

В. А. Маренко, канд. техн. наук, доц., e-mail: marenko@ofim.oscsbras.ru,
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, г. Омск

Модель характеристик экономической системы как конформируемый образ рассуждений аналитика¹

В работе рассмотрена иерархическая модель характеристик экономической системы, сформированная по таксономическому принципу. Иерархия моделей показана на примере показателей "прибыль", "конкурентоспособность" и "лояльность клиентов". Результатом является стратифицированное описание объекта исследования, что позволяет изучать его с использованием различных средств, в том числе симплицального анализа. Проведены имитационные эксперименты для сравнения результатов до и после симплицального анализа.

Ключевые слова: модель, иерархия, система, граф, симплицальный анализ, имитационный эксперимент

Введение

Экономические системы являются сложными структурами, поэтому для исследования экономических проблем целесообразно использовать иерархический подход [1]. В теории многоуровневых иерархических систем предложены особые классы иерархических структур: слои, страты, эшелоны. Слои, или уровни сложности, служат для вертикальной декомпозиции объекта исследования. Концепция страт необходима для построения совокупности моделей, каждая из которых описывает один и тот же объект исследования с различных точек зрения. В результате получается стратифицированное описание объекта одновременно на разных уровнях иерархии. Чем выше страта, тем выше абстрагирование, тем отчетливее назначение объекта как единого целостного образования. Концепция эшелонов обеспечивает взаимосвязь между соответствующим уровнем описания целей системы и уровнем описания средств их достижения [2].

В работе ставилась задача представить путем вертикальной декомпозиции семейство моделей, которые описывают характеристики экономической системы на различных уровнях абстрагирования. С применением теоретико-

множественного подхода упорядоченное множество характеристик экономической системы представляется корневым графом $X = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, где X — обобщенная характеристика. Каждый уровень иерархии имеет свою особенность: рассмотрение на нижнем уровне детализирует представление об объекте, а на уровне, расположенном выше, яснее виден смысл, предназначение объекта в целом. В этом случае объект нижележащего уровня является подсистемой системы верхнего уровня иерархии.

Российские специалисты широко используют иерархический подход для разнообразных социально-экономических исследований. В статье К. В. Павлова [3] дается обоснование целесообразности использования понятия "экономическое ядро", под которым подразумевается совокупность точек роста и базисных элементов экономики. Рассмотрена идея вариативности экономического ядра на разных уровнях иерархии, критерии отбора элементов в "ядро" и их оптимизация [3]. С. П. Мишин решает задачу реализации управленческих функций в организации через создание иерархии, с помощью которой возможно повысить эффективность взаимодействия сотрудников на основе планирования и контроля материальных, информационных и других потоков [4]. Е. Е. Моностырская предлагает анализировать состояние социально-экономической системы с использованием иерархии потребностей человека. В ее

¹Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН № 1.5.1., проект № 0314-2019-0020.

работе приведен пример анализа экологического состояния окружающей среды с использованием разработанной иерархической системы потребностей [5]. Л. В. Жуковская исследовала иерархическую модель управления социально-экономической системой в условиях отсутствия идентичности структуры и однотипных объемов информации на примере системы социальной защиты населения [6].

Формирование иерархической модели характеристик экономической системы

Рассмотрение объекта исследования начинается с нижнего уровня иерархии. На первом этапе выявляются базисные факторы, оказывающие позитивное или негативное влияние на функционирование исследуемой системы. Далее проводится попарное сравнение выявленных факторов, используемых для формирования матрицы смежности, элементами которой являются экспертные оценки, отражающие величины и направления взаимовлияния базисных факторов. Из элементов матрицы смежности первого уровня формируются группы элементов второго уровня иерархии, соответствующие определенным характеристикам

кам объекта исследования. Верхний уровень представляет собой интегральный показатель, влияющий на функционирование исследуемой системы в целом.

Пример. В нашем примере на первом уровне иерархии представлена матрица смежности $A = \{a_{ij}\}, i = j = 1, n$, элементами которой являются экспертные оценки специалистов, полученные при попарном сравнении базисных факторов, влияющих на функционирование экономической системы, выявленных в ходе экспертных процедур, PEST и SWOT анализа (рис. 1).

Из элементов матрицы смежности первого уровня формируются совокупности элементов второго уровня, отражающие взаимовлияния факторов, соответствующих таким характеристикам экономической системы, как конкурентоспособность (K), прибыль (P), лояльность клиентов (L), логико-семантические образы которых представляются следующими формулами:

$K = f_1(q, cp, d, tx, s)$, где q — качество продукции (quality of product), cp — себестоимость продукции (cost of product), d — спрос на продукцию, (demand for product), tx — технологический уровень (technological level), s — внешние условия (стабильность) (stability);

$P = f_2(st, v, fn, s, c)$, где st — персонал (staff), v — объем производства (volume of finished products), fn — фонды (fund), s — услуги подрядчиков (services), c — затраты (cost);

$L = f_3(b, p, g, m, ec)$, где b — баланс (balance), p — квалификация персонала (personnel qualification), g — качество и количество товара (quality and quantity of goods), m — менеджмент (management), ec — внешние условия (environmental conditions).

Исходные зависимости K, P, L имеют иерархический вид, так как в формулы входят переменные, зависящие от других показателей. Например, показатель "объем производства" зависит от планов производства, количества ресурсов и т.д.

На третьем уровне иерархии формируется совокупность взаимосвязанных оргграфов, матрицы которых указаны на втором уровне иерархии (рис. 1). Третий уровень иерархии представляется оргграфом $G_{об} = (G, E) = (\{g_i, g_j\}, \{e_{ij}\})$, где g_i, g_j — вершины, e_{ij} — дуги, $i = j = 1, n$ (рис. 2).

В нашем примере вершинами обобщенного оргграфа являются характеристики экономической системы в виде оргграфов G_K, G_P, G_L и связи между ними. Таким образом, обобщенный

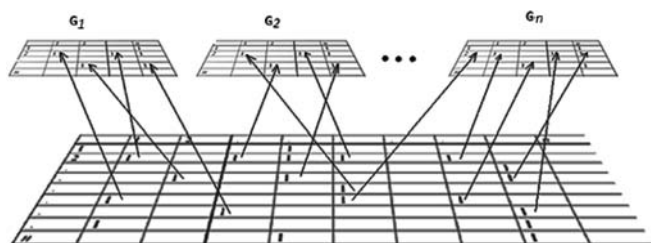


Рис. 1. Уровни рассмотрения характеристик экономической системы

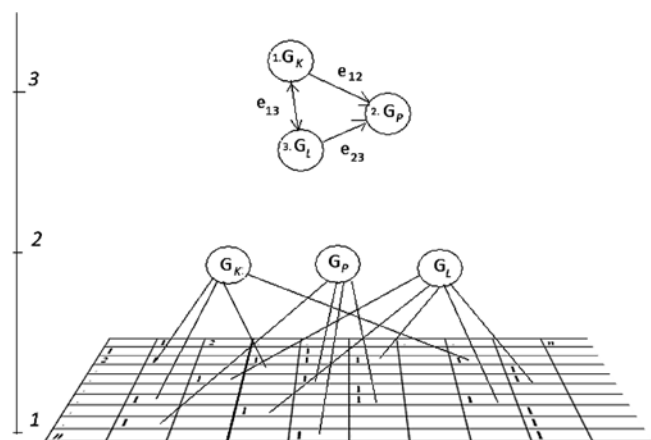


Рис. 2. Уровни иерархии характеристик экономической системы

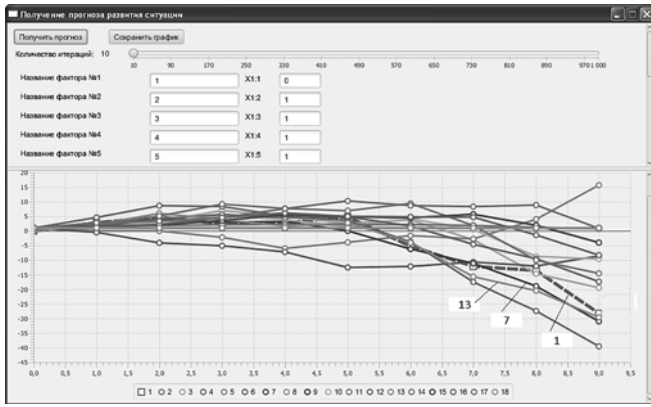


Рис. 3. Результат имитационного эксперимента с использованием исходной матрицы

интегральный показатель, характеризующий функционирование экономической системы, представляется совокупностью трех ее характеристик, исследованных ранее по отдельности [7].

Далее проводится имитационный эксперимент с использованием авторского программного средства для исследования устойчивости структуры сформированного детализированного образа обобщенной характеристики экономической системы [8]. Суть имитационного эксперимента состоит в том, что в одну или несколько управляющих вершин созданной структуры в виде орграфа вводятся возмущения, которые распространяются по различным его путям и оказывают суммарное воздействие на другие вершины, в том числе целевые: конкурентоспособность (v_1), лояльность клиентов (v_7), прибыль (v_{13}). Имитационный эксперимент проводился несколько раз для получения вариантов, которые устраивали бы лицо, принимающее решения.

Один из вариантов, когда во все управляющие вершины внесены возмущения по одной условной единице, представлен на рис. 3.

Из рис. 3 видна тенденция уменьшения значений всех трех целевых факторов — "прибыли" (13), "лояльности клиентов" (7), "конкурентоспособности" (1) — на нескольких шагах вычислительной процедуры.

Далее детализированный образ обобщенной характеристики экономической системы третьего уровня иерархии исследовался с использованием симплициального анализа.

Симплициальный анализ детализированной модели

Симплициальный анализ является одним из важнейших этапов исследования, так как

позволяет выявлять неочевидные взаимосвязи факторов в системе в целях принятия адекватных решений о способах ее управления. Симплициальный анализ оперирует понятиями симплекса и комплекса, для построения которых используется структура системы в виде орграфа $G = (V, E)$, $V = (v_i, v_j)$, $E = (e_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, n$. Множество вершин в нашем примере v_j орграфа $G_{об}$, трактуется как симплекс $\sigma_q^{(i)}$, где i — номер вершины, q — число дуг, на единицу меньших числа элементов в соответствующей строке (столбце) матрицы инцидентности. Симплициальный анализ, или анализ q -связности, использует понятие "цепь связи", которое означает, что два симплекса могут быть связаны, в том числе путем последовательности промежуточных симплексов. Совокупность симплексов, соединенных посредством общих граней, образует симплициальный комплекс $K_x(Y, R)$ или $K_y(X, R)$ [9].

Последовательность действий аналитика по реализации симплициального анализа такова. Формируется матрица инцидентности (рис. 4). Подсчитывается число единиц в каждой i -й строке и в каждом j -м столбце матрицы. Вычисляются размерности комплексов $K_x(Y, R)$ и $K_y(X, R)$. Записываются значения структурных векторов комплексов $Q_x = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_1, Q_0\}$ и $Q_y = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_1, Q_0\}$. Далее в два варианта преобразуется структура исходной матрицы путем упорядочения строк сверху вниз или упорядочения столбцов слева направо в соответствии с правилами убывания размерности: $q_1^i > q_2^i > q_3^i > \dots > 0 > -1$ и $q_1^j > q_2^j > q_3^j > \dots > 0 > -1$.

На рис. 4 первым элементом исходной матрицы является целевой фактор "конкурентоспособность", седьмым — "лояльность клиентов", тринадцатым — "прибыль".

Реализация симплициального анализа рассматривается на примере комплекса $K_y(X, R)$,

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1				1		1	1						1					
2	1			1														
3				1	1	1												
4					1													
5	1					1												
6	1			1			1						1					
7	1			1						1		1	1					
8	1											1						
9	1			1						1	1		1					
10									1				1					
11	1			1			1					1						
12											1							
13				1						1				1			1	
14													1		1	1		
15							1											1
16																		1
17							1						1	1				
18													1	1			1	1
	6	4	0	6	0	5	2	4	1	2	1	2	7	2	0	2	2	1

Рис. 4. Исходная матрица инцидентности

который имеет восемнадцать симплексов с разной связностью. Анализ начинается с наибольшей связности и заканчивается связностью, равной нулю. По столбцам матрицы инцидентности определяется наибольшая связность. Для этого находим столбец с наибольшим числом элементов — это тринадцатый столбец, содержащий восемь единиц (рис. 4). Наибольшая связность комплекса $q = 8 - 1 = 7$. На этом уровне связности имеется одна компонента $\{x_{13}\}$. Понижаем уровень связности на единицу. На уровне связности $q = 6$ имеются две компоненты $\{x_{13}\}, \{x_1, x_4\}$. Далее последовательно понижаем уровень связности на единицу, включая уровень связности, равной нулю, каждый раз проверяя условие объединения [10].

Результаты вычислительной процедуры для комплекса $K_y(X, R)$:

$$q = 7, Q_7 = 1, \{x_{13}\};$$

$$q = 6, Q_6 = 2, \{x_{13}\}\{x_1, x_4\};$$

$$q = 5, Q_5 = 3, \{x_{13}\}\{x_1, x_4\}\{x_6\};$$

$$q = 4, Q_4 = 3, \{x_{13}\}\{x_1, x_4\}\{x_6\};$$

$$q = 3, Q_3 = 3, \{x_{13}\}\{x_1, x_4\}\{x_6\};$$

$$q = 2, Q_2 = 2, \{x_{13}, x_1, x_2, x_4, x_7, x_{10}, x_{12}\}\{x_6\};$$

$$q = 1, Q_1 = 1, \{все\};$$

$$q = 0, Q_0 = 1, \{все\}.$$

Вид структурного вектора $Q_y = \{1, 2, 3, 3, 3, 2, 1, 1\}$ показывает, что комплекс связан для большого и малых значений q , а для промежуточных значений он распадается на несколько несвязных компонент.

В результате симплицеального анализа выявлено, что наибольшее значение для исследуемой системы играют вершины x_{13} — целевой фактор "прибыль", x_1 — целевой фактор

"конкурентоспособность" и x_4 — управляющий фактор "спрос". Поэтому исходную матрицу взаимовлияния факторов можно преобразовать путем упорядочения ее столбцов в соответствии с правилом $q_1^j > q_2^j > q_3^j > \dots > 0 > -1$. В преобразованной матрице первым элементом будет фактор x_{13} , вторым — x_1 , третьим — x_4 и т.д.

Затем с использованием преобразованной матрицы проводится имитационный эксперимент, результат которого представлен на рис. 5.

Имитационный эксперимент показал хорошую результативность аналитических процедур, примененных для выявления неочевидных связей между факторами и получения преобразованной матрицы, так как с ее использованием наблюдается тенденция увеличения значений всех целевых факторов: 1 — прибыли, 2 — конкурентоспособности, 5 — лояльности клиентов на том же числе шагов вычислений, что и прежде, но с позитивным эффектом.

Таким образом, аналитические процедуры симплицеального анализа позволили получить вариант, который полностью устроил лицо, принимающее решения.

Заключение

В результате работы создана и исследована иерархическая модель интегральной характеристики экономической системы, представленной в виде конформируемого образа: то в сжатом, то в развернутом виде. Сформированная модель позволяет исследовать экономические характеристики с применением разнообразных средств анализа информации. В результате симплицеального анализа выявлено, что на втором уровне связности появляется первый связный компонент, который показывает, что при внесении изменений в управляющий фактор "спрос" целевой фактор "конкурентоспособность" немедленно отреагирует на эти воздействия. Предлагаемая модель может быть использована для формирования рекомендаций по улучшению эффективности деятельности экономической системы в целом.

Список литературы

1. Ильин В. П. Математическое моделирование. Часть 1. Непрерывные и дискретные модели. Новосибирск: СО РАН, 2017. 429 с.
2. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.

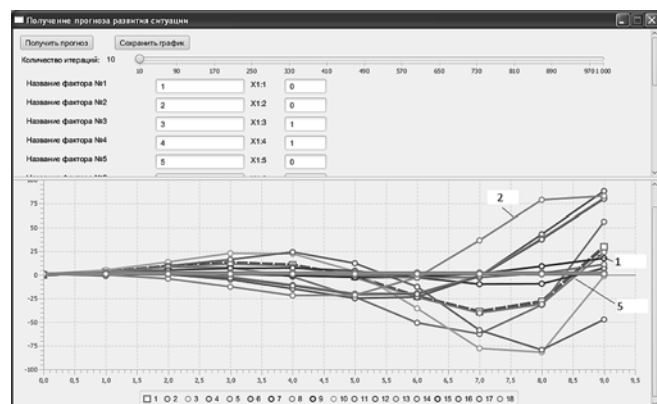


Рис. 5. Результат имитационного эксперимента с использованием преобразованной матрицы

3. Павлов К. В. Ядро экономической системы на разных уровнях управленческой иерархии // Socio-economic problem of management. Collective monograph. Melbourne, Australia, 2015. С. 53–68.

4. Мишин С. П. Оптимальные иерархии управления в экономических системах // Экономика и математические методы. 2007. Т. 43. № 3, С. 85–101.

5. Моностырская Е. Е. Иерархия факторов, мотивирующих деятельность человека в социально-экономической системе // Вестник науки Сибири. 2013. № 1 (7). С. 213–219.

6. Жуковская Л. В. Регулирование сложных социально-экономических систем на разных уровнях иерархии в условиях неопределенности // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2018. Т. 68, № 4, С. 17–25.

7. Суходолов А. П., Маренко В. А. Системный анализ, моделирование. Математическое моделирование. Иркутск: Изд-во БГУ, 2018. 144 с.

8. Ложников В. Е., Маренко В. А. Программная система "Синтез топологической структуры когнитивной модели". Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019617163 от 04.06.2019.

9. Береза О. А. Симплициальный анализ когнитивных карт социально-экономических систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 11 (124). С. 151–161.

10. Маренко В. А. Симплициальный анализ когнитивной структуры // Актуальные проблемы преподавания математики в техническом вузе. 2019. № 7. С. 199–207.

V. A. Marenko, Ph.D., Assistant Professor, e-mail: marenko@ofim.oscsbras.ru
Sobolev Institute of Mathematics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Omsk, 644099, Russian Federation

The Economic System Model as the Conformable Image of Analyst Reasoning

Description of the hierarchical model of the characteristics of the economic system is the goal. The model is made by taxonomic principle. The hierarchy of models on the example of indicators of profit, competitiveness and customer loyalty is shown. A stratified description of the object of study is the result. To study the model, simplicial analysis was used. Simulation experiments conducted. A comparison of the results before and after simplicial analysis is done.

Keywords: model, hierarchy, system, graph, simplicial analysis, simulation experiment

Acknowledgement: The work was supported by the program of fundamental scientific researches of the SB RAS № I.5.1., project № 0314-2019-0020"

DOI: 10.17587/it.26.419-423

References

1. Пуйн В. П. Mathematical modeling. Part 1. Continuous and discrete models, Novosibirsk, SB RAS, 2017, 429 p. (in Russian).

2. Mesarovich M., Mako D., Takahara I. Theory of hierarchical multilevel systems, Moscow, Mir, 1973, 344 p. (in Russian).

3. Pavlov K. V. 2.1. The core of the economic system at different levels of the management hierarchy, *Socio-economic problem of management*, Melbourne, Australia, 2015, pp. 53–68 (in Russian).

4. Mishin S. P. Optimal hierarchies of management in economic systems. *Ekonomika i Matematicheskiye Metody*, 2007, vol. 43, no. 3, pp. 85–101 (in Russian).

5. Monastyrskaya E. E. Hierarchy of factors motivating human activity in the socio-economic system, *Vestnik Nauki Sibiri*. 2013, no. 1 (7), pp. 213–219 (in Russian).

6. Zhukovskaya L. V. Regulation of complex socio-economic systems at different levels of the hierarchy in the face of uncertainty, *Trudy Instituta Sistemnogo Analiza Rossiyskoy Akademii Nauk*, 2018, vol. 68, no. 4, pp. 17–25 (in Russian).

7. Sukhodolov A. P., Marenko V. A. *System analysis, modeling. Mathematical modeling*, Irkutsk, BSU, 2018, 144 p.

8. Lozhnikov V. E., Marenko V. A. Program system "Synthesis of the topological structure of the cognitive model", Certificate of state registration of computer programs no. 2019617163 date 04.06.2019 (in Russian).

9. Bereza O. A. Simplicial analysis of cognitive maps of socio-economic systems, *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki*. 2011, no. 11 (124), pp. 151–161. (in Russian).

10. Marenko V. A. Simplicial analysis of cognitive structure. *Aktual'nyye problemy Prepodavaniya Matematiki v Tekhnicheskoy VUZe*, 2019, no. 7, pp. 199–207 (in Russian).