УДК 519.711.3

СТРАТЕГИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА МЕТОДОЛОГИЙ ПРЕДВИДЕНИЯ И КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ[1]

М.З. ЗГУРОВСКИЙ, В.А. ПАНКРАТОВ

Предложена стратегия и ее реализация инновационного развития региона на основе синтеза методологий предвидения и когнитивного моделирования. Привлечение на первом этапе реализации стратегии методологии предвидения позволяет с помощью экспертного оценивания выявить критические технологии и построить альтернативы сценариев с количественными значениями характеристик. Полученные характеристики являются исходными данными для начальной итерации когнитивного моделирования. Использование когнитивных графовых моделей позволяет построить обоснованный сценарий, что делает их практически незаменимым инструментом в аналитической поддержке стратегического планирования развития на уровне компании, мегаполиса, региона. Предлагаемая стратегия открывает уникальную возможность в рамках единого программно-аналитического комплекса решать задачи стратегического планирования и оперативного реагирования. Приведен пример построения сценария на уровне инновационного развития региона.

ВВЕДЕНИЕ

При построении стратегии инновационного развития больших социо-экономических систем на уровне мегаполиса, большого предприятия или региона во многих странах мира с высоким статусом зарекомендовала себя методология предвидения, которая позволяет ответить на вопрос «Что будет, если?» и построить альтернативы научно обоснованных сценариев. В соответствии с методологией предвидения [1] на последнем этапе процесса принятия решения ЛПР предлагаются 3–4 альтернативы сценариев, которые, в общем случае, представляют собой сложные слабоструктурированные проблемы. В настоящее время в рамках методологии предвидения выполнена формализация ряда методов качественного анализа (SWOT-анализ, метод анализа иерархий и его модификации, методы Делфи, перекрестный анализ, морфологический анализ и т.д.), которые стали основой инструментария построения альтернатив сценариев [2]. Для обоснованной реализации того или иного сценария целесообразно привлекать когнитивное моделирование, позволяющее на основании знания и опыта построить причинно-следственные связи, понять и проанализировать поведение сложной

[1]Работа выполнена в рамках совместных научных проектов НАН Украины и Российского фонда фундаментальных исследований.

системы и предложить заказчику научно обоснованную стратегию реализации приоритетного сценария.

Цель работы — разработка стратегии и ее реализация инновационного развития региона на примере исследования экологического состояния Южного берега Крыма (ЮБК) в виде построения объективно обоснованных сценариев на основе синтеза методологий предвидения и когнитивного моделирования.

ТЕХНОЛОГИЯ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Значение понятия «Когнитивное моделирование» вполне соответствует своему названию: «Моделирование познанием» (от англ. слова cognition — познание; узнавание, распознавание). Суть «Моделирования познанием» сводится к сведению субъективных результатов экспертного оценивания к «относительно объективному» виду. По результатам экспертного оценивания формируется так называемая «когнитивная карта» (КК) предметной области: взвешенный ориентированный знаковый граф, вершинами которого являются факторы; ребрами — «связи», взвешанные степени влияния факторов друг на друга [3]. КК можно рассматривать как переход от одномерной науки к многомерной, которая рассматривает не только типы объектов, но и их функциональные связи разной природы.

Привлекая основной принцип системного анализа — декомпозицию сложной проблемы до формализованного уровня, выполняется процесс когнитивного моделирования (КМ), который реализуется в интерактивно-диалоговом режиме. Под когнитивным моделированием понимается решение взаимосвязанных проблем: построение когнитивной модели (карты), обоснование на каждом этапе моделирования устойчивости по значению и по возмущению, структурной устойчивости, учет многофакторных рисков, неопределенности разной природы.

Технология когнитивного моделирования заключается в том, чтобы на основе когнитивных моделей определять возможные и рациональные пути управления ситуацией с целью перехода от исходных состояний к желаемым. Преимуществом когнитивной модели является то, что она позволяет видеть как всю картину в целом, так и детали, интегрировать логику и фантазию, знания и опыт.

В процессе моделирования на каждом этапе построения модели одним из важных вопросов является обоснование достоверности ее построения, что достигается математическим обоснованием устойчивости модели в процессе ее создания [4]. При оценке устойчивости когнитивных моделей требуется, чтобы система при реагировании на изменения окружающей среды сохраняла примерно то же самое равновесное поведение в течение некоторого периода времени. Для оценки устойчивости развития сложной системы принимается система критериев:

1-й критерий. Состояние целостности системы — невыход траектории развития системы на прогнозном интервале времени из некоторого множества безопасных состояний.

2-й критерий. Почти монотонный рост показателей — индикаторов развития объекта на определенном интервале времени с последующим сохранением их в заданных интервалах допустимых значений.

3-й критерий. Попадание траектории развития за определенное время в целевое множество состояний.

4-й критерий. Устойчивость к возмущению, в том числе, асимптотическая устойчивость программной траектории и структурная устойчивость системы.

Оценка устойчивости развития объекта осуществляется на основании первых двух критериев. Эти критерии диктуют выбор определенных показателей (индикаторов) экономической устойчивости объекта исследования, которые будут описывать и характеризовать эволюцию объета исследования, уровень его количественных и качественных параметров в системе статистики. Существенное значение имеют не сами показатели, а их пороговые значения, т.е. предельные величины, неучет значений которых препятствует нормальному ходу развития различных элементов воспроизводства, приводит к формированию негативных, разрушительных тенденций экономической безопасности.

Показатели, по которым определяются пороговые значения, выступают системой индикаторов экономической стабильности, которые являются критериями качества и безопасности жизни человека [5]. В идеальном случае устойчивость развития объекта достигается при условии, что весь комплекс показателей находится в пределах допустимых границ своих пороговых значений, а пороговые значения одного показателя достигаются не в ущерб другим. Все зависимости между показателями устойчивости и их пороговыми значениями следует рассматривать в динамике. В случае массовых «всплесков», присущих рынку, проявляются устойчивые закономерности, которые должны тщательно изучаться.

Процессы распространения возмущений в системе непосредственно связаны с исследованием чувствительности системы, ее устойчивостью, адаптированностью, исследованием возможности нештатных ситуаций. То есть основным вопросом при таких исследованиях является вопрос: будет ли поведение системы существенно изменяться в результате изменений (желаемых, нежелательных, неизвестных, непредсказуемых) в режиме естественного эволюционного развития, а также в режиме управления?

Для разработки рекомендаций по стратегии устойчивого развития объекта используется третий и четвертый критерии. Применение этих критериев требует привлечения знаний из области теории устойчивости, хорошо разработанной для технических и кибернетических систем и находит все большее применение в исследованиях нелинейных экономических систем со второй половины 20-го века.

Вполне очевидно, что при создании когнитивной модели одним из возможных подходов к решению вопроса определения ее «степени объективности» связано с обоснованием «устойчивости» модели.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ. КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ

В данной работе при построении когнитивной модели рассматриваются следующие виды устойчивости: структурная устойчивость, устойчивость по возмущению и устойчивость по значению (численная устойчивость).

Структурная устойчивость. Для исследования структурной устойчивости рассматривается состояние когнитивной карты в виде графа. Циклы графа соответствуют контурам обратной связи: циклы, характеризующие усиление тенденции к отклонению от данного состояния, отвечают контурам положительной обратной связи, а циклы, характеризующие подавление этой тенденции, отвечают контурам отрицательной обратной связи.

Цикл является контуром положительной обратной связи (четным циклом), если он содержит четное число дуг со знаком минус. В противном случае он является контуром отрицательной обратной связи (нечетным циклом). Наличие четного цикла, имеющего положительное произведение знаков всех входящих в него дуг, свидетельствует о структурной неустойчивости рассматриваемой системы, поскольку приводит к неограниченному росту значений в вершинах графа. Изменение значения в какой-либо вершине отрицательной обратной связи имеет отрицательное произведение знаков всех входящих в него дуг и приводит лишь к осцилляции параметров вершин [3], что свидетельствует о структурной устойчивости рассматриваемой системы.

Исследование на структурную устойчивость, т.е. нахождение всех циклов графа, выполняется рекурсивным поиском — перебираются все вершины и все возможные пути, после чего исследуются найденные циклы на четность. В окно программы выводятся все четные циклы графа, а также их количество.

Обоснование критериев устойчивости по возмущению и по значению. Устойчивость графа по возмущению и по значению основывается на понятии процесса распространения возмущения по графу. Обозначим значение в вершине u_i в момент времени t через $v_i(t)$, $i \in [1,n]$, $t = 0,1,\ldots$. Предположим, что значение $v_i(t+1)$ зависит от $v_i(t)$ и от вершин, смежных с u_i. Таким образом, если вершина u_j смежная с u_i и если $p_j(t)$ представляет изменение в u_j в момент времени t, то следует принять, что влияние этого изменения на u_i в момент времени $t+1$ будет описываться функцией $f(u_j,u_i)p_j(t)$, где через $f(u_j,u_i)$ обозначена весовая функция связи между вершинами u_j и u_i [6]. Таким образом, имеем следующее правило распространения возмущения:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + \sum_{j=1}^{N} f(u_j,u_i)p_j(t) \quad \forall i = \overline{1,n}, \tag{1}$$

$$p_j(t+1) = \nu_j(t+1) - \nu_j(t).$$

Вершина называется устойчивой по возмущению, если последовательность $\{|p_j(t)|\}_{t=1}^{\infty}$ ограничена, а устойчивой по значению, если последовательность $\{|v_j(t)|\}_{t=1}^{\infty}$ ограничена. Граф устойчив по возмущению (значению), если устойчивы все его вершины.

Имеет место такое следствие: из устойчивости по значению следует устойчивость по возмущению.

Рассмотрим существующие возможности математического анализа устойчивости описания системы.

Представим выражение (1) в матричном виде:

$$\begin{aligned} V(t+1) &= V(t) + A \cdot P(t), \\ P(t+1) &= V(t+1) - V(t), \end{aligned} \tag{2}$$

где A — матрица смежности графа, $V(t)$ — вектор значений в вершинах $u_1, u_2, ..., u_n$ в момент времени t, $P(t)$ — вектор воздействий в вершинах $u_1, u_2, ..., u_n$ в момент времени t.

Выполняя в (2) последовательные преобразования, имеем:

$$V(1) = V(0) + A \cdot P(0),\ V(2) = V(1) + A \cdot P(1) = V(0) + A \cdot P(0) + A \cdot P(1),$$

$$P(1) = V(1) - V(0) = A \cdot P(0),\ \ P(2) = V(2) - V(1) = A \cdot P(1) = A^2 P(0),$$

$$V(t+1) = V(0) + (A + A^2 + A^3 + ... + A^{t+1})P(0) =$$

$$= V(0) + (I + A + A^2 + A^3 + ... + A^t)P(1); \qquad (3)$$

$$P(t+1) = A^{t+1} \cdot P(0). \qquad (4)$$

Таким образом, устойчивость по значению свелась к ограниченности матричного ряда $\sum\limits_{t=0}^{\infty} A^t$, а устойчивость по возмущению — к ограниченности матричной последовательности $M_t = \{A^t\}_{t=1}^{\infty}$.

Сформулируем и обоснуем следующие критерии устойчивости по возмущению и значению.

Критерий 1. Система в виде знакового взвешенного ориентированного графа G с матрицей смежности A устойчива по возмущению тогда и только тогда, когда спектральный радиус матрицы смежности $\rho(A) = \max\limits_i |\lambda_i| \le 1$, где $\{\lambda_i\}_{i=1}^{M}$ — собственные числа A, и представляет базис из собственных векторов, т.е. все собственные числа матрицы A по модулю меньше либо равны 1 и жорданова форма матрицы диагональная.

Приведем доказательство этого критерия. В соответствии с (4), имеет место устойчивость по возмущению т.к. матричная последовательность $M_t = \{A^t\}_{t=1}^{\infty}$ ограничена. Пусть V_J жорданов базис A, тогда $A = V_J^{-1} A_J V_J$, где A_j — жорданова форма A.

Запишем матрицу A в жордановом базисе [7]:

$$A_J = \begin{bmatrix} J_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & J_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & J_m \end{bmatrix},$$

где $J_1, J_2, ..., J_m$, $i = 1, 2, ..., m$ — жордановы клетки размерности $m \times m$ вида

$$J_i = \begin{bmatrix} \lambda_i & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_i & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 1 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & \lambda_i & 1 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \lambda_i \end{bmatrix},$$

соответствующие элементарным делителям $(\lambda-\lambda_1)^{p_1}, (\lambda-\lambda_2)^{p_2}, \ldots$ $\ldots, (\lambda-\lambda_u)^{p_m}$, $(p_1+p_2+\ldots+p_m=n)$. Тогда

$$A_J{}^t = \begin{bmatrix} J_1^t & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & J_2^t & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & J_m^t \end{bmatrix}. \tag{5}$$

Отсюда следует, что ограниченность $\{A^t\}_{t=1}^{\infty}$ эквивалентна ограниченности $\{J_1{}^t\}_{t=1}^{\infty}$ для всех жордановых клеток матрицы A.

Согласно (5), для жордановой клетки имеем:

$$J^t = \begin{bmatrix} \lambda^t & \dfrac{t\lambda^{t-1}}{1!} & \dfrac{t(t-1)\lambda_i^{t-2}}{2!} & \cdots & \dfrac{t!\lambda^{t-n+1}}{(t-n+1)!(n-1)!} \\ 0 & \lambda_i^t & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \dfrac{t\lambda^{t-1}}{1!} & \dfrac{t(t-1)\lambda^{t-2}}{2!} \\ 0 & \ddots & 0 & \lambda^t & \dfrac{t\lambda^{t-1}}{1!} \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \lambda^t \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \lambda^t & C_t^1\lambda^{t-1} & C_t^2\lambda^{t-2} & \cdots & C_t^{n-1}\lambda^{t-n+1} \\ 0 & \lambda^t & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & C_t^1\lambda^{t-1} & C_t^2\lambda^{t-2} \\ 0 & \ddots & 0 & \lambda^t & C_t^1\lambda^{t-1} \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \lambda^t \end{bmatrix},$$

т.е. должны быть ограничены последовательности $\{C_t^i\lambda^{t-i}\}_{t=0}^{\infty}$ $\forall i =$ $=0,1,\ldots,n-1$. Тогда

- если $|\lambda|<1$, то $|C_t^i\lambda^{t-i}| \xrightarrow[t\to\infty]{} 0$ $\forall i=0,1,\ldots,n-1$, так как многочлен растет медленнее, чем убывает степенная функция. Поэтому последовательности ограничены $\forall i=0,1,\ldots,n-1$;
- если $|\lambda|>1$, то $|C_t^i\lambda^{t-i}| \xrightarrow[t\to\infty]{} \infty$ $\forall i=0,1,\ldots,n-1$. Поэтому последовательности не ограничены $\forall i=0,1,\ldots,n-1$;
- если $|\lambda|=1$, то $\begin{cases} |C_t^i\lambda^{t-i}| \xrightarrow[t\to\infty]{} \infty & \forall i=1,2,\ldots,n-1, \\ |C_t^i\lambda^{t-i}|=|\lambda^t|=1 & \text{при } i=0. \end{cases}$

Поэтому последовательности $\{C_t^i\lambda^{t-i}\}_{t=0}^{\infty}$ будут ограничены $\forall i=0,1,\ldots,n-1$, т.т.т.к. $n=1$, т.е. жорданова клетка имеет размерность 1.

Из этого следует, что последовательность $\{A^t\}_{t=1}^{\infty}$ ограничена т.т.т.к. все собственные числа матрицы A по модулю меньше 1 или не превышают 1 и жорданова форма матрицы диагональная. Таким образом, граф устойчив по возмущению т.к. $\rho(A) = \max_i |\lambda_i| \le 1$, что и требовалось доказать.

Теперь сформулируем критерий для устойчивости по начальному значению:

Критерий 2. Система в виде знакового взвешенного ориентированного графа G с матрицей смежности A устойчива по значению т.т.т.к. спектральный радиус матрицы смежности $\rho(A) = \max_i |\lambda_i| < 1$, где $\{\lambda_i\}_{i=1}^{M}$ — характеристические числа A, либо $\rho(A) = 1$, но жорданова форма матрицы A диагональная и нет собственного числа равного 1.

Приведем доказательство этого критерия. Запишем матричное равенство:

$$(I + A + A^2 + ... + A^t)(I - A) = I - A^{t+1}. \tag{6}$$

Допускаем, что система устойчивая по значению, т.е. матричный ряд $\sum_{t=0}^{\infty} A^t$ ограничен (по норме) константой С. Тогда из выражения (6) получаем:

$$\| A^{t+1} \| = \| A^{t+1} - I + I \| \le \| A^{t+1} - I \| + \| I \| = \| (I + A + A^2 + ... + A^t)(I - A) \| + 1 \le$$

$$\le \| I + A + A^2 + ... + A^t \| * \| I - A \| + 1 \le C \| I - A \| + 1.$$

Следовательно, последовательность $\{A^t\}_{t=1}^{\infty}$ ограничена, откуда из критерия 1 получаем первую часть необходимого утверждения, т.е. $\rho(A) = \max_i |\lambda_i| < 1$.

Необходимо также доказать, что нет собственного числа равного 1. Предположим обратное, т. е. $\exists x \ne 0 : Ax = x$. Тогда

$$\| (I + A + A^2 + ... + A^t)x \| = \| (t+1)x \| \xrightarrow[t \to \infty]{} \infty,$$

$$\| I + A + A^2 + ... + A^t \| = \sup_{x \ne 0} \frac{\| (I + A + A^2 + ... + A^t)x \|}{\| x \|} \ge t + 1 \xrightarrow[t \to \infty]{} \infty.$$

Полученная сумма не является ограниченной. Следовательно, собственного числа равного 1 не существует.

Допускаем, что спектральный радиус матрицы A равен 1, но матрица имеет базис из собственных векторов и 1 не является характеристическим числом матрицы смежности. Тогда по критерию 1 получаем, что последовательность $\{A^t\}_{t=1}^{\infty}$ ограничена константой С. Кроме того, поскольку 1 не принадлежит спектру матрицы A, то 1 принадлежит резольвентному множеству, то есть $\exists (I - A)^{-1}$. Тогда после умножения обеих частей (6) на $(I - A)^{-1}$ справа получаем:

$$I + A + A^2 + ... + A^t = (I - A^{t+1})(I - A)^{-1}.$$

Отсюда

$$\| I + A + A^2 + ... + A^t \| = \| (I - A^{t+1})(I - A)^{-1} \| \le \| I - A^{t+1} \| * \| (I - A)^{-1} \| \le$$

$$\le (\| I \| + \| A^{t+1} \|) * \| (I - A)^{-1} \| \le (1 + C) * \| (I - A)^{-1} \| .$$

Следовательно, матричный ряд $\sum_{t=0}^{\infty} A^t$ ограничен.

Таким образом, граф устойчив по значению т.т.т.к. $\rho(A) = \max_i |\lambda_i| < 1$, либо $\rho(A) = 1$, что и требовалось доказать.

Заметим, что граф является численно устойчивым, если спектральный радиус матрицы смежности меньше 1.

ПОСТРОЕНИЕ СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ ЮЖНОГО БЕРЕГА АР КРЫМ

Здесь в качестве примера рассматривается модельная задача экологического состояния ЮБК. На первом этапе реализации стратегии построения сценариев развития региона на основе методологии предвидения привлекаются различные методы качественного анализа, такие как SWOT-анализ, методы анализа иерархий и его модификации, методы Делфи, перекрестного анализа, морфологического анализа и др. Использование инструментария предвидения [1] позволяет выявить критические технологии и построить альтернативы сценариев с количественными характеристиками выявленных технологий. Последние в дальнейшем используются в качестве весовых характеристик для связывающих вершины дуг графа, что позволяет построить наиболее реальные реализации сценария исследуемого объекта.

В результате применения метода SWOT анализа были выявлены следующие критические технологии экологической сферы ЮБК: X1 — состояние акватории; X2 — состояние атмосферного воздуха; X3 — состояние почв; X4 — состояние флоры и фауны; X5 — промышленность; X6 — транспорт; X7 — ЖКХ; X8 — сельское хозяйство; X9 — туризм; X10 — наличие и качество питьевой воды; X11 — здоровье населения.

Использование экспертного оценивания позволило построить матрицу смежности **A**, которая имеет следующий вид:

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
	X1	0	0	0	0,8	0	0	0	0,2	0,5	0,8	0,4
	X2	0	0	0	0,3	0	0	0	0,2	1	0	1
	X3	0	0	0	0,8	0	0,5	0,1	0,7	0	0,6	0
	X4	0	0,9	0,1	0	0	0	0	0,7	0,3	0	0
	X5	–0,7	–0,8	–0,7	–1	0	0	0	–0,3	–0,4	–0,3	–0,4
A=	X6	–1	–1	–0,2	–0,4	0,1	0	0	0	0,3	0	–0,2
	X7	–0,8	0	–0,7	0	0	0	0	0	0,5	0	0
	X8	–0,9	0	–0,7	0	0	0	0	0	0,2	0	0
	X9	–0,4	0	0	–0,6	0	0	0	0	0	0	0
	X10	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	1
	X11	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0

На начальном этапе когнитивного моделирования с учетом данной матрицы когнитивная карта в виде знакового ориентированного графа имеет вид, приведенный на рис. 1. Сначала выполняется исследование этой карты на структурную устойчивость. В результате исследования данной когнитивной карты на структурную устойчивость было выявлено, что первоначально полученный ориентированный граф не является структурно устойчивым, так как имеет большое количество четных циклов, в частности: цикл {2,4,2}; коэффициент обратной связи 0,27; цикл {3,4,3}; коэффициент обратной связи 0,08; цикл {8,3,6,1,8}; коэффициент обратной связи 0,07 и т.д.

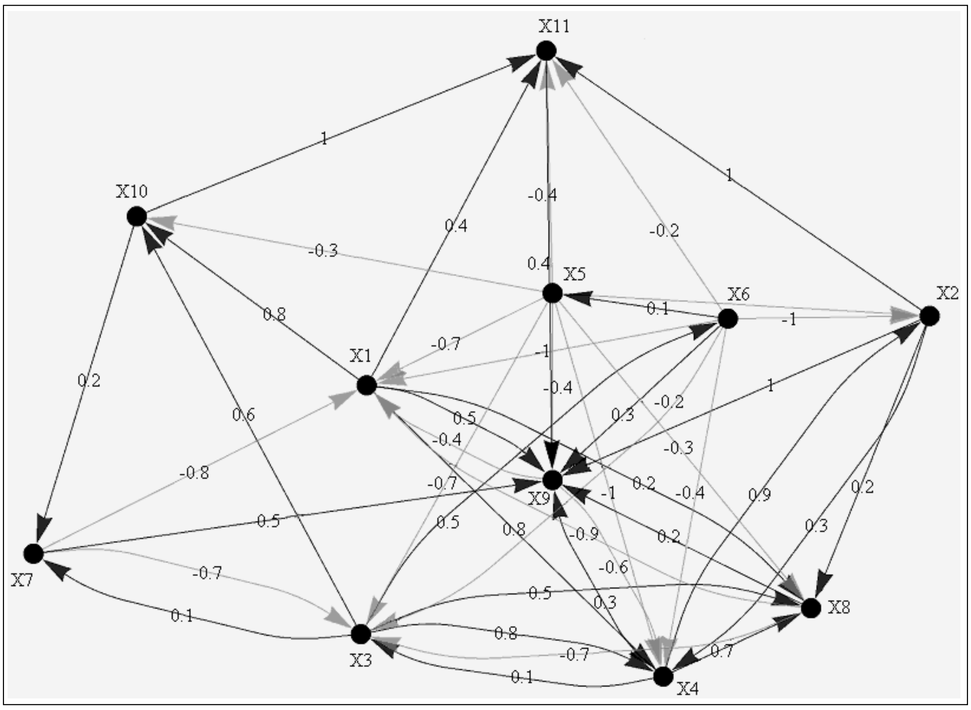

Рис. 1. Исходная когнитивная карта экологического состояния ЮБК

Также исходная когнитивная карта не является устойчивой по значению и по возмущению, так как не удовлетворяет требованиям критериев 1 и 2, имея следующие собственные числа: {0,576088 +1,23551 I; 0,576088 –1,23551 I; –0,781122, 0,353316 +0,53876 I; 0,353316 –0,53876 I; –,48915, –0,35472 +0,307345 I; –0,35472–0,307345 I; 0,244085, –0,0810832, –,0420984} и модули собственных чисел {1,36322, 1,36322, 0,781122, 0,644278, 0,644278, 0,48915, 0,469347, 0,469347, 0,244085, 0,0810832, 0,0420984}. Поэтому последовательность значений для каждой вершины не ограничена, как и последовательность импульсов. Таким образом, система требует нахождения путей достижения устойчивости.

Для заданной системы была проведена модификация когнитивной карты с целью повышения адекватности модели и достижения ее устойчивости. Для этого были внесены следующие изменения: вместо вершины «Состояние флоры и фауны» введены два другие: «Состояние флоры» и «Состояние фауны». Это позволило более точно отразить взаимосвязи между факторами окружающей среды и влияния между ними. В соответствии с этим связи между вершинами в некоторых случаях сохранились, а в других были изменены с учетом введения новых двух вершин. Оценки взаимных влияний получены из оценок экспертов. Полученная на этом этапе когнитивная карта в виде знакового ориентированного графа приобрела вид, приведенный на рис. 2.

В этой карте нет четных циклов. Собственные числа {0,356861 +0,926744 I; 0,356861–0,926744 I; 0,21302 +0,536959 I; 0,21302 –0,536959 I; –0,432294+0,326915 I; –0,432294–0,326915 I;–0,158408+0,439173 I; –0,158408–0,439173 I; 0,0631794, –0,0215371,0; 0} и модули собственных чисел отвечают критериям устойчивости 1 и 2.

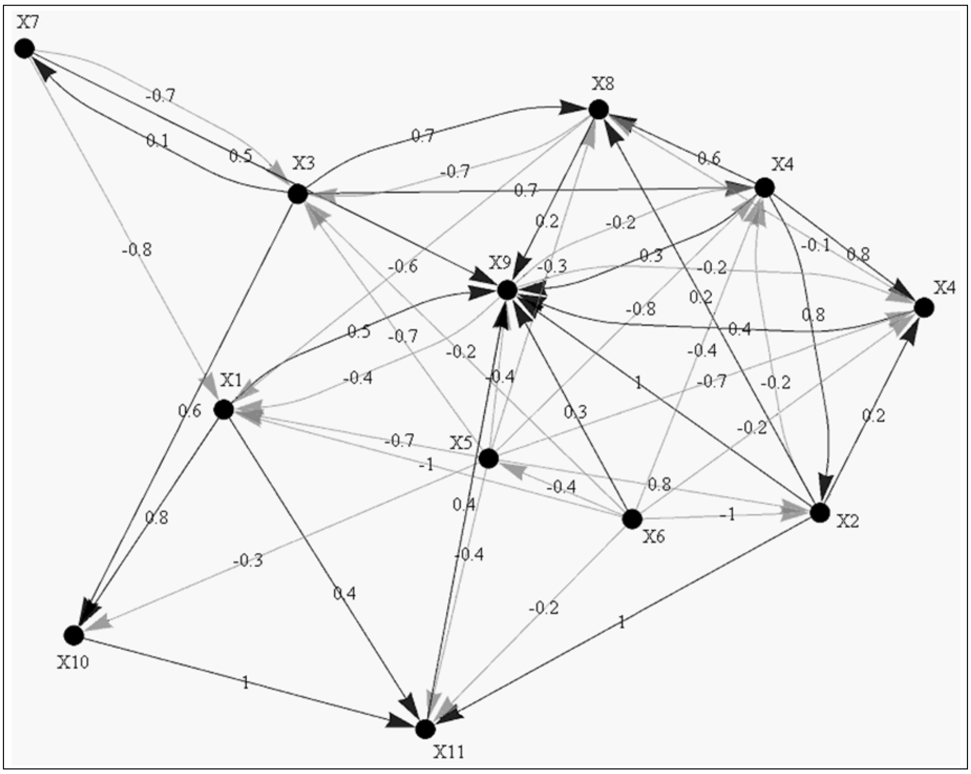

Рис. 2. Устойчивая когнитивная карта экологического состояния ЮБК

ВЫВОДЫ

Поиск путей решения инновационного развития предприятия, мегаполиса или региона является довольно сложной системной проблемой. Для ее решения целесообразно привлекать синтез возможностей методологии предвидения с другими информационными технологиями, в частности, с методологией когнитивного моделирования, что открывает уникальную возможность в рамках единого программно-аналитического комплекса решать задачи стратегического планирования и оперативного реагирования.

Привлечение на первом этапе процесса моделирования методологии предвидения, которая в достаточной мере формализована, позволяет с помощью экспертного оценивания выявить критические технологии и построить альтернативы сценариев с количественными значениями характеристик. Полученные характеристики являются исходными данными для начальной итерации когнитивного моделирования.

Эффективный учет влияния всех релевантных факторов на итоговый результат возможно рассмотреть в рамках математической модели. Наилучшим типом такой модели, по нашему мнению, является когнитивный математический граф, позволяющий структурировать эти взаимозависимости и представить сложную математику, стоящую за ними, в простом и удобном для восприятия пользователем виде. Кроме того, использование этой модели, в отличие от методов экстраполяции, позволяет рассматривать различные сценарии изменения спроса, соответствующие различным возможным изменениям влияющих факторов, и таким образом оценивать стратегические риски компании, а так же проверять устойчивость текущей стратегии.

Использование модели когнитивных графов целесообразно для получения обоснованных решений поведения сложной системы на стратегическую перспективу при большом количестве взаимосвязей и взаимозависимостей. Безусловно, реальная модель, применяемая в рамках стратегического планирования, будет включать в рассмотрение значительно большее число значимых для рынка факторов и потребует для достижения ее устойчивости не один десяток итераций моделирования. Ключевым преимуществом когнитивных графовых моделей является возможность с их помощью построить обоснованный сценарий, что делает их практически незаменимым инструментом в аналитической поддержке стратегического планирования развития на уровне компании, мегаполиса, региона. Эти факторы влияния, не всегда, очевидно, проявляясь в краткосрочной перспективе, являются определяющими при рассмотрении прогноза на долгосрочных временных горизонтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Згуровский М.З., Панкратова Н.Д.* Системный анализ: проблемы, методология, приложения. — Киев: Наук. думка, 2011. — 743 с.
2. *Згуровский М.З., Панкратова Н.Д.* Технологическое предвидение. — К.: Политехника, 2005. — 165 с.
3. *Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А.* Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем. Когнитивный подход. — Ростов на Дону: РГУ, 2006. — 332 с.
4. *Згуровский М.З., Панкратов В.А.* К оцениванию устойчивости когнитивных карт для сложных систем // Международная научно-практическая мультиконференция «Управление большими системами»: «Когнитивное моделирование – 2011», Москва, 14–16 ноября 2011 г. — 5 с.
5. *Згуровский М.З., Гвишиани А.Д.* Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей. Отчет за 2007/2008. — К.: Политехника, 2008. — 350 с.
6. *Солохин С.С.* О когнитивном моделировании устойчивого развития социально-экономических систем (на примере туристско-рекреационной системы Юга России) // Искусственный интеллект. — 2009. — № 4. — С. 150–160.
7. *Гантмахер Ф.Р.* Теория матриц. — М.: Наука, 1967. — 575 с.

Поступила 20.02.2014