиция функций системы), поэтому соответствующие множества и орграфы можно определить только для объединения диаграмм на одном уровне.

В целях упрощения в качестве примеров для сравнения будут рассмотрены две возможные декомпозиции ИСУ первого уровня [1], на основе ГОСТ Р ИСО 9001 (российский аналог ISO 9001) и ГОСТ Р ИСО 14001-98 (российский аналог ISO 14001).

IDEF0-декомпозиция ИСУ на основе ГОСТ Р ИСО 9001-2001 представлена в [1]. Соответствующий орграф, разработанный без учёта весов дуг, представлен на рис.

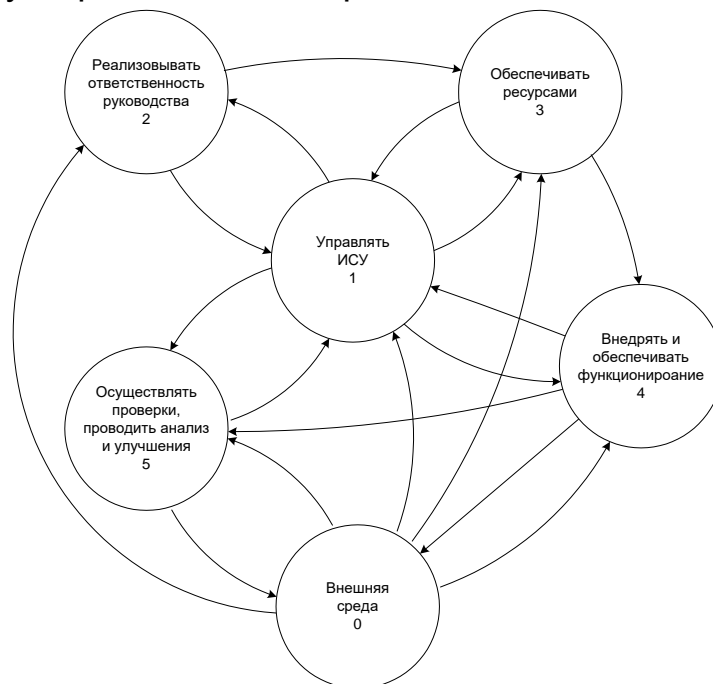


Рис. 1. Орграф IDEF0-декомпозиции ИСУ на основе ИСО 9001

IDEF0-декомпозиция ИСУ на основе ГОСТ Р ИСО 14001-98 также представлена в [1]. Орграф без учёта весов дуг, соответствующий такой декомпозиции, представлен на рис. 2.

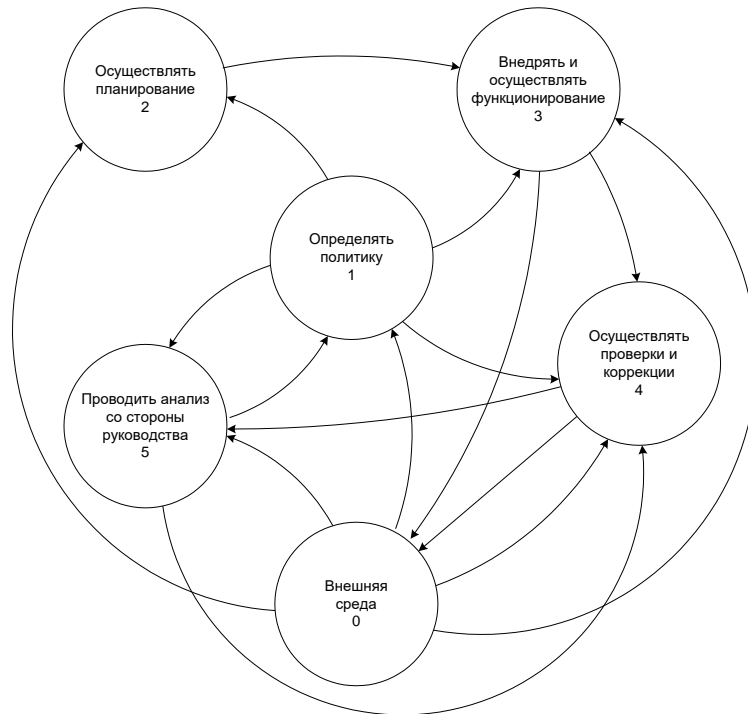


Рис. 2. Орграф IDEF0-декомпозиции ИСУ на основе ИСО 14001

Для структурного описания систем класса ИСУ рекомендуется применять следующие четыре множества [3]:

$$S = \{\Sigma, V, \sigma, K\} \quad (1)$$

где S – это система (ИСУ), $\Sigma = \{\Sigma_i\}$ – множество состава и свойств элементов (внутри каждого элемента описание структуры не проникает), $V = \{V_i\}$ – множество назначений и характера связей, σ – множество устойчивости структуры, K – множество построений структуры.

Для количественной оценки *структурной компактности* вводится параметр, отражающий близость элементов между собой. Близость двух элементов, i и j между собой будет определяться через минимальную длину пути для орграфа d_{ij} . Тогда величина

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (i \neq j) \quad (2)$$

отражает общую *структурную близость* элементов между собой в системе. В частности, для рис. 1 и 2 получается:

$$Q_1 = 43; \quad Q_2 = 48 \quad (3)$$

Для количественной оценки *структурной компактности* очень часто используют относительный показатель

$$Q_{i\delta i} = \frac{Q}{Q_{\min}} - 1 \quad (4)$$

где $Q_{\min} = n \cdot (n - 1)$ – минимальное значение компактности для структуры системы типа «полный граф» (для рис. 1 и 2 $Q_{\min} = 6 \cdot (6 - 1) = 30$). Значения структурной компактности будут:

$$Q_{omn1} \approx 0,43; \quad Q_{omn2} \approx 0,60 \quad (5)$$

Таким образом, модель ИСУ, построенная на основе стандарта ISO 9001, является более компактной, чем модель, построенная на основе ISO 14001 ($Q_{i\delta i 1} < Q_{i\delta i 2}$), что для систем класса ИСУ означает, прежде всего, возможность более эффективного использования той же оргструктуры для несения ответственности за функционирования отдельных подсистем управления, а также более короткие (а, следовательно, и более быстрые) пути прохождения информации через все функциональные блоки, увязанные в единый процесс.

Структурную компактность можно охарактеризовать и другой характеристикой – *диаметром структуры*:

$$d = \max_{ij} d_{ij}, \quad (6)$$

который для рис. 1 и 2 одинакова и составляет:

$$d = 3 \quad (7)$$

Количественная характеристика непрерывности связей в их множестве называется *связностью структуры*. Наиболее полно связность элементов ориентированного графа определяется матрицей связности (достижимости) $C = \|c_{ij}\|$.

Матрицы связности для рис. 1 и 2 одинаковы и являются инверсией единичной матрицы, то есть оба оргграфа являются *сильно связанными* (для любых двух различных вершин существует соединяющий их путь). Это говорит о том, что в обоих вариантах модели ИСУ (на основе ISO 9001 и ISO 14001) нет ни обрывов в структуре, ни висящие вершин (с входами без выходов или наоборот), ни каких-либо других признаков несвязности, что также является выполнением ограничений нотации IDEF0 (обязательное наличие входов и выходов у каждого блока) и реализуемого ею процессного подхода (сквозная обработка информации, материалов и энергии с обратной связью).

Структурный параметр, отражающий превышение общего числа связей над минимально необходимым, называют *структурной избыточностью*:

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1, \quad (8)$$

где a_{ij} – элементы матриц смежности. Для рис. 1 и 2 мы имеем:

$$R_1 = 0,8; \quad R_2 = 0,5 \quad (9)$$

Это означает, что модель ИСУ, построенная на основе стандарта ISO 9001, является более избыточной, чем модель, построенная на основе ISO 14001 ($R_1 > R_2$), что является свойством большей компактности (5) и одновременно признаком большей надёжности.

Для более полного анализа структурной надёжности моделей ИСУ целесообразно в дополнение к значению структурной избыточности R определить значение такого параметра, который учитывает *неравномерность распределение связей*.

Равномерное распределение связей в структуре орграфа, имеющего m дуг и n вершин, характеризуется *средней степенью вершины*:

$$\bar{\rho} = \frac{2m}{n} \quad (10)$$

Введя понятие отклонения $\rho_i - \bar{\rho}$, где ρ_i – действительная степень i -той вершины заданного графа, можно определить квадратическое отклонение заданного распределения степеней вершин от равномерного:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2 = \sum_{i=1}^n \rho_i^2 - 4 \frac{m^2}{n} \quad (11)$$

Для рис. 1 и 2 мы имеем следующие значения:

$$\varepsilon_1^2 = 16; \quad \varepsilon_2^2 \approx 9,33 \quad (12)$$

Для идеальной структуры графа $\varepsilon^2 = \varepsilon = 0$, в нашем же случае (12) мы можем сделать вывод о том, что оба графа обладают неравномерным распределением связей, причём неравномерность для графа, изображённого на рис. 1, оказывается несколько выше ($\varepsilon_1^2 = 16 \Rightarrow \varepsilon_1 = 4 < 3,06 = \varepsilon_2$).

Говоря о множестве устойчивости структуры σ , следует отметить, что в обоих случаях (рис. 1 и 2) структуры являются детерминированными (а не вероятностными).

В множестве построения K различают несвязную структуру, последовательную, кольцевую, радиальную, древовидную структуру и полный граф. В обоих случаях структуры являются смешанными и представляют собой комбинации кольцевой и радиальной структур в стремлении к структуре полного графа, в контексте теории СМК известному как «звезда качества».

Для количественной оценки степени централизации в структуре используется понятие *индекса центральности*:

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)}, \quad (13)$$

где z_{\max} – максимальное значение величины z_i :

$$z_i = \frac{Q}{2} \left(\sum_{j=1}^n d_{ij} \right)^{-1}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad i \neq j \quad (14)$$

Для рис. 1 и 2 получается следующее:

$$\delta_1 \approx 0,76; \quad \delta_2 \approx 0,94 \quad (15)$$

Для структур систем, имеющих максимальную степень централизации, $\delta=1$; для структур с равномерным распределением связей $\delta=0$. В нашем же случае (15) можно сделать вывод о том, что обеим структурам свойственна достаточно высокая степень централизации (это определяется стандартами ISO 9001 и ISO 14001 через ответственность руководства и, в частности, выделение специального представителя руководства), однако структуре на базе ISO 9001 свойственно некоторое существенное тяготение к децентрализации, что обеспечивает большую надёжность управления и лучшую информационную проницаемость ИСУ.

При представлении структуры ИСУ в виде ориентированного графа в множестве построения K используется *ранг элемента*:

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(k)}} \quad (16)$$

где $a_{ij}^{(k)}$ – элементы матрицы A^k ; $k=3\dots 4$. Для рис. 1 и 2 имеем:

$$\begin{aligned} \|r_{1i}\| &= |0,256; 0,201; 0,098; 0,122; 0,189; 0,134| \\ \|r_{2i}\| &= |0,287; 0,218; 0,080; 0,184; 0,161; 0,069| \end{aligned} \quad (17)$$

Из (19) видно, что в среднем ранги элементов модели ИСУ на основе ISO 9001 несколько выше рангов элементов другой модели (на основе ISO 14001), что говорит о большей взаимосвязанности элементов первой модели. Кроме того, можно видеть, что в модели по ISO 9001 наивысшим рангом ($r_{11} = 0,270$) обладает элемент № 1 «Управлять ИСУ», а вторым рангом ($r_{10} = 0,256$) – элемент № 0 «Внешняя среда», который в модели по ISO 14001 обладает как раз наивысшим рангом ($r_{20} = 0,287$), опередив элемент № 1 «Определять политику» – это можно объяснить самой сутью стандарта ISO 14001, рассматривающего влияние производства на окружающую среду.

Таким образом, согласно результатам проведённого выше исследования топологических свойств вариантов моделей ИСУ, лучшей моделью следует считать модель, основанная на стандарте ISO 9001. Этот вывод верен при допущении равенства весов дуг орграфов, представляющих IDEF0-модели; для более полного сравнительного анализа имеет смысл строить взвешенные орграфы, учитывающие особенности (информационных, материальных и др.) потоков IDEF0-модели.

Источники информации

1. Макаров Р. И., Тарбеев В. В., Попов Ю. М., Огрызков С. А., Отцова Е. А. *Интегрированная система управления (IMS)*. / Проблемы экономики, финансов и управления производством: Сборник научных трудов вузов России, выпуск 13-й. / Под ред. Соколова Ю. А. – Иваново: ИГХТУ, 2003. – 478 с., ил. – С. 243-248.
2. Ogryzkov S. A. *Research and Development of Integrated Management System of an Enterprise*. / Informatics, Mathematical Modeling and Design in Technics, Controlling and Education (IMMD 2004): Proceedings of International Scientific Conference. – Vladimir: Vladimir State University, 2004. – 240 p., il. – Pp. 60-62.
3. Никифоров А. Д. *Управление качеством: Учеб. пособие для вузов*. – М.: Дрофа, 2004. – 720 с., ил.