

Динамические системы

Разработка метода исследования объектов на основе иерархического подхода*

В.А. МАРЕНКО

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Цель работы – описание метода исследования объектов как иерархии уровней структурной трансформации его компонентов. На первом уровне иерархии объект исследования представляется матрицей смежности, элементами которой являются экспертные оценки специалистов, получаемые при попарном сравнении факторов, влияющих на объект исследования со стороны внешней и внутренней среды. Второй уровень иерархии представлен матрицами смежности компонентов объекта исследования, сформированных из элементов матрицы смежности 1-го уровня иерархии. Третий уровень представлен взаимосвязанными компонентами 2-го уровня иерархии в виде взвешенных ориентированных графов. На четвертом уровне дана детализация взаимосвязанных компонентов в виде орграфов третьего уровня иерархии. Для проверки устойчивости детализированной структуры четвертого уровня иерархии проведен имитационный эксперимент. Неявные взаимосвязи между факторами исследованы с применением симплициального анализа. Апробация метода осуществлена с помощью примера «воздействие» СМИ на массовую аудиторию. С применением разработанного метода установлено, что «воздействие» СМИ на массовую аудиторию проявляется в «социальной активности» граждан через фактор «правдоподобность информации», поставляемую информационными продуктами. С помощью симплициального анализа выявлены неявные связи между факторами «политическая конъюнктура» и «имидж источника информации». Результаты, полученные при апробации метода, можно использовать для подготовки проектов и программ идеологической направленности.

Ключевые слова: метод, иерархия, структура, имитационный эксперимент, симплициальный анализ, СМИ.

DOI: 10.14357/20790279200306

Введение

В теории многоуровневых иерархических систем предложены различные классы иерархических структур: слои, страты, эшелоны. Слои или уровни сложности служат для вертикальной декомпозиции объекта исследования. Рассмотрение системы на нижнем уровне детализирует ее представление, а на уровне, расположенном выше, яснее виден смысл, ее предназначение в целом. Объект нижележащего уровня является подсистемой системы верхнего

уровня иерархии. Концепция страт реализует описание объекта исследования с различных точек зрения. В результате получается его стратифицированное описание одновременно на разных уровнях иерархии. Чем выше страта, тем выше абстрагирование, тем отчетливее назначение объекта как единого целостного образования. Представление системы в виде эшелонов обеспечивает взаимосвязь между соответствующими уровнями описания целей системы и средств их достижения [1, 2].

Цель работы состоит в описании метода исследования объектов как иерархии решений ком-

* Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН № I.5.1., проект № 0314-2019-0020.

плекса информационных задач, состоящих из его трансформированных моделей.

Российские специалисты широко используют иерархический подход для разнообразных социально-экономических исследований. Рассмотрены теоретические аспекты иерархии для задачи построения алгоритма как многоуровневой структуры, в которой первому уровню соответствуют терминальные вершины, а последнему, максимальному уровню, – наибольший таксон, содержащий все элементы некоторого множества [3]. Приводятся возможные иерархические структуры, в том числе простейшая схема двухступенчатой всеерной иерархии, которая представляется корневым графом $X=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, где X – система, X_n – совокупность ее характеристик. Ромбовидной иерархией описывается, например, выдача государством определенных условий функционирования отраслевым и региональным предприятиям. Отрасль и регион могут оказывать управляющее воздействие на производителя, но оказывать влияние на решения друг друга практически не способны [4]. Решается задача 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 [5]. Предлагается анализировать состояние социально-экономической системы с использованием иерархии потребностей человека. Приведен пример анализа экологического состояния окружающей среды с использованием разработанной иерархической системы потребностей [6]. Исследована модель иерархии управления социально-экономической системой в условиях отсутствия идентичности структуры и однотипных объемов информации на примере системы социальной защиты населения [7]. Приведена модель иерархической структуры «медиафера» в виде семантической сети [8].

Предлагается использовать иерархический подход для изучения системы СМИ и ее компонентов.

1. Описание метода

Новый метод исследования объектов представлен в виде многоэтапной процедуры, на каждом этапе которой решаются различные информационные задачи (рис. 1).

Рассмотрение объекта исследования начинается с нижнего уровня иерархии. На первом этапе определяется объект исследования (M_o), выявляются базисные факторы (M_ϕ), оказывающие позитивное или негативное влияние на функциониро-

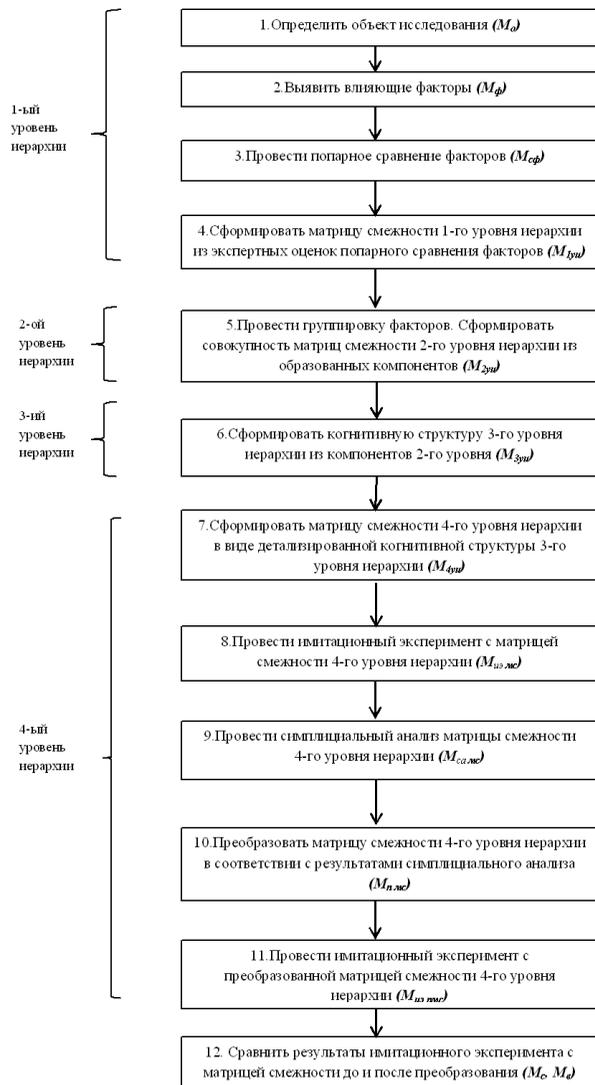


Рис. 1. Структура нового метода исследования объектов.

вание исследуемого объекта. Проводится попарное сравнение выявленных факторов ($M_{сф}$), используемых для формирования матрицы смежности ($M_{1уи}$), элементами которой являются экспертные оценки, отражающие величины и направления взаимовлияния базисных факторов.

На втором этапе из элементов матрицы смежности первого уровня создаются группы элементов второго уровня иерархии ($M_{2уи}$). На третьем этапе формируется обобщенная модель третьего уровня иерархии из взаимосвязанных компонентов второго уровня ($M_{3уи}$). На четвертом этапе создается детализированная модель на основе обобщенной модели третьего уровня иерархии ($M_{4уи}$), исследуемая с применением имитационного эксперимента ($M_{иэ_мс}$) и симплицального анализа ($M_{са_мс}$). Затем осуществляется преобразование матрицы смеж-

ности детализированной модели по результатам симплицеального анализа. Далее проводится имитационный эксперимент ($M_{n,mc}, M_{из\ nmc}$) и формируются выводы, на основе сравнения результатов исследования с матрицей смежности детализированной модели до и после ее преобразования (M_e).

Систематизирующим базисом метода является выражение: $M = M_o, M_{ф.}, M_{сф.}, M_{1уи.}, M_{2уи.}, M_{3уи.}, M_{4уи.}, M_{из\ mc}, M_{са\ mc}, M_{n,mc}, M_{из\ nmc}, M_e$.

2. Апробация метода

Формирование уровней иерархии. Апробация метода осуществлена на примере «воздействии» СМИ на массовую аудиторию. На первом уровне иерархии представлена матрица смежности $A = \{a_{ij}\}$, $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$, элементами которой являются экспертные оценки специалистов, полученные при попарном сравнении базисных факторов, влияющих на объект исследования, выявленных в ходе экспертных процедур, PEST и SWOT анализа (рис. 2). Моделирование рассматриваемого объекта выполнялось ранее [9].

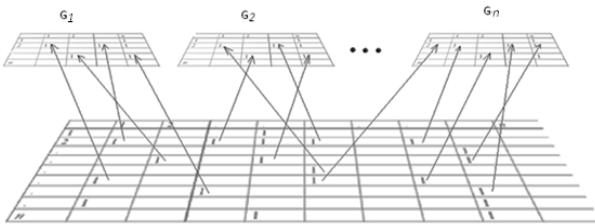


Рис. 2. Матрицы смежности первого и второго уровней иерархии.

Из элементов матрицы смежности первого уровня иерархии формируются группы элементов второго уровня, как структурные компоненты объекта исследования. Компоненты представляют собой логико-семантические образы «правдоподобность информации», «профессионализм журналиста» и «социальная активность» субъектов, воспринимающих информацию.

На третьем уровне иерархии формируется совокупность взаимосвязанных структурных компонентов в виде обобщенного орграфа $G_{об} = (G_p, e_{ij})$, где G_i – вершины, e_{ij} – дуги, $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$, матрицы которых указаны на втором уровне иерархии. Четвертый уровень иерархии представляется детализированным орграфом $G_{дет} = (G_p, w_{ij})$, где G_i – вершины, w_{ij} – веса дуг, $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$ (рис. 3).

На рис. 4 представлены четыре модели объекта исследования для каждого из четырех уровней иерархии.

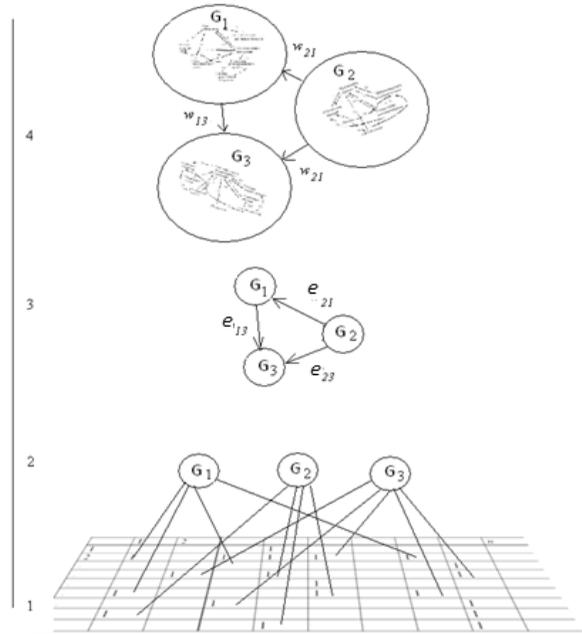


Рис. 3. Модели объекта исследования на четырех уровнях иерархии

Результаты имитационного эксперимента. Имитационный эксперимент проводится для исследования устойчивости сформированной детализированной структуры и реализован с использованием авторского программного средства [10]. Суть имитационного эксперимента состоит в том, что в одну или несколько управляющих вершин детализированной структуры в виде орграфа вносятся импульсы, которые распространяются по различным его путям и оказывают воздействия на другие вершины, в том числе целевые: «правдоподобность информации» x_p , «профессионализм журналиста» x_g , «социальная активность» субъекта, воспринимающего информацию x_{14} .

На рис. 5 представлен результат имитационного эксперимента, когда во все управляющие вершины внесены импульсы по одной условной единице. Пунктиром обозначена прогнозная траектория целевого фактора «правдоподобность информации».

Из рис. 5 видна тенденция увеличения значений всех факторов, что соответствует линейному резонансу, который показывает неустойчивость сформированной структуры.

Симплицеальный анализ структуры объекта исследования проводится для выявления неочевидных взаимосвязей между факторами с целью принятия адекватных решений о способах управления объектом. Симплицеальный анализ использует понятия симплекса и комплекса. Множество

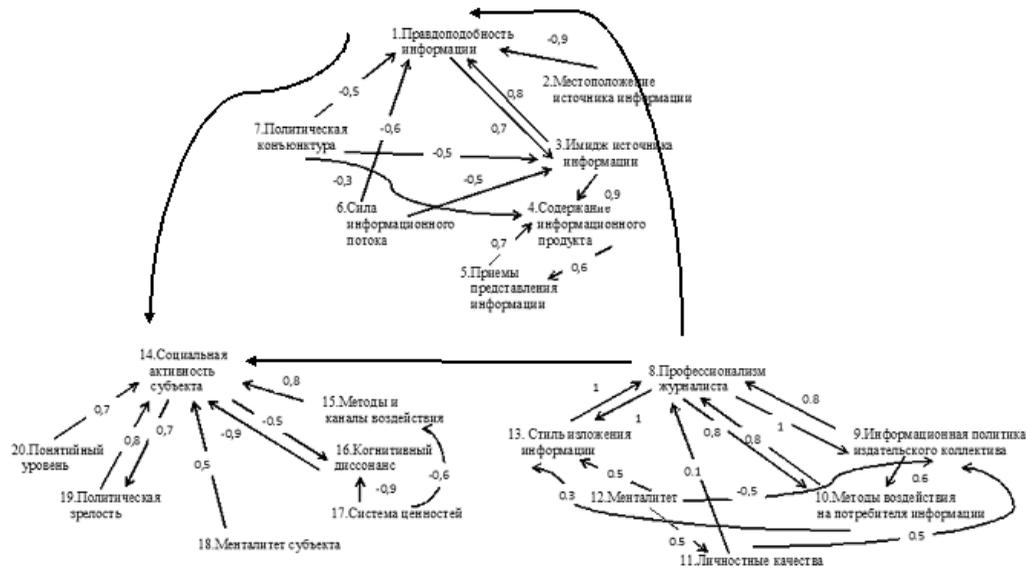


Рис. 4. Детализация модели четвертого уровня иерархии.

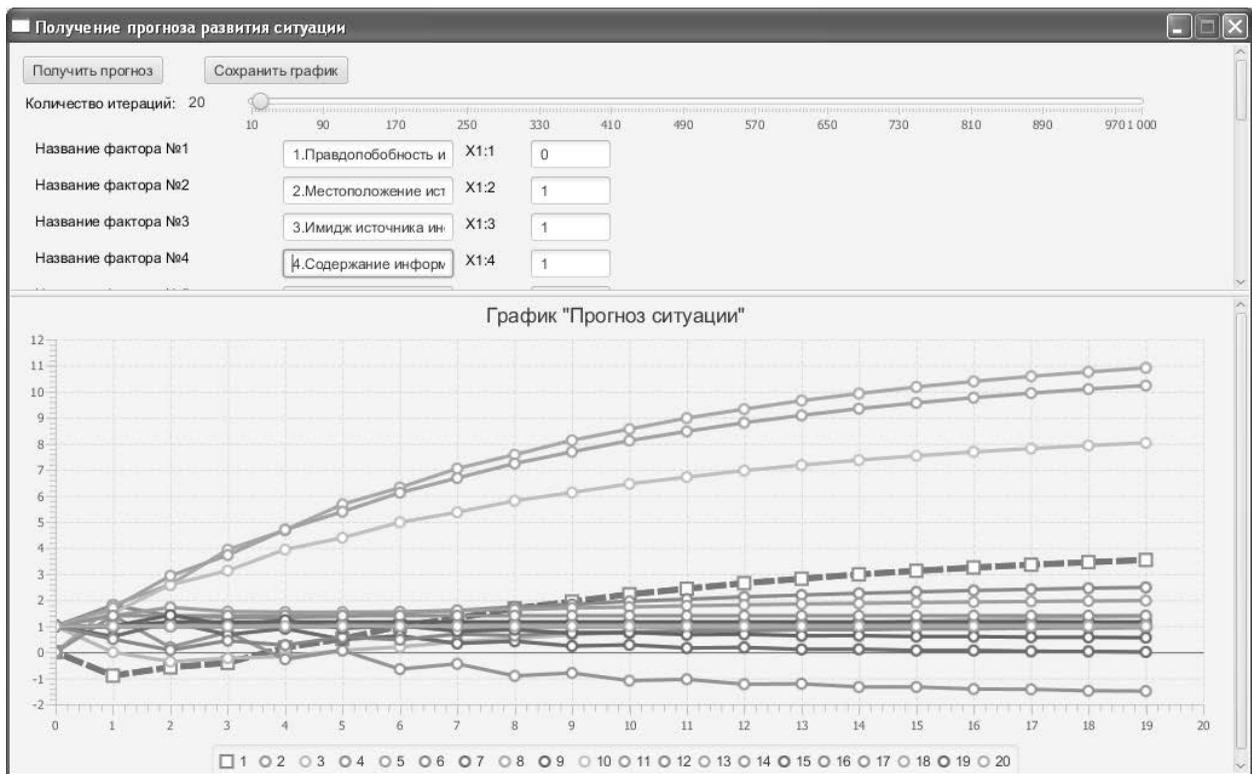


Рис. 5. Результат имитационного эксперимента с импульсами по одной условной единице во все управляющие вершины орграфа

вершин в нашем примере x_p , относящихся к конкретной вершине x_j орграфа $G_{дет}$, трактуется как симплекс $\sigma_q^{(j)}$, где i – номер вершины, q – число дуг, на единицу меньших числа элементов в соответствующей строке (столбце) матрицы инцидентности. Совокупность симплексов, соединенных

посредством общих граней, образует симплицеальный комплекс $K_x(Y, R)$ или $K_y(X, R)$.

Последовательность действий аналитика по реализации симплицеального анализа такова. Формируется матрица инцидентности. Подсчитывается количество единиц в каждой i -ой строке и в

каждом j -ом столбце матрицы. Вычисляются размерности комплексов $K_x(Y, R)$ и $K_y(X, R)$. Записываются значения структурных векторов комплексов $Q_x = \{Q_{dim K}, \dots, Q_p, Q_o\}$ и $Q_y = \{Q_{dim K}, \dots, Q_p, Q_o\}$. Далее преобразуется структура исходной матрицы смежности путем упорядочения строк сверху вниз и столбцов слева направо в соответствии с правилами убывания размерности $q^i_1 > q^i_2 > q^i_3 > \dots > 0 > -1$.

В нашем примере комплекс $K_x(Y, R)$ имеет двадцать симплексов с разной связностью. Анализ начинается с наибольшей связности и заканчивается связностью, равной нулю. Столбец с наибольшим числом элементов – это четырнадцатый столбец, содержащий семь единиц. Наибольшая связность комплекса $q=7-1=6$. На этом уровне связности имеется один компонент $\{x_{14}\}$, который соответствует фактору «социальная активность» субъектов. Понижаем уровень связности на единицу. На этом уровне имеется также один компонент $\{x_{14}\}$. На уровне связности $q=4$ имеем два компонента $\{x_{14}\}$ и $\{x_1\}$. Связности между ними нет, т.к. условие связности не соблюдено (если хотя бы одна единица i -строки или j -го столбца не входит в предыдущие строки или столбцы, то соответствующий этой строке или столбцу симплекс образует отдельный класс эквивалентности) [11]. Далее, последовательно понижаем уровень связности на единицу, включая уровень связности, равный нулю, каждый раз проверяя условие объединения [12, 13].

Результаты вычислительной процедуры для комплекса $K_x(Y, R)$:

$$\begin{aligned} q=6 \quad Q_6=1 \quad & \{x_{14}\} \\ q=5 \quad Q_5=1 \quad & \{x_{14}\} \\ q=4 \quad Q_4=2 \quad & \{x_{14}\} \{x_1\} \\ q=3 \quad Q_3=3 \quad & \{x_{14}\} \{x_1\} \{x_8\} \\ q=2 \quad Q_2=5 \quad & \{x_{14}\} \{x_1\} \{x_3\} \{x_4\} \{x_8\} \\ q=1 \quad Q_1=9 \quad & \{x_{14}\} \{x_1\} \{x_3\} \{x_4\} \{x_8\} \{x_9\} \{x_{10}\} \{x_{13}\} \\ & \{x_{15}\} \{x_{16}\} \\ q=0 \quad Q_0=1 \quad & \{все\} \end{aligned}$$

Вид структурного вектора $Q_x = \{1123591\}$ показывает, что комплекс сильно связан для больших и малого значений q , а для промежуточных значений распадается на несвязные компоненты. На уровне связности $q=1$ появляется первый связный компонент $\{x_{15}, x_{16}\}$, который иллюстрирует неявную связь между факторами x_{15} – «методы и каналы воздействия» и x_{16} – «когнитивный диссонанс». Т.е. используя различные «методы и каналы воздействия» можно оказывать влияние на «когнитивный диссонанс» субъекта.

Далее исследуется комплекс $K_y(X, R)$. Столбец с наибольшим числом элементов – это седьмой столбец, содержащий три единицы. Наибольшая

связность комплекса $q=3-1=2$. На этом уровне связности имеется четыре компонента, первый из них $\{x_7\}$, соответствует фактору «политическая конъюнктура».

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

$$\begin{aligned} q=2 \quad Q_2=4 \quad & \{x_7\} \{x_6\} \{x_{12}\} \{x_{14}\} \\ q=1 \quad Q_4=4 \quad & \{x_7, x_3\} \{x_8\} \{x_{12}\} \{x_{14}, x_{17}\} \\ q=0 \quad Q_0=1 \quad & \{все\} \end{aligned}$$

Вид структурного вектора $Q_y = \{441\}$ показывает, что комплекс сильно связан для нулевого уровня, а для 1-го и 2-го уровней распадается на несвязные компоненты. На уровне связности $q=1$ имеются неявные связи между факторами x_7 – «политическая конъюнктура» и x_3 – «имидж источника информации», x_{14} – «социальная активность» субъекта и x_{17} – «система ценностей».

Преобразование матрицы смежности. В соответствии с результатами симплицеального анализа исходная матрица смежности детализированной модели преобразована путем упорядочения ее столбцов и строк. В преобразованной матрице по столбцам первый элемент – фактор x_{14} – «социальная активность», второй x_1 – «правдоподобность информации», третий x_8 – «профессионализм журналиста» и т.д.

С преобразованной матрицей смежности детализированной модели проведена серия имитационных экспериментов, два результата из которых представлены на рис. 6 и 7.

На рис. 6 представлен результат имитационного эксперимента с преобразованной матрицей смежности при условии внесения импульса по одной условной единице во все управляющие вершины детализированной модели четвертого уровня иерархии. Результат показал устойчивость новой структуры, а также соответствие экспертным рассуждениям: чем меньше «правдоподобность информации», тем больше «социальная активность» граждан. Полученный результат согласуется также и с теоретическими разработками специалистов [14].

На рис. 7 представлен вариант имитационного эксперимента при условии внесения импульса десять условных единиц в вершину орграфа, соответствующую фактору «сила информационного потока».

На рисунке приведены значения факторов на нескольких шагах вычислительной процедуры. Видно, что с увеличением «силы информационного потока» возрастает «социальная активность» граждан. А также «сила информационного потока» существенно влияет на «содержания» информационных продуктов.

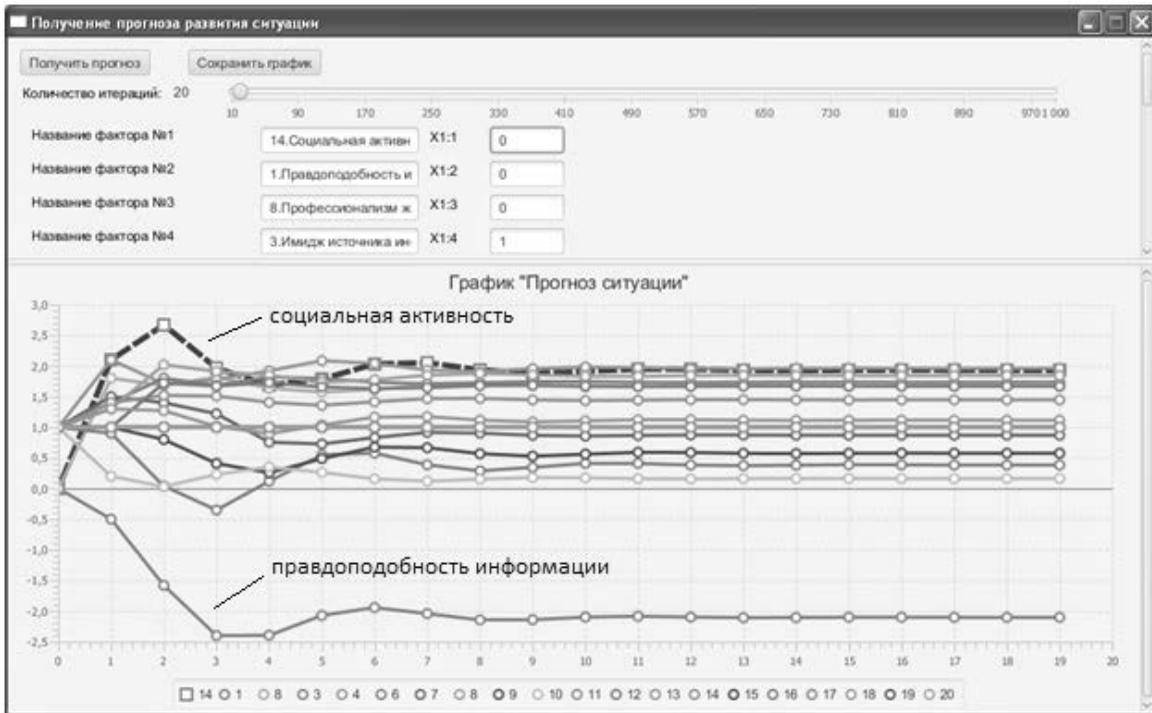


Рис. 6. Результат имитационного эксперимента с использованием преобразованной матрицы смежности

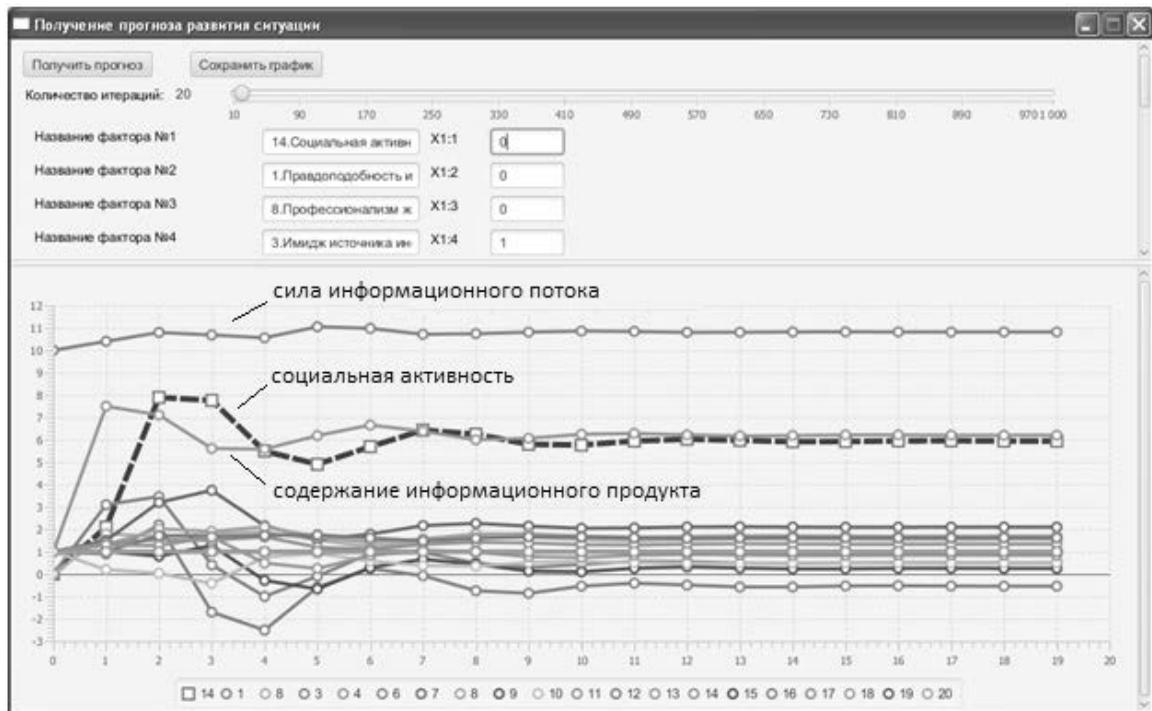


Рис. 7. Результат имитационного эксперимента при изменении импульса, вносимого в фактор «сила информационного потока»

Заключение

Разработанный метод исследования объектов, в виде иерархии их трансформируемых об-

разов, апробация которого проведена с помощью примера «воздействие» СМИ на массовую аудиторию, позволил выявить ряд существенных фак-

торов и связей между ними, в том числе факторов «правдоподобность информации» и «социальная активность» граждан. С помощью симплицального анализа установлены неявные взаимосвязи между факторами «политическая конъюнктура» и «имидж источника информации», «социальная активность» субъекта и «система ценностей».

Результаты, полученные при исследовании компонентов системы СМИ, могут быть использованы при подготовке проектов и программ идеологического содержания.

Литература

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Политехнический ун-т. 2005. 520 с.
2. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. 1973. 344 с.
3. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск. : Изд-во ИМ СО РАН. 1999. 260 с.
4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука. 1981. 488 с.
5. Мишин С.П. Оптимальные иерархии управления в экономических системах // Экономика и математические методы. 2007. Т. 43. № 3. С. 85-101.
6. Моностырская Е.Е. Иерархия факторов, мотивирующих деятельность человека в социально-экономической системе // Вестник науки Сибири. 2013. № 1 (7). С. 213-219.
7. Жуковская Л.В. Регулирование сложных социально-экономических систем на разных уровнях иерархии в условиях неопределенности // Труды ИСА РАН. 2018. Т. 68. № 4. С. 17-25.
8. Lozhnikov V.E., Marenko V.A. Information Model of the Media Sphere – Semantic Network. 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). Date Added to IEEE Xplore: 16 January 2020.
9. Sukhodolov A.P., Marenko V.A. Developing Aspects of the Media Sphere Theory Applying Mathematical Modelling, Cognitive Methodology and System Analysis. Theoretical and Practical Issues of Journalism. 2018. vol. 7. no. 3. P. 347–360.
10. 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.
11. Берёза О.А. Симплициальный анализ когнитивных карт социально-экономических систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 11 (124). С. 151-161.
12. Маренко В.А. Симплициальный анализ когнитивной структуры // Актуальные проблемы преподавания математики в техническом ВУЗе. 2019. № 7. С. 199-207.
13. Горедова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та. 2006. 334 с.
14. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1986. 496 с.

Маренко Валентина Афанасьевна. Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: 113 (в т.ч. 5 монографий). Область научных интересов: системный анализ, моделирование, информационные технологии. E-mail: marenko@ofim.oscsbras.ru

Development of a method for researching objects based on a hierarchical approach

V.A. Marenko

Sobolev Institute of Mathematics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Omsk, Russia

Abstract. Purpose - to describe the method of research objects as a hierarchy of structural transformation of its component layers. On the first level of the hierarchy the object of research seems adjacency matrix whose elements are the expert judgments obtained by pair wise comparison of factors affecting the object of research by the internal and external environment. The second level of the hierarchy is represented by the adjacency matrices of the components of the object of study formed from the elements of the adjacency matrix of the 1st level of the hierarchy. The third level is represented by the interconnected components of the 2nd level of the hierarchy in the form of weighted oriented graphs. At the fourth level, details are given of interconnected components in the form of digraphs of the third level of the hierarchy. To test the stability of the detailed structure of the fourth hierarchy level simulation experiment was conducted. Implicit relationships between the factors studied using simplicial analysis. Testing of the method carried out by way of example, “impact” media to a mass audience. With the use of this method it found that the “impact” media to a mass audience is manifested in the “social activism” of citizens through the factor of “plausibility information” supplied information products. The result obtained by testing the method can be used to prepare ideological projects.

Keywords: *method, hierarchy, structure, simulation experiment, simplicial analysis, media.*

DOI: 10.14357/20790279200306

References

1. *Volkova V.N., Denisov A.A.* Osnovi teorii system I sistemnogo analiza [Fundamentals of system theory and system analysis]. Saint Petersburg: Polytechnic University, 2005. 520 p.
2. *Mesarovich M., Mako D., Takahara I.* Teoriy ierarhicheskikh mnogoyrovnevnykh system [Theory of hierarchical multilevel systems]. Moscow: Mir, 1973. 344 p.
3. *Zagoruiko N.G.* Prikladnie metodi analiza danih I znaniy [Applied methods of data and knowledge analysis]. Novosibirsk. : IM SB RAS, 1999. 260 p.
4. *Moiseev N.N.* Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza [Mathematical problems of system analysis]. Moscow: Nauka, 1981. 488 p.
5. *Mishin S.P.* Optimalnie ierarhii upravleniy v ekonomicheskikh sistemah [Optimal management hierarchies in economic systems] // Economics and mathematical methods. 2007. Vol. 43. no. 3. Pp. 85-101.
6. *Monostyrskaya E.E.* Ierarhiy faktorov, motiviruyshih deytel`nost` cheloveka v soc-ekonomicheskikh sistemah [Hierarchy of factors motivating human activity in the socio-economic system] // Bulletin of Siberian science. 2013. no. 1 (7). Pp. 213-219.
7. *Zhukovskaya L.V.* Regulirovanie slozhnykh soc-ekonomicheskikh system na raznykh urovnyakh ierarhii v usloviykh neopredelennosti [Regulation of complex socio-economic systems at different levels of hierarchy under uncertainty] // Proceedings of the Institute of system analysis of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 68, no. 4. Pp. 17-25.
8. *Lozhnikov V.E., Marenko V.A.* Information Model of the Media Sphere – Semantic Network. 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). Date Added to IEEE Xplore: 16 January 2020. DOI: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958057.
9. *Sukhodolov A.P., Marenko V.A.* Developing Aspects of the Media Sphere Theory Applying Mathematical Modelling, Cognitive Methodology and System Analysis. Theoretical and Practical Issues of Journalism. 2018. vol. 7. no. 3. Pp. 347-360. DOI: 10.17150/2308-6203.2018.7(3).347-360.
10. *Lozhnikov V.E., Marenko V.A.* Programmnyy sistema “Sintez topologicheskoy strukturi kognitivnoy modeli” [Software system “Synthesis of the topological structure of the cognitive model”]. Svidetel`stvo o gosudarstvennoy registrasii program dly EVM. Certificate of state registration of computer programs no. 2019617163 dated 04.06.2019.
11. *Bereza O.A.* Simplisial`nii analiz kognitivnykh kart soc-ekonomicheskikh system [Simplicial analysis of cognitive maps of socio-economic systems] // SFU news. Technical science. 2011. no. 11 (124). Pp. 151-161.
12. *Marenko V.A.* Simplisial`nii analiz kognitivnykh struktur [Simplicial analysis of the cognitive structure] // Actual problems of teaching mathematics in a technical University. 2019. no. 7. Pp. 199-207.

13. *Goredova G.V., Zakharova E.N., Radchenko S.A.* Issledovanie slabostrukturirovannih problem socio-ekonomicheskikh sistem [Investigation of weakly structured problems of socio-economic systems: a cognitive approach]. Rostov-on-don: Rostov Publishing house, 2006. 334 p.
14. *Roberts F.S.* diskretie matematicheskie modeli s prilozheniem k social'nim, biologicheskim i ekonomicheskim zadacham [Discrete mathematical models with applications to social, biological and environmental problems]. Moscow: Nauka, 1986. 496 p.

V.A. Marenko, Ph.D., Sobolev Institute of Mathematics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 13 Pevtsova str. Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: marenko@ofim.oscsbras.ru