

Andreev Vyacheslav Gennadevich
E-mail: mshm04@mail.ru.
11, 3 Line, Taganrog, 347904, Russia.
Phone: +79508682027.
The Department of Economics; Postgraduate Student.

УДК 338-001.57

О.А. Берёза

СИМПЛИЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОГНИТИВНЫХ КАРТ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматриваются основные понятия и определения, связанные с топологией региональных социально-экономических систем. Представлена теория связности для анализа q -связности – многомерных цепей связей симплексов в комплексе, отражающем когнитивную структуру социально-экономической системы региона. Приведен пример анализа q -связности структуры системы, позволяющий сделать вывод: система обладает достаточной степенью q -связности, что свидетельствует о принципиальной возможности управлять ею.

Когнитивная карта; анализ q -связности; симплицальный комплекс; симплекс; социально-экономическая система.

O.A. Bereza

SIMPLICIAL ANALYSIS OF COGNITIVE CARDS OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

In work the basic concepts and the definitions connected with topology of regional social and economic systems are considered. The theory of connectivity for the q -analysis – multidimensional chains of communications simplex in a complex reflecting cognitive structure of socio-economic system of region is presented. The example of the analysis of q -connectivity of structure of the system is resulted, allowing to draw a conclusion: the system processes sufficient degree of q -connectivity that testifies to basic possibility to operate it.

Cognitive card; q -analysis; simplicial complex; simplex; socio-economic system.

В настоящее время структурный анализ является одним из важнейших этапов исследования сложных систем, таких как социально-экономические и политические. Это вызвано тем, что с усложнением структуры самих систем возрастают требования к результатам анализа, влияющим на организацию взаимодействия подсистем системы, на повышение качества управленческих решений. Изучение структуры важно для выявления закономерностей существования и развития систем, выявление таких особенностей и недостатков исследуемых структур, которые требуют повышенного внимания не только исследователя, но и лица, принимающего решения. На этапе структурного анализа формируется первоначальное представление об изучаемой системе, которое влияет на определение и объяснение многих характеристик систем. Важнейшими среди них являются структурная устойчивость и сложность организации системы, значимость ее элементов, слабые места системы.

Исследования связности и сложности социально-экономической системы необходимо лицу, принимающему решение, для решения задач о возможности ее управления, выбора способов управления, оценки условий, необходимых для реализации управления. Когнитивные карты позволяют исследовать некоторые аспекты структурной сложности, которые определены связностью систем. Кроме того,

когнитивные модели в определенной степени дают возможность анализировать динамическую сложность. На все эти исследования накладываются проблемы вычислительной сложности, которые в настоящее время преодолеваются созданием информационных систем поддержки управленческих решений [7].

Связность и сложность являются определяющими понятиями «система», которыми и являются социально-экономические системы. Анализ связности и сложности необходим для решения задач о возможности управления системой, выбора способов управления, оценки условий, необходимых для реализации управления. Слабосвязная система допускает автономное управление факторами. Это может иметь как положительные, так и отрицательные стороны из-за несоблюдения принципа системности.

Различные концепции связности отражают единую тенденцию – выявление существенных, функционально-значимых связей системы, нарушение или возникновение которых меняет существенно или не очень возможности достижения поставленных перед системой целей, возможности выполнения ее миссии, просто возможности функционировать.

В диссертационном исследовании для анализа связности системы взаимодействия территориальной рекреационной системы с внешней средой предлагается использовать анализ q -связности системы.

Структура является связной, если возможен обмен ресурсами между любыми двумя подсистемами системы (предполагается, что если есть обмен i -й подсистемы с j -й подсистемой, т.е. и обмен j -й подсистемы с i -й).

Методика анализа q -связности позволяет судить о связности системы более глубоко, нежели традиционные исследования связности графа, поскольку при этом устанавливается наличие взаимовлияния симплициальных блоков системы через цепочку связей между ними. На основании таких возможностей предлагаются формализованные правила обоснования выбора целевых и управляющих вершин, определение устойчивости систем, характеризуемых теми или иными симплициальными комплексами, условия структурной устойчивости систем. Определение числа симплексов и их структуры, анализ q -связности системы позволяет выдвигать обоснования для решения задач декомпозиции и композиции изучаемой системы, выявлять симплексы, более всего влияющие на процессы в системе и образующие вершины, которые рациональнее выбирать в качестве управляющих [4].

В полиэдральном анализе система рассматривается в виде отношения между элементами конечных множеств – множества вершин V и заданного семейства непустых подмножеств этих вершин – симплексов σ . Множества вершин и соответствующих им симплексов образуют симплициальные комплексы K . Для их построения используется структура системы, заданная в виде графа $G = \langle V, E \rangle$, $V = \{v_i, v_i\}$, $E = \{e_{ij}\}$, $i, j = 1, 2, \dots, k$. Структура системы служит основанием для геометрического и алгебраического ее представления как симплициального комплекса. Любое отношение λ в системе представляется таким образом, что множество элементов, относимых к конкретному элементу v_i (вершине, концепту графа), трактуется как симплекс $\sigma^{(i)}$, а их совокупность образует симплициальный комплекс K .

Рассмотрим основные понятия и определения, связанные с симплициальными комплексами.

Пусть для некоторой системы S задана когнитивная карта G в виде матрицы соответствия Λ . Обозначим $x_i \in X$, $i = 1, 2, \dots, m$ – переменные в строках, $y_j \in Y$, $j = 1, 2, \dots, n$ – переменные в столбцах матрицы Λ . Граф отражает непосредственное влияние переменных x_i на y_j в соответствующих вершинах матрицы Λ , взаимодействие между элементами (подсистемами) x_i и y_j будет определяться недиагональными

элементами матрицы. Поэтому анализ связности структуры должен сосредотачиваться на изучении степени заполненности матрицы Λ и значимости ее элементов. С этих позиций понятие связности системы является алгебраическим понятием, хотя для понимания связности структуры необходимо привлекать не только алгебру, но и топологию. В системе S существуют более глубокие структурные связи, которые можно вскрыть, анализируя отношение $\Lambda = [\lambda_{ij}]$. С геометрической точки зрения отношение Λ определяет симплициальный комплекс.

Симплекс обозначим $\delta_q^{(i)}$, где i – номер вершины, а q – геометрическая размерность симплекса. Число q определяется числом дуг, соединяющих вершины y_j в симплексе через переменную x_i . Число q (число дуг, инцидентных y_j) на единицу меньше числа единиц («1») в соответствующей i -строке матрицы Λ .

Перейдем еще к одному отношению, порождаемому Λ , к сопряженному отношению Λ^* . Последнее получается, если поменять ролями множества X и Y , т.е. $\Lambda^* = Y^*X$, $\Lambda^* = [\lambda^*_{ij}]$ и транспонировать матрицу Λ , т.е. $\Lambda^* = \Lambda^T$. Отношение Λ^* существует между y_j и x_i тогда и только тогда, когда между x_i и y_j существует отношение Λ . В результате получаем симплициальный комплекс $K_y(X, \lambda^*)$, в котором: X – множество вершин, а Y – множество симплексов. Иногда комплекс $K_y(X, \lambda^*)$ может быть более содержательным, чем $K_x(Y, \lambda)$.

Симплициальный комплекс является математическим обобщением планарного графа, который отражает многомерную природу рассматриваемого бинарного отношения. Поскольку симплициальный комплекс – это семейство симплексов, соединенных посредством общих граней (в том числе, общей вершиной – точкой), то характеристикой связности может служить размерность грани, общей двум симплексам. Но поскольку существует комплекс как целое, то для анализа связности используется понятие «цепь связи».

Цепь связи отражает возможность того, что два симплекса, непосредственно не имея общей грани, могут быть связаны при помощи последовательности промежуточных симплексов.

Понятие цепи связи – q -связность – формулируется следующим образом: два симплекса σ_r и σ_p (r, p – геометрические размерности q соответствующих симплексов) комплекса K соединены цепью q -связи, если существует последовательность симплексов $\sigma_{\alpha q}$, $q = 1, 2, \dots, n$ в K такая, что

$\sigma_{\alpha q}$ – грань σ_r ,

$\sigma_{\alpha n}$ – грань σ_p ,

$\sigma_{\alpha q}$ и $\sigma_{\alpha q+1}$ – обладают общей гранью размерностью β для $q = 1, 2, \dots, n-1$;

$q = \min\{r, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, p\}$.

Нижний индекс симплекса соответствует его геометрической размерности, т.е. $\dim \sigma_i = i$. Показано, что q -связность порождает отношение эквивалентности на симплексах комплекса K и поэтому задача изучения глобальной структуры связности комплекса K сводится к изучению q -классов эквивалентности. Для каждого значения размерности $q = 0, 1, 2, \dots, \dim K$ можно определить число различных классов эквивалентности Q_q .

q -анализом симплициального комплекса K называется операция определения числа его различных классов эквивалентности, а вектор $Q = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_1, Q_0\}$ – первым структурным вектором комплекса.

Для выявления существенных, функционально значимых связей функционирования территориальной рекреационной системы на региональном уровне проведем анализ q -связности структуры когнитивной карты G [1]. Для этого воспользуемся алгоритмом анализа q -связности [5].

1. Подсчет единиц в каждой i -строке, $i=1, 2, \dots, m$ и вычисление размерности симплексов комплекса $K_x(Y; \lambda)$:

$$q - q^{(i)} = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} - 1$$

- $X_0: \sigma^{(0)}_6, q=7-1=6; \quad X_1: \sigma^{(1)}_3, q=4-1=3;$
 $X_2: \sigma^{(2)}_4, q=5-1=4; \quad X_3: \sigma^{(3)}_2, q=3-1=2;$
 $X_4: \sigma^{(4)}_2, q=3-1=2; \quad X_5: \sigma^{(5)}_2, q=3-1=2;$
 $X_6: \sigma^{(6)}_1, q=2-1=1; \quad X_7: \sigma^{(7)}_3, q=4-1=3;$
 $X_8: \sigma^{(8)}_3, q=4-1=3; \quad X_9: \sigma^{(9)}_4, q=5-1=4;$
 $X_{10}: \sigma^{(10)}_3, q=4-1=3; \quad X_{11}: \sigma^{(11)}_4, q=5-1=4;$
 $X_{12}: \sigma^{(12)}_0; q=1-1=0.$

2. Подсчет единиц в каждом j -столбце и вычисление размерности симплексов комплекса $K_y(X; \lambda^*)$:

$$q - q^{(j)} = \sum_{i=1}^m \lambda_{ij} - 1$$

- $Y_0: \sigma^{(0)}_6, q=7-1=6; \quad Y_1: \sigma^{(1)}_4, q=5-1=4;$
 $Y_2: \sigma^{(2)}_7, q=8-1=7; \quad Y_3: \sigma^{(3)}_5, q=6-1=5;$
 $Y_4: \sigma^{(4)}_1, q=2-1=1; \quad Y_5: \sigma^{(5)}_1, q=2-1=1;$
 $Y_6: \sigma^{(6)}_8, q=9-1=8; \quad Y_7: \sigma^{(7)}_2, q=3-1=2;$
 $Y_8: \sigma^{(8)}_3, q=4-1=3; \quad Y_9: \sigma^{(9)}_0, q=1-1=0;$
 $Y_{10}: \sigma^{(10)}_0, q=1-1=0; \quad Y_{11}: \sigma^{(11)}_{-1}, q=0-1=-1;$
 $Y_{12}: \sigma^{(12)}_1; q=2-1=1.$

3. Преобразование матриц.

Преобразование матрицы Λ в ${}^{(1)}\Lambda$ – упорядочивание i -строк сверху вниз по правилу: $q^{(i)}_1 > q^{(i)}_2 > q^{(i)}_3 > \dots > 0 > -1$ (*):

| | V0 | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 | V8 | V9 | V10 | V11 | V12 | q |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|---|
| V0 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 6 |
| V2 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | 4 |
| V9 | | | 1 | 1 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | 4 |
| V11 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | | | | | 4 |
| V1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | | 3 |
| ${}^{(1)}\Lambda=$ V7 | 1 | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | | | 3 |
| V8 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | | 3 |
| V10 | | | 1 | | | | | | 1 | 1 | | | 1 | 3 |
| V5 | | | | 1 | | | 1 | | 1 | | | | | 2 |
| V3 | 1 | | 1 | | | | 1 | | | | | | | 2 |
| V4 | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | | | | 2 |
| V6 | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| V12 | 1 | | | | | | | | | | | | | 0 |

Преобразование матрицы ${}^{(1)}\Lambda$ в ${}^{(2)}\Lambda$ – упорядочивание j -столбцов слева направо по правилу: $q^{(i)}_1 > q^{(i)}_2 > q^{(i)}_3 > \dots > 0 > -1$ (**):

| | V6 | V2 | V0 | V3 | V1 | V8 | V7 | V4 | V5 | V12 | V9 | V10 | V11 | $q^{(i)}$ |
|------------------------------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----------|
| ${}^{(1)}\Delta \rightarrow$ | V0 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | | 6 |
| ${}^{(2)}\Delta =$ | V2 | 1 | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | 4 |
| | V9 | | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 | | 1 | | 4 |
| | V11 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | 4 |
| | V1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | 3 |
| | V7 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | 3 |
| | V8 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 3 |
| | V10 | | 1 | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | 3 |
| | V5 | 1 | | | 1 | 1 | | | | | | | | 2 |
| | V3 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 2 |
| | V4 | 1 | | | 1 | | | 1 | | | | | | 2 |
| | V6 | | 1 | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| | V12 | | | 1 | | | | | | | | | | 0 |
| | $q^{(i)}$ | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | -1 | |

4. Построение симплициальных комплексов.

Построение комплекса $K_x(Y; \lambda) = \{\delta_q^{(i)}\}$; последовательность симплексов $\delta_q^{(i)}$ упорядочена по правилу (*) убывания их размерности. Симплициальный комплекс $K_x(Y; \lambda) = \{\sigma_6^{(0)}; \sigma_4^{(2)}; \sigma_4^{(9)}; \sigma_4^{(11)}; \sigma_3^{(1)}; \sigma_3^{(7)}; \sigma_3^{(8)}; \sigma_3^{(10)}; \sigma_2^{(5)}; \sigma_2^{(3)}; \sigma_2^{(4)}; \sigma_1^{(6)}; \sigma_0^{(12)}\}$ представим на плоскости в одной из его проекций (рис. 1), где вершины определены через соответствующие переменные y_j , которые взаимосвязаны через определяющие их x_i .

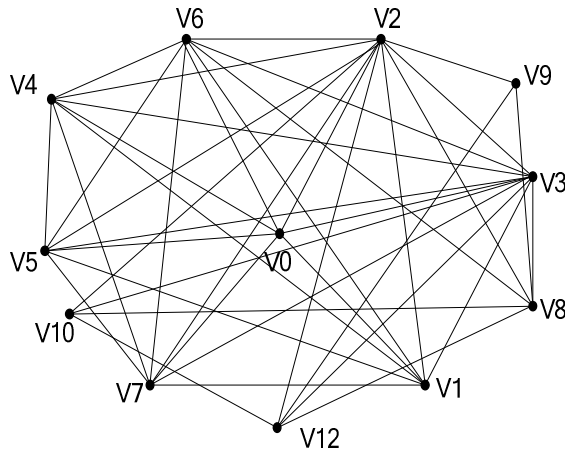


Рис. 1. Графическое изображение симплициального комплекса $K_x(Y; \lambda)$

Построение комплекса $K_x(Y; \lambda) = \{\delta_q^{(i)}\}$; последовательность симплексов $\delta_q^{(i)}$ упорядочена по правилу (**) убывания их размерности. Симплициальный комплекс $K_y(X, \lambda^*) = \{\sigma_8^{(6)}; \sigma_7^{(2)}; \sigma_6^{(0)}; \sigma_5^{(3)}; \sigma_4^{(1)}; \sigma_3^{(8)}; \sigma_2^{(7)}; \sigma_1^{(4)}; \sigma_1^{(5)}; \sigma_1^{(12)}; \sigma_0^{(9)}; \sigma_0^{(10)}\}$. Пустой симплекс $X_{11}: \delta_{-1}^{(11)}$; $q = 0-1 = -1$ не принадлежит комплексу. Графическое изображение проекции комплекса $K_y(X, \lambda^*)$ представлено на рис. 2.

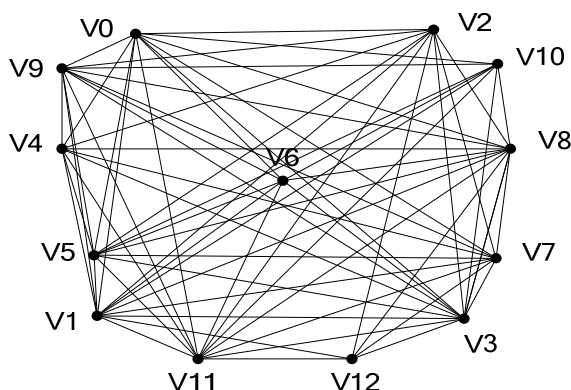


Рис. 2. Графическое изображение симплицального комплекса $K_x(Y; \lambda^*)$

5. Определение по матрице ${}^{(2)}\Lambda$ первого структурного вектора $Q_x = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_q, \dots, Q_1, Q_0\}$ комплекса $K_x(Y; \lambda)$.

Для каждой размерности $q^{(i)}$ количество симплексов в каждом классе эквивалентности Q_q устанавливается по правилу: если хотя бы одна вершина симплекса не входит в предыдущий симплекс большей размерности, то это отдельный класс (т.е. если хотя бы одна единица i -строки не входит в предыдущие строки $i-1, i-2, \dots, 1$, то соответствующий этой строке симплекс образует отдельный класс эквивалентности).

Получим нижеследующие значения связностей для $K_x(Y; \lambda)$:

| | | |
|------------|-----------|--|
| q=6 | $Q_6=1$ | $\{x_0\}$ |
| q=5 | $Q_5=1$ | $\{x_0\}$ |
| q=4 | $Q_4=4$, | $\{x_0\} \{x_2\} \{x_9\} \{x_{11}\}$ |
| q=3 | $Q_3=5$, | $\{x_0\} \{x_2; x_7\} \{x_9\} \{x_{11}; x_8; x_1\} \{x_{10}\}$ |
| q=2 | $Q_2=6$, | $\{x_0\} \{x_2; x_7\} \{x_9\} \{x_{11}; x_8; x_1; x_3\} \{x_4; x_5\} \{x_{10}\}$ |
| q=1 | $Q_1=2$, | $\{x_0\} \{x_2; x_7\} \{x_9\} \{x_{11}; x_8; x_1; x_3\} \{x_4; x_5\} \{x_{10}\} \{x_6\}$ |
| q=0 | $Q_0=1$, | $\{\text{все}\}$ |

Структурный вектор комплекса $K_x(Y; \lambda)$ равен $Q_x = \{1145621\}$. Итак, относительно вершин V (или X – «входов» системы) в строках матрицы R_G комплекс связан для $q = 6, 5, 0$ и не связан для $q = 4, 3, 2$ и 1 . Таким образом, вершина V_0 , которой соответствует симплекс наибольшей размерности, может быть выбрана в качестве управляющей для всей системы. Кроме того, исключение подобных вершин (x_2, x_9, x_{11}) из системы равноценно разрушению системы. Также из анализа видно, что на уровне $q = 3$ появляются связанные компоненты ($\{x_2; x_7\}, \{x_{11}; x_8; x_1\}$). В первом случае это означает, что, внося управляющее воздействие в V_7 (x_7 – характеризует межрегиональный и внешнеэкономический обмен), V_2 (x_2 – экологическая ситуация) отреагирует на это воздействие.

6. Определение по матрице ${}^{(2)}\Lambda$ первого структурного вектора $Q_y = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_q, \dots, Q_1, Q_0\}$ комплекса $K_y(X; \lambda^*)$.

Аналогично первый структурный вектор равен $Q_y = \{123456781\}$:

| | | |
|------------|-----------|---|
| q=8 | $Q_8=1$ | $\{y_6\}$ |
| q=7 | $Q_7=2$ | $\{y_6\} \{y_2\}$ |
| q=6 | $Q_6=3$ | $\{y_6\} \{y_2\} \{y_0\}$ |
| q=5 | $Q_5=4$ | $\{y_6\} \{y_2\} \{y_0\} \{y_3\}$ |
| q=4 | $Q_4=5$, | $\{y_6\} \{y_2\} \{y_0\} \{y_3\} \{y_1\}$ |

| | | |
|-------------|----------|---|
| q=3, | $Q_3=6,$ | $\{y_6\} \{y_2\} \{y_0\} \{y_3\} \{y_1\} \{y_8\}$ |
| q=2, | $Q_2=7,$ | $\{y_6\} \{y_2\} \{y_0\} \{y_3\} \{y_1\} \{y_8\} \{y_7\}$ |
| q=1, | $Q_1=8,$ | $\{y_6\} \{y_2\} \{y_0\} \{y_3\} \{y_1\} \{y_8; y_{12}\} \{y_7; y_4\} \{y_4; y_5\}$ |
| q=0, | $Q_0=1,$ | {все, за исключением y_{11} } |

Относительно вершин V или Y-«выходов» системы (целевых факторов) видим, что комплекс связан для больших и малых значений q, а для промежуточных значений он распадается на несколько несвязных компонент. Из проведенного анализа видно, что наибольшее значение для исследуемой системы играют вершины V6 (Y_6 – уровень жизни) и V2 (Y_2 – экологическая ситуация).

Итак, проведенный симплициальный анализ свидетельствует об управляемости исследуемой системы, в которой федеральные органы власти могут быть выбраны в качестве управляющих для всей системы в целом и для малого элемента системы в частности. Кроме того, наибольшее значение в качестве целевых факторов приобретают экологическая ситуация и уровень жизни населения.

С понятием связности тесно переплетается понятие сложности системы. Сложность системы также влечет за собой проблемы сложности анализа длинных причинно-следственных путей и циклов, а также сложности управления. Сложность модели отражает тип неопределенности, который не поддается обработке вероятностными методами [3].

Важнейшими характеристиками процессов, протекающих в территориальной рекреационной системе и социально-экономической среде региона является устойчивость. Именно с выявления подобных эффектов функционирования территориальной рекреационной системы следует начинать анализ динамики исследуемой модели.

Исследование проблем устойчивости непосредственно связано с распространением возмущений в системе. Основным является вопрос: будет ли поведение исследуемой системы существенно меняться в результате изменений в режиме управления (устойчиво выполнять свои функции). Исследуется устойчивость по возмущению и устойчивость по значению. Для решения вопроса об устойчивости по возмущению необходимо вычислить максимальный по модулю корень характеристического уравнения матрицы A, если этот корень лежит вне круга единичного радиуса матрицы, то модель не будет устойчива по возмущению. Модель устойчива по начальному значению для любого процесса распространения возмущения в том и только в том случае, если модель устойчива по возмущению и единица не является характеристическим значением, т.е. устойчивость по начальному значению определяется путем исследования характеристических значений модели, т.е. корней уравнения матрицы взаимосвязи A [6].

Классическая устойчивость характеризует близость реального состояния объекта к состоянию равновесия, а также необходимое усилие для вывода системы из состояния равновесия или возвращения его в таковое. Уровень структурной устойчивости характеризует обобщенные сведения о степени устойчивости системы или отдельных ее элементов к внешним и внутренним возмущениям заданной природы. Свойство структурной устойчивости состоит в том, что рассматриваемая система ведет себя почти так же, как и близкие к ней; в противоположном случае – система структурно неустойчива. Систему называют структурно устойчивой, если топологический характер траекторий всех близких к ней систем такой же, как и у стандартной системы [1].

Анализ структурной устойчивости проводится путем выделения в когнитивной карте четных и нечетных циклов. Четный цикл имеет положительное произведение знаков всех входящих в него дуг, нечетный – отрицательное.

Четный цикл является простой моделью структурной неустойчивости, так как любое начальное изменение параметра в любой его вершине ведет к неограниченному росту модуля параметров вершин цикла, а любое изменение параметра любой вершины нечетного цикла ведет к осцилляции параметров вершин.

Вершина $v_i \in V$ знакового (взвешенного знакового, функционального знакового) орграфа является импульсно устойчивой для некоторого заданного импульсного процесса, если последовательность абсолютных величин импульсов в этой вершине $\{|P_i(n)|; n = 0, 1, \dots\}$ ограничена.

Вершина x_i является абсолютно устойчивой для некоторого заданного импульсного процесса, если последовательность абсолютных величин параметров в этой вершине $\{|x_i(n)|; n = 0, 1, \dots\}$ ограничена.

Знаковый орграф называется импульсно (абсолютно) устойчивым для данного импульсного процесса, если каждая его вершина является импульсно (абсолютно) устойчивой в этом импульсном процессе.

Резонанс – явление импульсной неустойчивости знакового орграфа в простых импульсных процессах, возникающее вследствие взаимодействия циклов обратной связи. Резонанс – это единственно возможный случай импульсной неустойчивости простых импульсных процессов.

Знаковый орграф, не содержащий циклов или содержащий лишь один цикл, импульсно устойчив для всех простых импульсных процессов. Знаковый орграф, содержащий только не взаимодействующие между собой циклы, импульсно устойчив во всех простых импульсных процессах. Несовпадающие циклы C_1 и C_2 знакового орграфа $G = (V, E)$ взаимодействуют, если выполняется хотя бы одно из следующих двух условий: $\exists e \in E$ такая, что $((e \in C_1) \& (e \in C_2))$, существует мост между C_1 и $C_{2,k}$ либо между C_2 и C_1 .

Проверку импульсной устойчивости можно провести, определяя собственные значения матрицы инцидентий A . Но этот метод не дает способа нахождения рациональных стратегий управления для избежания резонанса [9].

При изучении связной устойчивости задача формулируется так: останется ли состояние равновесия данной системы устойчивым вне зависимости от двойных связей между состояниями системы.

Как известно, при исследовании устойчивости взвешенного ориентированного графа исследуется устойчивость по значению и устойчивость по возмущению системы по мере ее эволюции.

Алгебраический критерий устойчивости по возмущению и начальному значению определяется связью устойчивости графа с его топологической структурой. Пусть матрица взаимосвязи A для взвешенного орграфа определена следующим образом: $A = [a_{ij}]$, $a_{ij} = f(v_i, v_j)$, $i, j = 1, 2, \dots, k$, где V_i, V_j – вершины графа, $f(v_i, v_j)$ – весовая функция.

Характеристические значения графа определяются как собственные значения матрицы A . Связь между значением $u_j(t)$ в каждой вершине в момент t , изменением значения $p_j(t)$ и матрицей A , дается следующей теоремой о распространении возмущения.

Для простого процесса распространения возмущения, начинающегося в вершине V_i , имеем: $p_j(t) = [A^t]_{ij}$, $U_j(t) = U_j(0) + [I + A + A^2 + \dots + A^t]_{ij}$, где A – матрица взаимосвязи для данного орграфа, $[\cdot]_{ij}$ – элемент соответствующей матрицы, стоящий на пересечении i -строки и j -столбца.

Теорема об устойчивости по возмущению: взвешенный орграф G , значения характеристики которого различны, устойчив по возмущению для любого процесса распространения возмущения в том и только в том случае, если каждое характеристическое значение G по модулю не превосходит единицы [8].

В модели процессов, рассматриваемых на когнитивных моделях должно присутствовать время, но при моделировании разными типами графов это время может не иметь смысла времени, а отражать только последовательность изменений состояний в некотором временном пространстве T . Последовательность моментов времени $\{t_n\}$ – моменты, выделенные в пространстве T по определенным правилам, для которых заданы воздействия на систему и правила изменения состояний системы. Изменения состояний системы происходят мгновенно.

Импульс (Imp) (возмущение) $P_v(t)$ в вершине $v \in V$ в момент времени $t \in T$ – это изменение параметра в этой вершине в момент времени t : $P_v(t) = X_v(t_+) - X_v(t)$

Внешний импульс в момент t – совокупность $Q(t) = \{Q_v(t), v \in V\}$.

Модель импульсного процесса – это кортеж: $\langle \Phi, Q, A \rangle$, где Φ – Φ -граф, $\Phi = \langle (V, E), X, W \rangle$, $Q = Q(t_n)$ – последовательность возмущающих воздействий, A – правило изменения параметров.

Рассмотрим различные правила изменения параметров в вершинах графа.

Правило (A) изменения параметров в вершинах в момент t_{n+1} без поступления внешних импульсов. Пусть параметр x_i зависит от времени, т.е. $x_i(t)$, $t = 1, 2, 3, \dots$. Тогда можно определить процесс распространения возмущения по графу. В общем случае, если имеется несколько вершин V_j , смежных с V_i , процесс распространения возмущения по графу определяется правилом:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j=1}^{k-1} f(x_i, x_j, e_{ij}) p_j(t),$$

при известных начальных значениях $X(0)$ во всех вершинах и начальном векторе возмущения $P(0)$. Моделирование можно проводить шагами или импульсами. В одной из вершин графа задается определенное изменение. Эта вершина актуализирует всю систему показателей, т.е. связанных с ней вершин, в большей или меньшей степени. Таких вершин может быть несколько.

Функцию $p_j(t)$ влияния изменения в смежной с V_j вершине V_i заменим импульсом $p(n) = x(n+1) - x(n)$, где $x(n)$, $x(n+1)$ – величины показателя в вершине V при шагах имитации в момент $t = n$ и следующим за ним $t = n+1$. При этом формула преобразуется к виду

$$x_i(n+1) = x_i(n) + \sum_{j=1}^{k-1} \lambda_{ji} \omega_{ji} [x_j(n+1) - x_j(n)],$$

В этих моделях коэффициенты ω_{ji} , взаимовлияния смежных вершин, определяются статистическими методами; λ_{ji} характеризует знак «+» или «-».

Правило (A) изменения параметров в вершинах момент t_{n+1} , если в момент времени t_n в вершины поступили импульсы Q_i :

$$x_i(t_{n+1}) = x_i(t_n) + \sum_{v_j: e=e_{ij} \in E}^{k-1} f(x_i, x_j, e_{ij}) P_j(t_n) + Q_i(t_{n+1}).$$

Импульс, порожденный изменением параметра в вершине:

$$P_{v_i}(t_{n+1}) = \sum_{v_j: e=e_{ij} \in E}^{k-1} f(x_i, x_j, e_{ij}) P_j(t_n) + Q_i(t_{n+1}).$$

Так как в Φ -графе импульс в импульсном процессе представляется упорядоченной последовательностью без привязки ко времени, то можно использовать запись формул «в n -й момент времени». Тогда

$$x_{v_i}(n+1) = x_{v_i}(n) + \sum_{v_j: e=e_{ij} \in E}^{k-1} f(x_i, x_j, e_{ij}) P_j(n) + Q_i(n+1),$$

$$P_{v_i}(n+1) = \sum_{v_j: e=e_{ij} \in E}^{k-1} f(x_i, x_j, e_{ij}) P_j(n) + Q_i(n+1).$$

Модель импульсных процессов может быть представлена в матричном виде (на знаковых графах).

Пусть $Q_t = \{q_{it}\}_{i=1}^k$, $t = 0, 1, 2, \dots$, – вектор внешних импульсов q_{it} , вносимых в вершины V_i в момент времени t ; $X_t = \{x_{it}\}_{i=1}^k$, $t = 0, 1, 2, \dots$, – вектор значений параметров x_{it} вершин V_i в момент времени t ; $R_t = \{\Delta_{it}\}_{i=1}^k$, – вектор параметров вершин в момент времени t , который задается уравнением: $R_t = X_t - X_{t-1}$, $t = 1, 2, 3, \dots$

Изменения параметров вершин задаются следующим уравнением: $X_t = X_{t-1} + AR_{t-1} + Q_{t-1}$.

Выражение для R_t : $R_t = A_{t-1}Q_0 + A_{t-2}Q_1 + \dots + AQ_{t-2} + IQ_{t-1}$, где I – единичная матрица.

Для частного случая импульсных процессов, называемых автономными, внешние импульсы вносятся только один раз в начале моделирования.

Вариант распространения возмущения, когда $P(0)$ имеет лишь один ненулевой вход, т.е. возмущение поступает только в одну вершину V_i . Такие процессы называют простыми процессами распространения возмущений [10].

Таким образом, для каждого цикла и их совокупности определяется их свойство устойчивости. Анализ структурной устойчивости проводится путем выделения в когнитивной карте четных и нечетных циклов. Четный цикл имеет положительное произведение знаков всех входящих в него дуг, нечетный – отрицательное. Четный цикл же является простой моделью структурной неустойчивости, так как любое начальное изменение параметра в любой его вершине ведет к неограниченному росту модуля параметров вершин цикла, а любое изменение параметра любой вершины нечетного цикла ведет к осцилляции параметров вершин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев Ю.В., Шпилев Б.Е. Устойчивость и устойчивое развитие. Регион: теория и практика устойчивого развития. – М., 1998.
2. Берёза О.А. Основные принципы и аспекты исследования устойчивого развития региональной туристско-рекреационной системы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 4 (105). – С. 7-13.
3. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. – СПб., 1998.
4. Горелова Г.В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, С.А. Радченко. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2006. – 334 с.
5. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Гинис Л.А. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2005. – 280 с.
6. Захарова Е.Н. Анализ симплицальных структур когнитивных карт социотехнических систем // Сб. трудов 4-й Междунар. конфер. «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» «CASC 2004». – М.: Изд-во ИПУ РАН, 2004. – Т. 1. – С. 66-76.
7. Кастри Дж. Большие системы: связность, сложность и катастрофы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 216 с.

8. Корноушенко Е.К., Максимов В.И. Управление ситуацией с использованием структурных свойств ее когнитивной карты // Труды 1-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуации». – М.: ИПУ РАН, 2001.
9. Матросов В.М. Показатели и элементы знаний логико-математических моделей для комплексного исследования безопасности и перехода страны к устойчивому развитию. Из кн. Новая парадигма развития России (комплексные проблемы устойчивого развития) // Под. ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. – М.: Изд-во “Академия”, Изд-во МГУК, 1999. – С. 412-422.
10. Яковлев С.А. Моделирование систем / С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001.

Статью рекомендовала к опубликованию д.э.н., профессор Е.Н. Захарова.

Берёза Ольга Анатольевна

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: bereza_olya@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634311426.

Кафедра государственного и муниципального права и управления; ассистент.

Bereza Olga Anatolievna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: bereza_olya@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634311426.

The Department of State and Municipal Legislation and Administration; Assistant.

УДК 519.7:004.4

Н.Н. Бричеева, Л.В. Шаронина

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО БЮДЖЕТИРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ BSC**

Предлагается методология автоматизации процесса построения стратегически ориентированной системы бюджетного управления предприятием на основе интеграции Системы сбалансированных показателей BSC, Системы управления бизнес-процессами BPMS и методики Процессно-ориентированного бюджетирования ABB. Разработан комплекс математических моделей, позволяющий на основе единого подхода формализовать представление холархической структуры стратегических целей и показателей KPI согласно концепции BSC и иерархической структуры взаимосвязанных BSC-бюджетов, консолидируемых в сводные стратегические бюджеты предприятия.

Стратегическое планирование; бюджетирование; система сбалансированных показателей; метод анализа иерархий; ключевые показатели эффективности; система управления бизнес-процессами.

N.N. Bricheeva, L.V. Sharonina

AUTOMATION OF THE STRATEGIC CONCEPT BASED BUDGETING BSC

The methodology of construction process automation of strategically focused system of budgetary business operation on the Balanced Scorecard (BSC), Business Process Management System (BPMS) and techniques of Activity-Based Budgeting (ABB) is offered. Mathematical models complex