

В. Н. Бугорский, канд. экон. наук, профессор кафедры вычислительных систем и программирования Санкт-Петербургского государственного экономического университета, vitaminew@gmail.com

Е. В. Стельмашонок, докт. экон. наук, профессор, зав. кафедрой вычислительных систем и программирования Санкт-Петербургского государственного экономического университета, vitaminew@gmail.com

В. Л. Стельмашонок, канд. экон. наук, доцент кафедры менеджмента организации Санкт-Петербургского государственного экономического университета, vitaminew@gmail.com

Графоаналитические модели в оценке структуры информационной системы предприятия

Статья посвящена разработке графоаналитического метода и комплекса поддерживающих его экономико-математических моделей, обеспечивающих формирование экономически обоснованной структуры информационной системы предприятия. На основе аппарата теории графов предложены показатели оценки топологических свойств информационной структуры предприятия и степени взаимодействия структуры, а также обобщающий показатель качества информационной системы. Показана необходимость сочетания технической и экономической оценок структуры информационной системы.

Ключевые слова: информационная система, структура, графоаналитический метод, топологические свойства, экономическая оценка.

Введение

Оценка структуры информационной системы (ИС) [5] имеет большое значение для обеспечения эффективного управления информационными ресурсами предприятия. В результате оценки структуры можно, в частности, выявить наличие избыточных элементов в структуре ИС, на поддержание которых требуются затраты (т. е. снижается экономическая эффективность ИС), из-за них усложняется прохождение информационных потоков и увеличиваются риски потери информации (т. е. происходит негативное влияние на качество функционирования ИС). Оценка структуры также позволяет сформировать предложения по развитию ИС с целью обеспечения ее соответствия возросшим потребностям компании. Отметим,

что в современных условиях, когда для организации и обеспечения функционирования ИС предприятия активно используется аутсорсинг [8], наличие алгоритма оценки структуры ИС приобретает особую важность, так как благодаря ему компания-заказчик получает возможность установить, насколько предложенная аутсорсером структура соответствует ее запросам (это, в частности, может стать одним из элементов отбора аутсорсера по итогам тендера), или же сформировать для аутсорсера рекомендации по построению структуры ИС заказчика.

Однако, несмотря на очевидную важность проблемы разработки методов оценки ИС, внимания ее решению уделялось сравнительно мало. Исследователи сосредотачивались на таких вопросах, как моделирование структуры ИС [11, 12], принципы ее по-

строения [3, 6, 7] и механизмы ее оптимизации [10] — вероятно, по причине того, что эти задачи в случае их успешного решения приносят непосредственный эффект в части оптимизации управления предприятием, тогда как оценка структуры ИС источником такого эффекта быть не может, она лишь указывает на возможность его получения. Эта ситуация, в которой исследователи изучают проблемы оптимизации структуры ИС, мало занимаясь вопросами оценки структуры ИС, кажется нам парадоксальной — поскольку оптимизировать структуру без ее предварительной и последующей оценки невозможно.

В качестве примера работы по оценке структуры ИС можно привести, в частности, публикацию [4], в которой построен алгоритм оценки на основе классического многокритериального подхода (на практике этот подход является наиболее распространенным для оценки экономических и технических объектов или систем). Однако, по нашему мнению, инструментария многокритериального оценивания для анализа структуры ИС недостаточно, поскольку в нем фактически не учитываются специфические свойства структуры [9] — такие как связность, избыточность/недостаточность и т. д. Эту проблему можно устранить при помощи применения аппарата теории графов, который позволяет эффективно моделировать структуру ИС (структура любой информационной системы может быть представлена в виде графа [14]). К сожалению, его затруднительно использовать для оценки соответствия структуры ИС потребностям предприятия.

По этой причине мы считаем целесообразным использовать для оценки структуры ИС комбинированный — графоаналитический — метод, соединяющий в себе достоинства обоих подходов. С одной стороны, с его помощью возможно адекватно отобразить структурные свойства ИС (благодаря применению аппарата теории графов), а с другой — рассчитать итоговый оценочный показатель для структуры ИС (на осно-

ве аналитического представления топологических свойств графа и многокритериального подхода). Содержание предлагаемого нами графоаналитического метода представлено в предлагаемой работе.

Важнейшим свойством структуры, представленной графом, можно считать организацию ее элементов или структурную организацию.

Все показатели топологических свойств в соответствии с общесистемными требованиями, предъявляемыми к показателям любых свойств, аналитические; т. е. выражаются в количественной шкале и допускают объективное их вычисление, а также чувствительны к изменению оцениваемых свойств.

Известно, что графу как математическому объекту можно поставить в соответствие его аналитическое представление, например матричное [14]. Основными матрицами графа, содержащего n вершин и m ребер, являются [14]:

— матрица смежности вершин A , в которой элемент a_{ij} свидетельствует о наличии ребра между i -й и j -й вершинами;

— матрица инцидентностей, в которой строки соответствуют вершинам, столбцы — ребрам, а элемент a_{ij} матрицы, стоящий на пересечении i -й строки и j -го столбца, равный 1, указывает на их инцидентность.

В теории графов показано [14], что эти матрицы несут в себе всю информацию, содержащуюся в графе, и могут быть использованы для построения производных от них матриц, таких как матрица цепей, матрица минимальных цепей, матрица достижимости и др.

Важнейшее топологическое свойство, которое обуславливает наличие всех остальных свойств, — связность графа (означает существование цепи между каждой парой вершин графа). При этом под цепью понимается такая последовательность вершин и ребер, в которой все ребра различны [14].

В основу формирования комплексного показателя, при помощи которого оценива-

ется организация структуры, формализованной графом, должен быть положен анализ и устранение на основе этого анализа взаимовлияния (коррелированности) частных показателей искусственными математическими способами, с целью получения наиболее объективной оценки значимости и вклада каждого показателя в характеристику организации структуры.

Таким образом, имеется множество признаков, которые в своей совокупности определяют некоторое результирующее свойство. Необходимо по проявлению этих признаков установить силу их влияния на рассматриваемое свойство независимо от влияния друг на друга. Данная общая постановка типична для задач факторного анализа, в котором при помощи методов многомерных статистических исследований строятся аналитические зависимости для результирующего признака от предполагаемых значащих факторов. Для факторного анализа основных показателей топологических свойств наиболее целесообразно использовать метод главных компонент вследствие того, что этот метод обладает рядом существенных достоинств. Основные из них [1]:

- обнаружение скрытых, но объективно существующих закономерностей, обуславливающих взаимовлияние факторов;
- описание исследуемого свойства числом главных компонент, значительно меньшим, чем число исходных признаков;
- выделение главных компонент, которые содержат в среднем больше информации, чем отдельные признаки;
- выявление и изучение стохастических связей признаков с главными компонентами, что позволяет определять исходные признаки, наиболее связанные с найденными главными компонентами;
- линейность и некоррелированность главных компонент.

В качестве примера была взята последовательная структура, граф которой показан на рис. 1, а суть моделирования последующих структур заключалась в добавлении случайным образом (в данном случае

равновероятным) нового ребра в предшествующий граф.

Следовательно, для $n = 10$ количество возможных графов составило [2] (для одной реализации) $n(n - 1) / 2 - (n - 1) + 1 = 37$.



Рис. 1. Граф последовательной структуры

Для равновероятного появления ребра между любой парой несмежных вершин при $n = 10$ характер изменения показателей топологических свойств показан на рис. 2.

Приведенные показатели топологических свойств количественно оценивают первичные топологические свойства, что позволяет осуществлять оценку организации структуры, представленной графом. В связи с этим необходимо иметь комплексный показатель, который учитывал бы интенсивность проявления определяющих организацию свойств структуры.

Комплексный показатель организации структуры Φ_0 , представленной графом (см. рис. 1), может быть рассчитан по формуле (обозначения приведены на рис. 2, значения весовых коэффициентов получены на основе нормирования первого столбца матрицы факторных нагрузок, расчет этой матрицы для экономии места не приводится, желающие могут ознакомиться с ним в работе [13]):

$$\Phi_0 = 0,192C + 0,127(1 - \epsilon^2) + 0,192R + 0,135Q_{\text{отн}} + 0,017K_0^3 + 0,009K_0^{\text{CB}} + 0,164(1 - \psi^{(-)}) + 0,173(1 - \delta). \quad (1)$$

Весовые коэффициенты при показателях топологических свойств в выражении (1) имеют смысл их «чистой» значимости [14] и влияния на результирующее свойство — организацию структуры. Как видно из выражения (1), организация структуры практически полностью определяется ее целостностью и радиальностью, что позволяет существенно упростить решение задач синтеза структуры, если требуется

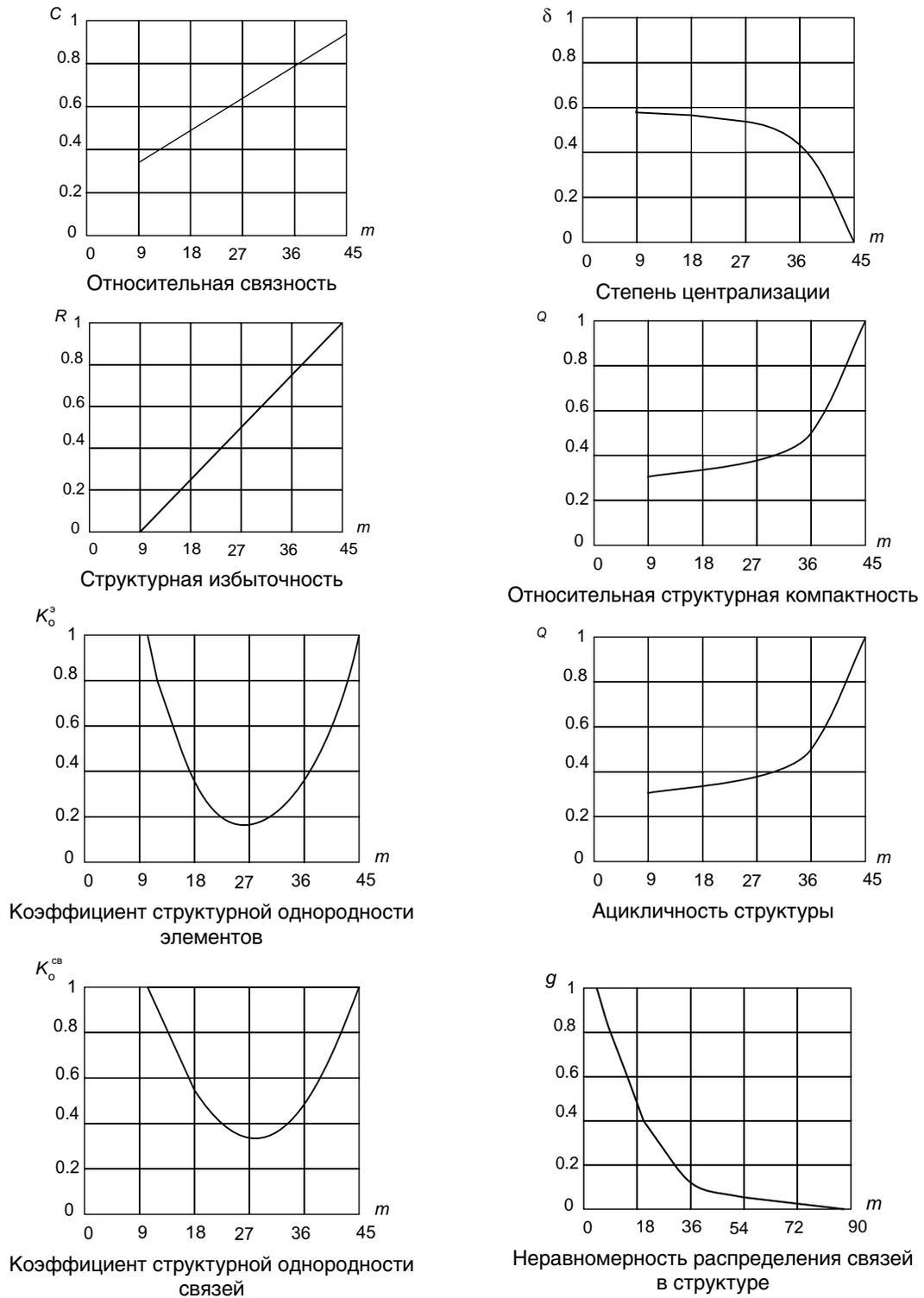


Рис. 2. Характер изменения показателей топологических свойств в зависимости от числа ребер (m) в графе структуры

формирование структуры, близкой к полному графу.

Наибольший вес в предлагаемой модели принадлежит параметру C , т. е. показателю относительной связности. Применительно к структуре информационной системы предприятия это означает, что при организации связей между сущностями (источники информации и получатели информации, узлы обработки и хранилища данных) следует по возможности избегать промежуточных связей. Низкие весовые коэффициенты, характеризующие однородность элементов и связей K_o^o и K_o^{cb} , объясняются клиент-серверными технологиями, при которых элементы структуры значительно различаются по функциональным возможностям, их значимости в структуре.

Формирование комплексного показателя оценки степени взаимодействия структуры

Графоаналитическая модель оценки степени взаимодействия структуры информационной системы предприятия может быть описана орграфом, полученным преобразованием графа структуры.

Отметим, что максимальное количество дуг в нем при n вершинах составит $m = n(n - 1)$.

Показатели топологических свойств орграфов также имеют зависимость, в данном случае от числа дуг в орграфе.

Ниже приводятся величины показателей топологических свойств как функция числа дуг.

С помощью предложенного выше подхода установлен вид указанных зависимостей, показанный на рис 3.

Для оценки результирующего свойства — организации взаимодействия в структуре, необходим комплексный показатель, в котором можно интегрировать все показатели топологических свойств структуры, описанной орграфом.

В соответствии с предложенным механизмом анализа показателей топологиче-

ских свойств инварианты орграфа также проанализированы методом главных компонент. При этом число моделируемых структур (для $n = 10$) в одной реализации составило $n(n - 1) - (n - 1) + 1 = 82$.

В результате получен комплексный показатель организации взаимодействия между элементами структуры, представленной орграфом и рассчитываемый по формуле [14]

$$\Phi_s = 0,337T + 0,302(1 - g) + 0,284B + 0,001V + 0,077I + 0,0007u. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что организация в структуре практически полностью определяется ее полнотой и достижимостью в ней, что так же, как и в случае анализа графа структуры, значительно упрощает решение задач синтеза структуры типа полный граф.

Как следует из (2), наибольший вес в предлагаемой модели принадлежит параметру T , т. е. показателю турнирности. Применительно к структуре информационной системы предприятия это означает, что в лучшей структуре все узлы обработки и хранилища данных, источники и получатели информации должны быть взаимодостижимы при исключении промежуточных связей в соответствии с процессами обработки информации в интересах управления предприятием. Большой вес коэффициента достижимости означает высокую потенциальную возможность передачи (обмена) информации. Низкие значения показателей упорядоченности (V) и влияния (u) характеризуют специфику направления обмена информацией в клиент-серверных технологиях.

Оценка и выбор структуры информационной системы

Полученные комплексные показатели оценки степени организации и степени взаимодействия послужили основой построения алгоритма выбора структуры.

Разработанный алгоритм оценки и выбора структуры информационной систе-

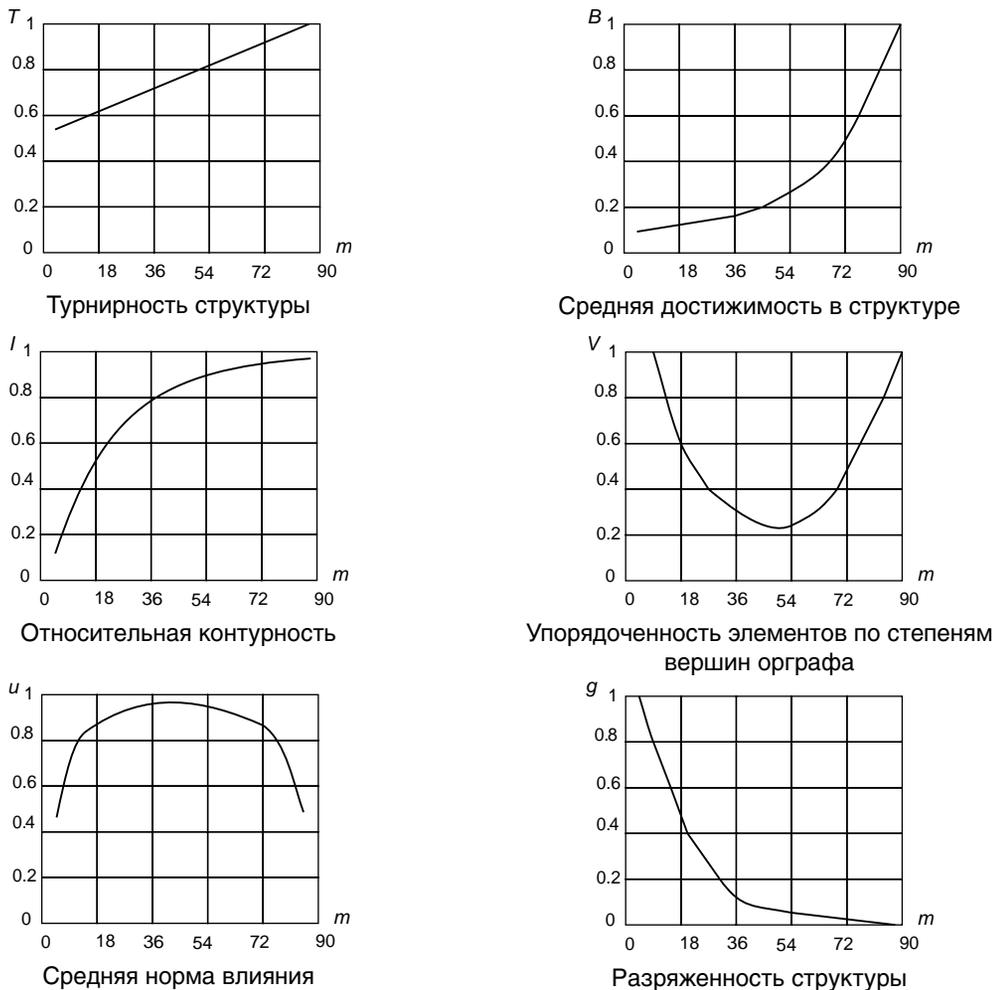


Рис. 3. Характер изменения показателей топологических свойств в зависимости от числа дуг в орграфе

мы представлен на рис. 4. С его помощью можно:

- объективно оценить варианты структур как по единичным показателям качества, так и по комплексным;
- сравнить структуры по нормированному обобщенному комплексному показателю с использованием шкалы, построенной на двух прототипах: от существующей информационной системы к гипотетической (с предельно возможными значениями показателей);
- рассчитать показатель экономической эффективности каждого варианта, учитывающий реальный эффект от вложенных средств.

Обобщенный показатель качества может быть рассчитан по формуле

$$Q = (1 - \alpha)\Phi_o + \alpha\Phi_g.$$

Коэффициенты α и $(1 - \alpha)$ показывают соответственно интенсивность прямых и обратных связей между структурными единицами информационной системы.

Применительно к структуре информационной системы предприятия коэффициент α — это усредненная величина, рассчитываемая на статистике затрат, связанных с передачей информации в прямом и обратном направлении между элементами структуры информационной системы.

Экономический эффект от затрат на структуру информационной системы предприятия может быть представлен величиной чистой приведенной стоимости (*NPV*) за определенный период времени *T* (выраженный в годах):

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta if_t(R) - \Delta of_t(R)}{(1+E)^t} - K_R, \quad (4)$$

где $\Delta if_t(R)$ — изменение входного денежного потока в *t*-й подпериод;

$\Delta of_t(R)$ — изменение выходного денежного потока;

K_R — внеоборотные и оборотные активы;

E — норма дисконта.

В отличие от оценки структуры ИС, которая может быть произведена силами ИТ-отдела предприятия, экономическая оценка варианта структуры ИС должна производиться финансовым подразделением фирмы. В случае, если чистая приведенная

стоимость реализации оптимальной структуры ИС отрицательна (вероятность такого события нельзя исключать, поскольку формулы (1) и (2) служат для технической, а не экономической оценки структуры, и вполне возможны расхождения между результатами оценки структуры с технической (формулы (1), (2)) и экономической (формула (3)) точек зрения) необходимо произвести расчет экономического эффекта для структуры, занявшей второе место по показателям технической эффективности — и так до тех пор, пока значение *NPV* не станет положительным.

В соответствии с алгоритмом оценки имеется базовый вариант структуры, характеризующий существующую организацию, и два варианта предлагаемого развития функционально-информационной структуры. В результате соответствующих вычислений получены данные для оценки вариантов структуры, которые сведены в табл. 1 (при $\alpha = 0,8$).

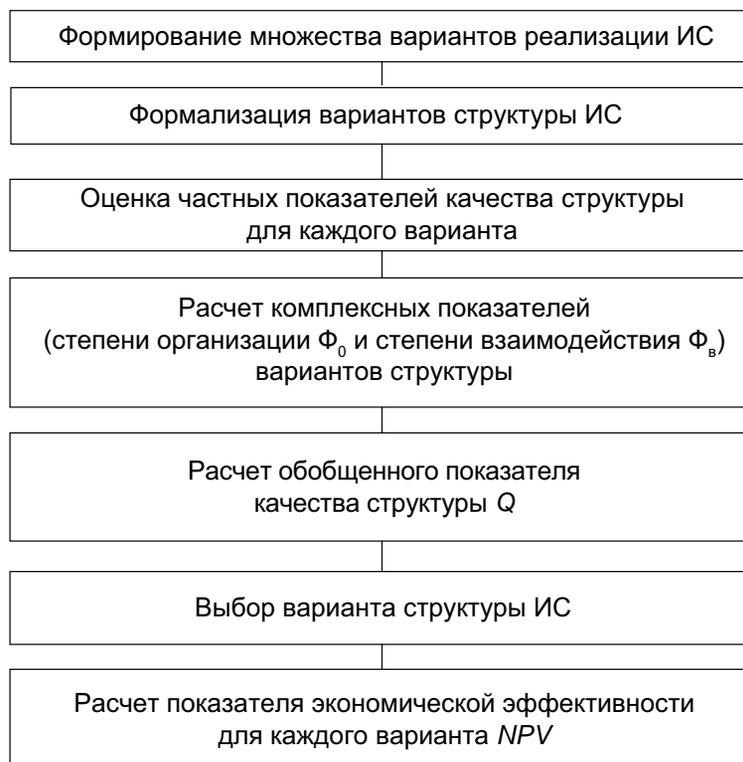


Рис. 4. Алгоритм оценки и выбора варианта структуры информационной системы

Результаты оценки структуры ИС

Вариант	Показатели			
	Φ_o степень организации структуры	Φ_s степень взаимодействия в структуре	Q нормированный показатель качества	Чистая приведенная стоимость NPV, %
Базовый	0,261	0,208	0,248	100
1-й вариант	0,290	0,217	0,272	113
2-й вариант	0,289	0,223	0,273	120

По данным расчетов (табл. 1) можно сделать вывод, что вариант 2 является предпочтительным для реализации.

Заключение

Аппарат оценки структуры информационной системы необходим для формирования оптимальной структуры и улучшения уже существующей структуры. В основе такого аппарата должна лежать взаимосвязанная совокупность моделей, реализующих наиболее общие и в то же время перспективные методы формализации, оценки и оптимизации структур сложных систем.

В результате проведенного исследования были предложены:

- графоаналитическая модель оценки степени организации структуры информационной системы предприятия на основе метода главных компонент, при помощи которой учитываются такие показатели топологических свойств графов, как связность, компактность, однородность вершин и ребер, ацикличность и централизация;

- графоаналитическая модель оценки степени взаимодействия в структуре информационной системы предприятия, при помощи которой учитываются такие показатели топологических свойств графов, как турнирность, разряженность, достижимость, упорядоченность, контурность и влиятельность с применением метода главных компонент;

- алгоритм экономической оценки вариантов структуры информационной системы предприятия.

Список литературы

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том I. Теория вероятностей и прикладная статистика. М.: Юнити-Дана, 2001. — 656 с.
2. Андерсон Дж. Дискретная математика и комбинаторика. М.: Вильямс, 2004. — 960 с.
3. Багдасарян А. Г. Общая структура информационной экспертной системы моделирования и анализа сложных иерархических систем в контуре управления // Управление большими системами: сборник научных трудов. 2008. №21. С. 58–70.
4. Везенов В. А. Метод оценки качества структур информационно-вычислительных систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2006. № 18. С. 90–94.
5. Волкова В. Н., Голуб Ю. А. Информационная система: к вопросу определения понятия // Прикладная информатика. 2009. №5. С. 112–120.
6. Жигульский К. В., Кравец О. Я., Соляник А. И. Проектный подход к построению структурной модели распределенного предприятия // Управление большими системами: сборник научных трудов. 2008. №22. С. 207–222.
7. Ищенко М. А. Задача синтеза структуры автоматизированных информационных систем // Инженерная физика. 2009. №5. С. 38–40.
8. Котляров И. Д. Сущность аутсорсинга как организационно-экономического явления // Компетентность. 2012. №5. С. 28–35.

9. Кузнецова В. Л., Раков М. А. Самоорганизация в технических системах. Киев: Наукова думка, 1987. — 200 с.
10. Лепешкин О. М., Корсунский А. С. Оптимизация структуры комплекса информационно-технических средств в автоматизированных системах управления // Автоматизация процессов управления. 2011. №4. С. 76–81.
11. Орлов С. П. Моделирование структур сложных информационно-измерительных систем // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2005. №33. С. 251–254.
12. Прокимов Н. Н. Структурно-функциональное моделирование деловых процессов // Прикладная информатика. 2011. №5. С. 25–38.
13. Тарзанов В. В., Стельмашонок В. Л. Графоаналитическое моделирование структур сложных систем. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2006. — 96 с.
14. Харари Ф. Теория графов. М.: Мир, 1973. — 300 с.

V. Bugorsky, *Cand. Sc. (Economics), Professor, Chair of Computer Systems and Programming, St. Petersburg State University of Economics, vitaminew@gmail.com*

E. Stelmashonok, *Dr. Sc. (Economics), Professor, Head of the Chair of Computer Systems and Programming, St. Petersburg State University of Economics, vitaminew@gmail.com*

V. Stelmashonok, *Cand. Sc. (Economics), Associate Professor, Chair of the Organization Management, St. Petersburg State University of Economics, vitaminew@gmail.com*

Evaluating the enterprise information system structure using graph-analytical models

The present paper is dedicated to application of the grapho-analytical methods and economic-mathematical models in order to ensure optimal configuration (from the economical point of view) of the structure of corporate information system. Methods of the graph theory are used in order to build indexes of topology and interaction of the structure. A complex index of quality of structure of corporate information system is proposed. It is demonstrated that it is necessary to use both technical and economical approaches in order to correctly assess the structure of information system.

Keywords: information system, structure, grapho-analytical method, topological features, economical assessment.