

УДК 004.891

ББК 32.813

ВЕРИФИКАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ КАРТ НА ОСНОВЕ ОБЪЯСНЕНИЯ ПРОГНОЗОВ

Кулинич А.А.¹

*(Учреждение Российской академии наук
Институт проблем управления РАН, Москва)*

Рассмотрен метод верификации качественных когнитивных карт, основанный на объяснении процессов получения прогнозных значений факторов. Предложен метод построения объяснений для качественных когнитивных карт.

Ключевые слова: Когнитивная карта, верификация, объяснение прогнозов.

1. Введение

В практике управления социально-экономическими системами возникают задачи принятия решений в динамических ситуациях в условиях неопределенности. Для поддержки принятия решений в таких условиях возникает необходимость моделирования динамической ситуации, в которой в качестве измерителя ее параметров выступает эксперт – человек, создающий субъективную модель реальности, основываясь на собственных наблюдениях развития этой ситуации, на знаниях и опыте. При создании субъективной модели эксперт выделяет наиболее существенную с его точки зрения часть ситуации, представляя ее в виде множества факторов ситуации, качественно описывает их значения и отношения между ними, используя термины лингвистических переменных. В качестве модели представления знаний о динамической ситуации используется когнитивная карта [1], формально представляемая

¹ Александр Алексеевич Кулинич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (kulinich@ipu.rssi.ru).

в виде ориентированного знакового графа, отражающего субъективные знания и предпочтения эксперта.

Использование субъективной когнитивной карты в процессах принятия решений требует ее верификации. Проблема верификации когнитивной карты определенной ситуации занимает отдельное и важное место в проблеме поддержки принимаемых решений, поскольку определяет их качество.

Один из подходов верификации основан на анализе правдоподобности когнитивной карты ситуации, который связан с неформальным анализом структуры когнитивной карты. Нестрогий критерий правдоподобности структуры когнитивной карты рассмотрен в работе Идена [2]. В этой работе считается, что при анализе структуры когнитивной карты важны «структурные картины» взаимодействия факторов. Простая и понятная субъекту структура когнитивной карты, позволяющая объяснить процессы, происходящие в действительности, считается правдоподобной. В психологии такая структура называется гештальт-образом [3] наблюдаемой ситуации, представленной когнитивной картой.

К сожалению, формализовать гештальт-образ когнитивной карты, из-за его субъективности, достаточно трудно и поэтому использовать его в качестве объективного критерия для верификации когнитивной карты на основе анализа ее правдоподобности невозможно. Процесс верификации когнитивных карт на основе анализа правдоподобности их структуры достаточно субъективный, содержит множество ошибок и заблуждений, связанных с индивидуальными особенностями экспертов.

Другой подход к верификации когнитивных карт, основан на анализе и выявлении типичных систематических ошибок, совершаемых их разработчиками [4-6]. В этих работах выявлены следующие риски, приводящие к ошибкам в когнитивных картах: риск ложной транзитивности, связанный с представлением в когнитивной карте в качестве факторов, понятий разного уровня общности (ложная транзитивность возникает при установлении причинно-следственного отношения между понятиями (факторами) разного уровня

общности); риск недопонимания математического смысла связей, который приводит к искажению содержательного смысла связей когнитивной карты относительно их математической интерпретации и, соответственно, к ошибкам при определении силы связей. Риски первого рода предлагается снижать использованием критерия соразмерности факторов по объемам понятий, позволяющий обнаружить несоразмерные понятия (факторы) разного уровня общности, и понизить уровень общности понятий (факторов когнитивной карты) путем расщепления вершин когнитивной карты на понятия более низкого уровня общности. Риски второго рода предлагается обнаруживать с помощью критерия понятности математического смысла конструкции когнитивной карты по вербальному шаблону. Снижать этот риск предлагается с применением специальных шаблонов при определении силы причинной связи между факторами.

Еще один подход к верификации когнитивных карт основан на использовании методов «как-объяснений» прогнозов развития ситуации [7]. В системах моделирования когнитивных карт «Космос» [8], «Канва» [9] поддержка процесса верификации структуры когнитивной карты осуществлена с помощью встроенных подсистем объяснения прогнозов развития ситуации. Подсистемы «как-объяснения» прогнозов развития ситуации в когнитивных картах, описывают последовательность процесса получения прогнозных значений факторов, в виде цепочки сработавших в вершинах когнитивной карты правил. Объясняющие цепочки описывают процессы изменения прогнозных значений факторов, что облегчает понимание процессов в когнитивной карте и, соответственно, верификацию ее структуры.

В этой работе рассмотрены вопросы получения «как-объяснений» прогнозов развития ситуаций в качественных когнитивных картах.

2. Прогноз развития ситуации в качественных когнитивных картах

Одним из классифицирующих признаков когнитивных карт является способ измерения ее параметров [10]. В количественных когнитивных картах измерение силы влияния и значений факторов осуществляется на ограниченном интервале числовой оси, например, из интервала $[0, 1]$ или $[-1, +1]$. В качественных когнитивных картах измерение параметров осуществляется из упорядоченного множества лингвистических значений факторов и сил влияния фактора на фактор, например, *{Малый, Средний, Большой}* и т.д.

Качественная когнитивная карта определена знаковым орграфом (F, W) , где $F = \{f_{ij}\}$ - множество факторов ситуации, $W = |w_{ij}|$ - матрица смежности орграфа, $w_{ij} \in [-1, +1]$ - вес, определяющий силу причинной связи факторов. Для каждого фактора определено упорядоченное множество лингвистических значений $Z_i = \{z_{i1}, \dots, z_{im}\}$. Причем для элементов множества лингвистических значений определен не только строгий порядок значений $z_{i1} < z_{i2} < \dots < z_{im}$, но и равенство интервалов между лингвистическими значениями. Равенство интервалов между значениями устанавливается с помощью экспертного метода деления отрезка пополам Торгерсона [11].

Шкала фактора определена как отображение каждого лингвистического значения фактора в точку числовой оси, $\varphi: Z_i \rightarrow X_i$, $X_i = \{x_{i1}, \dots, x_{im}\}$, $x_{i1}, \dots, x_{im} \in [0, 1]$. Определено также и обратное отображение $\varphi^{-1}: x \rightarrow z_i$, $x \in [0, 1]$, позволяющее интерпретировать любое значение x в лингвистическое значение фактора $z_i \in Z_i$.

В терминах шкал факторов и приращений определено начальное состояние ситуации $Z(0) = (z_{1k}, z_{2d}, \dots, z_{nl})$ и, соответственно, $X(0) = (x_{1k}, x_{2d}, \dots, x_{nl})$ - вектор начальных значений факторов, а также начальный вектор приращений факторов ситуации $P(0) = (p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{nj})$.

Приращения значений факторов определяется как разность значения фактора после приращения $x_i(t+1)$ и его текущего значения $x_i(t)$. Положительное приращение фактора определено как $p_i = x_i(t+1) - x_i(t)$, где $p_i > 0$, $z_{i(c+1)} = \varphi^{-1}(x_i(t+1)) > z_{i(c)} = \varphi^{-1}(x_i(t))$, а отрицательное приращение как $-p_i = x_i(t+1) - x_i(t)$, где $p_i < 0$, $z_{i(c-1)} = \varphi^{-1}(x_i(t+1)) < z_{i(c)} = \varphi^{-1}(x_i(t))$.

Задача прогноза развития ситуации в качественной когнитивной карте заключается в нахождении векторов приращения факторов $P(t), P(t+1), \dots, P(t+n)$ и состояния ситуации $X(t), X(t+1), \dots, X(t+n)$ в последовательные дискретные моменты времени $t, t+1, \dots, t+n$, вызванных начальным приращением факторов $P(0)$.

Эта задача решается методом последовательных итераций. Состояние ситуации в момент времени $t+1$ определяется из соотношения:

$$(1) \quad X(t+1) = X(t) + P(t+1),$$

где $P(t+1)$ – вектор приращений значений факторов в момент времени $t+1$; $P(t)$ – начальный вектор приращений значений факторов.

Для получения прогноза матрица смежности W , включающая положительные и отрицательные элементы преобразуется в положительно определенную матрицу смежности W' [8]. В этом случае размер матрицы смежности увеличивается в два раза, поскольку положительное влияние фактора-причины f_i на фактор-следствие f_j записывается в виде двух отображений: $w_{ij} : P_i^+ \rightarrow P_j^+$ и $w_{ij} : P_i^- \rightarrow P_j^-$. Отображения связывают положительные (отрицательные) приращения P_i^+ (P_i^-) фактора f_i с положительными (отрицательными) приращениями P_j^+ (P_j^-) фактора f_j . В матрице смежности положительное влияние факторов представляется двумя элементами $w_{2i-1, 2j-1} = w_{ij}$ и $w_{2i, 2j} = w_{ij}$.

Отрицательное влияние между факторами f_i и f_j записывается, также в виде пары отображений: $w_{ij} : P_i^+ \rightarrow P_j^-$, $w_{ij} : P_i^- \rightarrow P_j^+$. Эти отображения связывают положительные (отрицательные) приращения P_i^+ (P_i^-) фактора f_i с отрицательными (положительными) приращениями P_j^- (P_j^+) фактора f_j . В матрице смежности отрицательное влияние факторов f_i и f_j представляется так: $w_{2i-1, 2j} = -w_{ij}$ и $w_{2i, 2j-1} = -w_{ij}$.

Начальный вектор приращений $P(0)$ и вектор прогнозных значений факторов $P(t+1)$ в этом случае имеют размерность $2n$. В двойном векторе $P(t) = (p_1^-, p_1^+, \dots, p_n^-, p_n^+)$ значение фактора f_j характеризуют два элемента: элемент с индексом $2j$

характеризуют положительное p_j^+ , а с индексом $2j-1$ - отрицательное p_j^- приращение фактора f_j . Правило вычисления элемента вектора $P(t+1)$ (*max-product*) следующее:

$$(2) \quad p_i(t+1) = \max_j (p_j(t) \cdot w'_{ij}).$$

Элементы векторов приращений значений факторов, полученные в последовательные дискретные моменты времени $P(t+1), \dots, P(t+n)$ представляются в виде двумерного массива:

$$(3) \quad P^t = |P(t+1)^T, \dots, P(t+n)^T|.$$

Строки P^t – это значения приращения одного фактора в последовательные моменты времени, а столбцы – значения приращения всех факторов в последовательные моменты времени – «волна» приращений. Матрица P^t называется матрицей прогноза.

Прогнозное приращение значения каждого фактора на n шагах вычисления прогноза развития ситуации определяется по максимальному положительному и максимальному отрицательному приращению этого фактора, т.е.:

$$(4) \quad p_i^{\Sigma} = \text{sign}(p_{i \max}^+ - p_{i \max}^-) \max(p_{i \max}^+, p_{i \max}^-),$$

$$\text{где} \quad p_{i \max}^+ = \max_{1 \leq b \leq n} (p_i^+(t+b)) \quad \text{и} \quad p_{i \max}^- = \max_{1 \leq b \leq n} (p_i^-(t+b))$$

соответственно, максимальное положительное и максимальное отрицательное приращение, определенные на n шагах вычисления прогноза развития.

Тогда состояние ситуации X^{Σ} , соответствующее прогнозируемому приращению факторов $P^{\Sigma} = (p^{\Sigma}_1, p^{\Sigma}_2, \dots, p^{\Sigma}_n)$ на n шагах прогноза определится из соотношения:

$$X^{\Sigma} = X(t) + P^{\Sigma}.$$

3. Метод объяснения прогнозов в качественных когнитивных картах

Задача поиска объяснений прогноза развития ситуации в качественных когнитивных картах заключается в нахождении цепочки правил, срабатывание которых, вызванное начальным

вектором приращений $P(0)$, приводит к получению прогнозных приращений P^Σ факторов ситуации.

Определим множество $I_{np} = \{f_k, f_b, \dots, f_v\}$ ненулевых факторов в векторе начальных приращений $P(0) = (p_1, \dots, p_n)$ и будем называть их входными факторами. Задача объяснения прогнозного значения p_j^Σ фактора f_j заключается в нахождении двух путей в орграфе (F, W) из вершин входного множества I_{np} к вершине f_j : один путь приводит к получению положительного $p_{i \max}^+$, а другой отрицательного $p_{i \max}^-$ приращения прогнозного значения p_j^Σ фактора f_j .

Для нахождения этих двух путей определим множество всех путей из вершин входного множества I_{np} к вершине f_j .

Пусть путь l_{kj} , связывающий вершины f_k и f_j вершин включает вершины $f_k, f_b, \dots, f_s, f_j$, а веса дуг между вершинами соответственно равны: w_{kt}, \dots, w_{sj} .

Путь l_{kj}^+ будем называть положительным, если произведение весов дуг между вершинами пути больше нуля, $w_{kt} \dots w_{sj} > 0$, а путь l_{kj}^- называется отрицательным, если это произведение меньше нуля, $w_{kt} \dots w_{sj} < 0$.

Множество положительных путей, связывающих вершину $f_k \in I_{np}$ и f_j вершин, определим как $L_k^+ = \{l_{kjq}^+, q=1, \dots, m\}$ – номер пути, m – число положительных путей, связывающих вершины f_k и f_j , а множество отрицательных путей, соответственно, $L_k^- = \{l_{kjr}^-, r=1, \dots, k\}$ – номер пути, k – число отрицательных путей, связывающих вершины f_k и f_j , $\forall f_k \in I_{np}$.

Тогда, определим множество путей из вершин входного множества I_{np} к вершине f_j через

$$L_{P(0)} = \{L_{P(0)j}^+, L_{P(0)j}^-\},$$

где $L_{P(0)j}^+ = \bigcup_{f_k \in I_{np}} L_k^+$ – множество положительных путей и

$L_{P(0)j}^- = \bigcup_{f_k \in I_{np}} L_k^-$ – множество отрицательных путей между

вершинами из множества I_{np} и вершиной f_j .

Весом $O(I_{kjq}^+)$ пути I_{kjq}^+ в знаковом ориентированном взвешенном графе будем называть произведение весов всех дуг, включенных в данный путь. Т.е. $O(I_{kjq}^+) = w_{kt} \cdot \dots \cdot w_{sj}$.

Влиянием $I(I_{kjq}^+)$ фактора f_k на фактор f_j по пути I_{kjq}^+ будем называть произведение начального приращения p_k фактора f_k на вес этого пути $O(I_{kjq}^+)$, т.е. $I(I_{kjq}^+) = p_k \cdot O(I_{kjq}^+)$. Заметим, что влияние $I(I_{kjq}^+)$ вершины f_k по пути I_{kjq}^+ на вершину f_j по сути определяет приращение значения p_j фактора f_j , вызванное начальным приращением p_k .

Поскольку при получении прогноза развития ситуации в качественных когнитивных картах используется правило *max-product* (2), то для определения объясняющих цепочек достаточно выделить положительный путь I_{kjq}^+ с максимальным влиянием, т.е. $\max I(I_{kjq}^+)$, $\forall I_{kjq}^+ \in L_{P(0)j}^+$ и отрицательный путь I_{kjb}^- с максимальным влиянием по модулю $\max |I(I_{kjb}^-)|$, $\forall I_{kjb}^- \in L_{P(0)j}^-$.

Последовательность вершин, включенных в пути I_{kjq}^+ и I_{kjb}^- , определяет последовательность выполнения правил *max-product*, определивших значения $p_i^{max^+}$ и $p_i^{max^-}$ фактора f_j .

Для получения объяснений необходимо определить не только последовательность, сработавших правил в вершинах пути, но и значения приращений всех факторов, включенных в объясняющую цепочку. Каждый шаг последовательности правил, объясняющих прогноз развития ситуации, будем характеризовать парой: название фактора, с которым ассоциируется правило и значение фактора, которое это правило формирует, т.е. объясняющие цепочки положительного и отрицательного приращения фактора f_j будут иметь вид: $(f_k, p_{kb}(0); f_b, p_{tb}(1); \dots, f_s, p_{sb}(m-1); f_j, p_{jb}(m))$.

Для нахождения объясняющих цепочек могут быть применены алгоритмы поиска путей в графе в глубину, ширину, алгоритм поиска кратчайшего пути Дейкстры, Беллмана-Форда, Флойда-Уоршола и др. [12]. При поиске объяснений с помощью алгоритмов поиска в глубину, ширину, Дейкстры, Беллмана-Форда применять эти алгоритмы необходимо применять для

каждого объясняемого фактора. Алгоритмы, основанные на вычислении транзитивного замыкания матрицы смежности (Флойда-Уоршола и др.) позволяют получить влияние каждого фактора с каждым, но имеют большую сложность (время работы). Поэтому применение этих алгоритмов для объяснения прогнозов в сложных когнитивных картах нецелесообразно.

В этой работе предложен метод нахождения объяснений прогнозов развития ситуации, основанный на анализе «волны» распространения начальных приращений $P(0)$ ко всем факторам когнитивной карты. Эта «волна» распространения приращений представлена в матрице прогноза развития ситуации P^t .

Предложенный в этой статье метод основан на следующем утверждении: фактор, значение которого на любом шаге прогноза развития в матрице прогноза P^t ситуации максимально, принадлежит пути с максимальным влиянием.

Действительно, каждый элемент $(p_{2j}^+(1), p_{2j}^+(2), \dots, p_{2j}^+(n))$ строки $2j$ матрицы прогноза P^t показывает максимальное положительное влияние фактора из входного множества I_{np} на фактор f_j по пути длиной, соответственно, $1, 2, \dots, n$, а элементы строки $2j-1$ матрицы прогноза - $(p_{2j-1}^-(1), p_{2j-1}^-(2), \dots, p_{2j-1}^-(n))$ показывают максимальное по модулю отрицательное влияние фактора из входного множества I_{np} на фактор f_j по пути длиной, соответственно, $1, 2, \dots, n$.

Максимальный элемент строки $\max(p_{2j}^+(1), p_{2j}^+(2), \dots, p_{2j}^+(n))$, например, $p_{2j}^+(m)$, определяет положительную составляющую прогнозного значения $p_{2j}^+(m) = p_{j \max}^+$ фактора f_j , является влиянием $\max I(l_{kjq}^+)$ пути $l_{kjq}^+ \in L_{P(0)j}^+$, объясняющего цепочку, сработавших правил. При этом номер m показывает длину этой цепочки.

Максимальный же элемент строки $\max(p_{2j-1}^-(1), p_{2j-1}^-(2), \dots, p_{2j-1}^-(n))$, например, $p_{2j-1}^-(d) = p_{j \max}^-$, определяет влияние $\max I(l_{kjb}^-)$ отрицательного пути $l_{kjb}^- \in L_{P(0)j}^-$, объясняющего отрицательное приращение $p_{j \max}^-$, и его длину d .

Для генерации объясняющих цепочек в каждой строке матрицы P^t находим максимальный элемент $p^+_{2j}(t+b)_{max}$ и $p^-_{2j-1}(t+b)_{max}$, $1 \leq b \leq n$, $\forall j$, а остальные элементы строки приравняются к нулю.

Выделенные максимальные элементы матрицы прогноза P^t_{max} определяют значения факторов, включенных в положительную и отрицательную цепочки объяснений для любого фактора. Для определения порядка следования этих значений и соответствующих им факторов в цепочке объяснений прогнозного значения любого фактора разработан алгоритм выделения объясняющих цепочек из «волны» приращений.

Работа этого алгоритма основана на обратном просмотре элементов матрицы P^t_{max} от значения $p^+_{j(b)_{max}}$ фактора f_j к факторам входного множества I_{np} . Т.е. определяем, какой из элементов на предыдущем шаге вызвал изменение $p_j(b)$. Для этого в столбце $(b-1)$ матрицы P^t_{max} ищем элемент $p_l(b-1)$, такой, чтобы $p_j(b)/p_l(b-1) = w_{jl}$. Если такой элемент найден, то факторы f_j и f_l образуют причинно-следственную цепочку объяснения.

4. Вербализация объяснений

Полученные объяснения $(f_k, p_{kb}(0); f_b, p_{ib}(1); \dots f_j, p_{jb}(m))$ включают название фактора f_i и значение его приращения $p_i \in [-1, 1]$. Такое объяснение не понятно эксперту или аналитику, анализирующему результаты моделирования. Объяснения должны быть представлены на естественном языке.

Для построения объяснений на естественном языке определим:

- множество слов, из которых будем строить объясняющие цепочки: $\{Увеличилось, Уменьшилось, Увеличило, Уменьшило, Значение фактора, От, До, Что\}$;
- множество факторов ситуации $F = \{f_j\}$ - и их лингвистических значений Z_i ;
- вектор начальных значений $Z(0) = (z_{1k}, z_{2d}, \dots, z_{nl})$;
- обратные отображения числовых значений факторов в лингвистические значения $\varphi_j^{-1}: x \rightarrow z_{jl}$.

Вербализация объяснений ($f_k, p_{kb}(0); f_b, p_{ib}(1); \dots f_j, p_{jb}(m)$) прогнозных значений фактора строится с использованием двух следующих шаблонов:

1. «Увеличилось» (если $p_j > 0$) («Уменьшилось» (если $p_j < 0$)) «значение фактора» $f_i \in F$ - название фактора «от» $z_i \in Z(0)$ - текущее лингвистическое значение фактора «до» лингвистическое значение фактора после приращения $\varphi_i^{-1}(x_i + p_i)$, «что»

2. «Увеличило» (если $p_j > 0$) («Уменьшило» (если $p_j < 0$)) «значение фактора» название фактора f_i «от» текущее лингвистическое значение фактора z_i «до» лингвистическое значение фактора после приращения $\varphi_i^{-1}(x_i + p_i)$, «что»

И.т.д.

Первая строка объяснений содержит описание входных воздействий, а последующие строки отражают «волну» приращений значений факторов когнитивной карты.

5. Пример

В качестве примера получения объяснений для верификации когнитивной карты рассмотрим когнитивную карту на рисунке (рис.1). Считаем, что определена матрица смежности орграфа W и положительно определенная матрица смежности W' [8].

Возможные значения факторов: Z_2, Z_3, Z_4 (Объем производства, Дефицит продукции, Спрос на продукцию) выражены в натуральных единицах производимой продукции в интервале от 0 до 1000 единиц; Z_1 (Прибыль) - выражена в тысячах рублей в интервале от 0 до 1000 тыс. рублей; Z_5 (Цена продукции) определена в рублях в интервале от 0 до 100 рублей. Для представления числовых значений факторов в качественных шкалах используется оператор качественного обобщения $[]_Q$ [13]. Применение этого оператора к интервалам числовых значений факторов $Z_1 - Z_5$ позволяет представить их конечным упорядоченным множеством лингвистических значений $[Z_1]_Q, \dots, [Z_5]_Q$ и определить шкалы факторов $\varphi: [Z_i]_Q \rightarrow X_i$.

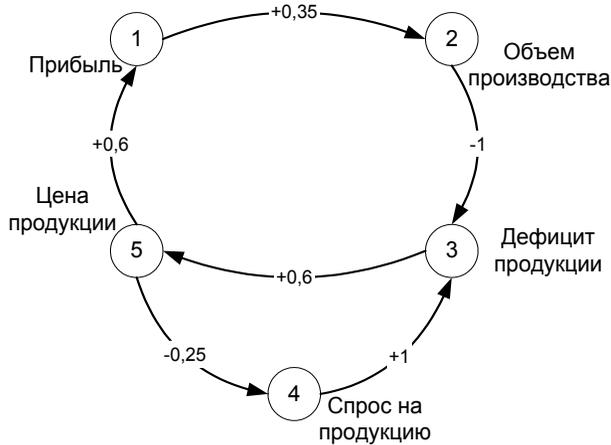


Рис.1. Пример когнитивной карты

Текущие значения всех факторов когнитивной карты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Текущие значения факторов

Фактор	Название фактора	Текущее значение $Z(0)$	Текущее значение $X(0)$
f_1	Прибыль	306,35 тыс. руб.	0,31
f_2	Объем производства	641,78 единиц	0,64
f_3	Дефицит продукции	202,14 единиц	0,2
f_4	Спрос на продукцию	215,16 единиц	0,22
f_5	Цена продукции	7,11 рублей	0,07

Задан вектор входных воздействий $P(0)=(0; 0; 0,15; 0; 0,15)$.

Он означает увеличение значений двух факторов $I_{np}=\{f_3, f_5\}$:

1. Дефицит продукции от 202,14 единиц до 233,93 единиц.
2. Цена продукции от 7,11 рублей до 8,18 рублей.

Начальный вектор приращений размерностью $2n$ имеет следующий вид: $P(0)=(0; 0; 0; 0; 0,15; 0; 0; 0; 0,15; 0)$.

Матрица прогноза P^t , включающая последовательные приращения факторов $P(1), \dots, P(4)$, вызванные входным воздействием $P(0)$ вычисляется с помощью соотношения (2) и приводится в таблице 2. В таблице 3 показана матрица прогноза P^t_{max} с выделенными максимальными элементами.

Таблица 2. Матрица прогноза P^f

	P(0)	P(1)	P(2)	P(3)	P(4)
p_1^+	0	0,09	0	0	0,014
p_1^-	0	0	0	0	0
p_2^+	0	0	0,033	0	0
p_2^-	0	0	0	0	0
p_3^+	0,150	0	0	0	0
p_3^-	0	0	0,036	0	0
p_4^+	0	0	0	0	0,015
p_4^-	0	0,037	0	0	0
p_5^+	0,150	0,1	0	0	0
p_5^-	0	0	0	0,022	0

Таблица 3. Матрица прогноза P^f_{max}

	P(0)	P(1)	P(2)	P(3)	P(4)
p_1^+	0	0,09	0	0	0
p_1^-	0	0	0	0	0
p_2^+	0	0	0,033	0	0
p_2^-	0	0	0	0	0
p_3^+	0,150	0	0	0	0
p_3^-	0	0	0,036	0	0
p_4^+	0	0	0	0	0,015
p_4^-	0	0,037	0	0	0
p_5^+	0,150	0,1	0	0	0
p_5^-	0	0	0	0,022	0

Объясняющие цепочки, полученные с помощью алгоритма выделения цепочек из «волны» приращений следующие:

- для положительного приращения ($f_3, 0,15; f_5, 0,1$);
- для отрицательного приращения - ($f_5, 0,15; f_4, 0,037; f_3, 0,036; f_5, 0,022$).

Вербализованные объяснения, полученные по предложенным шаблонам следующие:

Объяснение положительного приращения фактора «Цена продукции»:

1. Увеличилось значение фактора Дефицит продукции от 202,14 ед. до 233,93 ед., что
2. Увеличило значение фактора Цена продукции от 7,11 руб. до 7,80 руб.

Объяснение отрицательного приращения фактора «Цена продукции»:

1. Увеличилось значение фактора Цена продукции от 7,11 руб. до 8,18 руб. что
2. Уменьшило значение фактора Спрос на продукцию от 215,16 ед. до 207,24 ед., что
3. Уменьшило значение фактора Дефицит продукции от 202,14 ед. до 194,77 ед., что
4. Уменьшило значение фактора Цена продукции от 7,11 руб. до 6,95 руб.

Для верификации когнитивной карты эксперт-аналитик получает объяснение прогнозных значений интересующих его факторов. Анализ последовательности срабатывания правил, а также значения их приращений, представленные в лингвистическом виде позволяют судить о правдоподобности процессов получения прогнозных значений этих факторов и правдоподобности структуры когнитивной карты. Представление пары объяснений: процесса получения в когнитивной карте положительного и отрицательного прогнозного приращения позволяет аргументировать прогнозные значения факторов. Например, в объяснениях, рассмотренного примера, определены два процесса. Первый «Дефицит продукции» увеличивает «Цену» на 0,69 руб. Второй, замкнутый цикл «Цена»...«Цена», характеризует работу рыночного регулятора, уменьшающего «Цену» на 0,16 руб. Оба процесса получения значения фактора «Цена на продукцию» и структура когнитивной карты правдоподобны.

Метод верификации когнитивной карты на основе объяснения процессов получения значений факторов в прогнозах может быть использован совместно с методами верификации [2, 4-6], перечисленными во введении.

Предложенный метод построения объясняющих цепочек, основанный на анализе «волны» приращений факторов в матрице прогноза позволяет сократить время получения объяснения любого фактора ситуации для заданного множества входных факторов.

Литература

1. AXELROD R. *The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites*. - Princeton. University Press, 1976.
2. EDEN C. *Cognitive mapping* // *European Journal of Operational Research*. - 1988. - № 36. - pp. 1-13.
3. ВЕРТГЕЙМЕР М. *Продуктивное мышление*. М.: Прогресс, 1987. - 336 с.
4. АБРАМОВА Н.А., КОВРИГА С.В. О рисках, связанных с ошибками экспертов и аналитиков // *Проблемы управления*. – 2006. №6. - С.60-67.

5. АБРАМОВА Н.А., КОВРИГА С.В. *Некоторые критерии достоверности моделей на основе когнитивных карт* // Проблемы управления. 2008. №6. - С.23-33.
6. КОВРИГА С.В. *Верификация конкретных моделей на основе когнитивных карт* \ Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2009): Труды Международной конференции (17-19 ноября 2009 г., Москва). - С. 47-54.
7. ПОСПЕЛОВ Д.А. *Десять "горячих точек" в исследованиях по искусственному интеллекту.* // Интеллектуальные системы (МГУ). – 1996. – Т.1, вып.1-4. – С.47-56.
8. СИЛОВ В.Б. *Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке.* - М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
9. КУЛИНИЧ А.А. *Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва»* // Программные продукты и системы. №3, 2002 г. - С.25-28.
10. КУЛИНИЧ А.А. *Когнитивные карты и методы их анализа.* // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2008. Труды конференции. Т. 3.-М.: Ленанд, 2008, - С.292-299.
11. TORGERSON W.S. *Theory and Methods of scaling.* New York, 1958.
12. КОРМЕН Т., ЛЕЙЗЕРСОН Ч., РИВЕСТ Р. *Алгоритмы: построение и анализ.* М.: МЦНМО, 2002. –960 с.
13. WILLIAMS BRIAN C. *A theory of interactions: unifying qualitative and quantitative algebraic reasoning* // Artificial intelligence. 1991. V. 51. - P. 39-94.

COGNITIVE MAPS VERIFICATION BASED ON PROCESSES EXPLANATION

Alexander Kulinich, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. Senior scientist (kulinich@ipu.ru).

The cognitive maps verification method based on an explanation of factors values forecast processes is considered. The method of construction of explanations in qualitative cognitive maps is offered.

Keywords: cognitive maps, verification, explanation of forecasts.