

Т.А. ТАРАН, В.Н. ШЕМАЕВ

## ОБОБЩЕННЫЕ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ В ЗАДАЧАХ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

---

**Abstract:** Cognitive models as weighted oriented graphs for weak-structured situations are considered in the paper. The example of cognitive model for market situation is described. Methodics for generalized evaluation of factors consisting of various parameters based on qualitative, fuzzy and structured methods are suggested.

**Key words:** cognitive model, cognitive map, factor evaluation.

**Анотація:** У роботі розглянуто когнітивні моделі слабо структурованих ситуацій, які можуть бути представлені у вигляді напружених орієнтованих графів. Наводиться демонстраційний приклад формалізації ситуації на ринку високотехнологічної продукції. Запропоновані методики на базі якісних, нечітких та структурних методів для одержання узагальнених оцінок факторів ситуації, які складаються з різноманітних показників.

**Ключові слова:** когнітивне моделювання, когнітивні карти, оцінка факторів.

**Аннотация:** В работе рассматриваются когнитивные модели слабоструктурированных ситуаций, представимые в виде нагруженных ориентированных графов. Приводится демонстрационный пример описания ситуации на рынке високотехнологической продукции. Предлагаются методики на основе качественных, нечетких и структурных методов для получения обобщенных оценок факторов ситуации, состоящих из различных показателей.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование, когнитивные карты, оценка факторов.

### 1. Введение

Такие области, как социально-административная сфера, внешнеполитическая ситуация, ситуация на рынке високотехнологической продукции, социальные, межнациональные и межгосударственные конфликты и т.п., относятся к типу слабоструктурированных областей. Исследования психологических аспектов принятия решений позволили выявить основные проблемы лица, принимающего решение (ЛПР) в подобных областях. Эти проблемы заключаются в том, что ЛПР вынужден учитывать большое количество разнородных и взаимосвязанных между собой факторов в условиях, когда эти взаимосвязи неясны и не все факторы очевидны. Качество принятия решения в таких условиях существенно зависит от количества вариантов решений, которое видит руководитель. Это означает, что ЛПР должно действовать комплексно и учитывать в решениях различные аспекты целостной системы, т.е. одновременно воздействовать на разные факторы. Поскольку ситуация непрерывно меняется, а многие ее факторы не поддаются измерению и остаются неизвестными до некоторого момента времени, руководитель вынужден действовать в условиях неполноты и недостоверности текущей информации. При принятии решений руководитель основывается на личном опыте и личных предпочтениях, учитывая при этом научно обоснованные рекомендации как важнейшие аргументы.

В связи с этим для автоматизации управленческой деятельности в слабоструктурированных областях целесообразно создавать систему поддержки принятия решений, ориентированную на субъекта – ЛПР. Субъектно-ориентированные системы поддержки принятия решений (СППР) строятся на основе методов, учитывающих индивидуальные представления, предпочтения и субъективный опыт ЛПР. Основной целью функционирования

такой системы являются формирование, исследование и анализ субъективных моделей управленческих ситуаций и управленческой деятельности в целом.

Одним из подходов к созданию субъектно-ориентированной СППР является когнитивное моделирование ситуации [1 – 6]. На основе анализа мнений экспертов и ЛПР строится структурное описание ситуации в виде когнитивной карты, вершины которой представляют основные факторы ситуации, а дуги – взаимовлияние факторов друг на друга. Такое представление ситуации позволяет проводить структурный и динамический анализ ситуации, предсказывать возможный ход развития ситуации при изменении некоторых факторов и вырабатывать стратегические решения. Основы теории когнитивного моделирования были заложены в работах Аксельрода и Хайдера [2 – 4] и получили дальнейшее развитие в [1, 6 – 10]. В данной работе предполагается использование знаковых и нечетких когнитивных моделей [1, 6, 10], приводится демонстрационный пример когнитивной модели в виде знакового ориентированного графа для упрощенного описания ситуации на рынке высокотехнологичной продукции.

Основными проблемами при создании когнитивной модели является извлечение знаний у экспертов. Обычно используются прямые методы извлечения знаний как для представления структуры ситуации, так и для оценки величин факторов и их влияний друг на друга [8]. Однако основные факторы ситуации могут состоять из различных показателей, имеющих разную природу и различные оценки. Отсюда возникает задача получения обобщенных оценок факторов на основе оценок их составных частей. Этой проблеме посвящена данная статья. В работе предложены методики получения качественных, нечетких и лингвистических обобщенных оценок факторов, состоящих из разнородных показателей. Использование этих методик позволяет учитывать сложную структуру факторов когнитивной модели, а также субъективные предпочтения ЛПР или аналитика-исследователя проблемной области.

## **2. Структурный анализ ситуаций**

При принятии решений в слабо структурированных областях используются структурные методы анализа ситуации [1 – 4]. Структурный анализ ситуации включает концептуальную реконструкцию субъективных представлений [5], в том числе:

- выявление значимых факторов и взаимосвязей между ними;
- выявление целевых факторов и возмущений;
- выявление множества оснований и аргументов для принятия решений;
- построение концептуальных когнитивных моделей.

В данной работе используется методология когнитивного моделирования [1 – 10]. Задача поддержки принятия решений в когнитивном моделировании определяется как задача разработки стратегии для перевода ситуации из текущего состояния в целевое в условиях неопределенности. Разработка стратегии основывается на модели ситуации, которая в слабоструктурированных ситуациях представляется как субъективная модель, включающая субъективные оценки значений факторов ситуации и модель ее функциональной структуры, описывающую известные субъекту законы и закономерности наблюдаемой ситуации. Методология когнитивного моделирования включает следующие этапы:

- 1) формулировка и уточнение проблемы, на решение которой направлен процесс когнитивного моделирования;
- 2) построение модели ситуации с помощью экспертной процедуры выявления наиболее существенных факторов ситуации, их оценки и определения зависимостей между ними;
- 3) анализ и прогноз развития ситуации при изменении некоторых факторов ситуации – решение прямой задачи анализа ситуации;
- 4) выработка стратегических решений для достижения заданных целей – решение обратной задачи анализа ситуации;
- 5) выработка советов и рекомендаций для принятия решений.

Традиционным методом когнитивного моделирования являются построение и анализ когнитивных карт [1], направленный на выявление причинно-следственных связей между факторами ситуации. Формально когнитивная карта представляется в виде ориентированного графа, узлам которого соответствуют факторы ситуации, а дуги нагружены знаками «+» или «-» (знаковый ориентированный граф) [1, 7, 14] или значениями функции принадлежности взаимосвязей (нечеткий ориентированный граф) [6, 9, 10], которые отображают тип каузального взаимодействия между факторами. Такое представление структуры ситуации позволяет использовать математические методы теории графов [1], методы структурного баланса [4], нечеткие методы [6] для их обработки и анализа. Когнитивные карты могут быть получены путем прямого опроса экспертов и достаточно хорошо отражают декларативный тип мышления, при котором основное внимание уделяется факторам, а связи между ними представляются весьма простыми.

В структурном анализе ситуации можно выделить две задачи: статический и динамический анализ.

Статический анализ нужен для того, чтобы определить взаимоотношения между элементами ситуации и оценить основные факторы, влияющие на нее. Динамический анализ позволяет определить степени влияния некоторых (или всех) факторов друг на друга, в том числе на целевые факторы. В задаче динамического анализа моделируется развитие ситуации, проявляющееся в изменении значений основных факторов при внесении возмущения в систему. Обратная задача динамического анализа – выработка стратегических решений для достижения поставленных целей – позволяет получить ряд рекомендаций для изменения ситуации в требуемом направлении.

### **3. Когнитивная модель ситуации**

Структура ситуации может быть представлена в виде ориентированного нагруженного графа  $G(F, W)$ , где  $F$  – множество факторов,  $W \subseteq F \times F$  – ориентированные дуги графа, нагруженные значениями влияний  $w_i \in W$ . Такой граф, в силу субъективности его составления, называют когнитивной картой [1, 3].

Простые когнитивные модели представляют собой знаковые ориентированные графы, в которых вес дуги  $w_i$  – это знаки «+» или «-». Наиболее существенные для рассматриваемой

проблемы факторы считаются вершинами орграфа. От фактора  $u$  к фактору  $v$  проводится дуга, если фактор  $u$  оказывает существенное воздействие на  $v$ . Эта дуга имеет знак «+», если воздействие является «усилением» возмущения, т.е. увеличение  $u$  приводит к увеличению  $v$  и уменьшение  $u$  приводит к уменьшению  $v$ . Дуга имеет нагрузку «-», если воздействие фактора  $u$  на  $v$  является «торможением» возмущения, т.е. увеличение  $u$  приводит к уменьшению  $v$  и наоборот. Такая модель позволяет рассматривать динамические системы, состоящие из множества факторов, оказывающих влияние друг на друга. В некоторые узлы этой системы может быть внесено возмущение, а поведение системы в этом случае может быть направлено на погашение этого возмущения (отрицательная обратная связь) или на усиление возмущения (положительная обратная связь).

В качестве демонстрационного примера рассмотрим ситуацию на рынке высокотехнологичных средств (ВТС), которую будем описывать множеством факторов:

1. Емкость рынка ВТС.
2. Экономическая конъюнктура на рынке.
3. Требования контроля международного сообщества.
4. Милитаризация в мире.
5. Экспорт ВТС.

На рис. 1 представлена когнитивная модель, показывающая влияние выделенных факторов друг на друга.

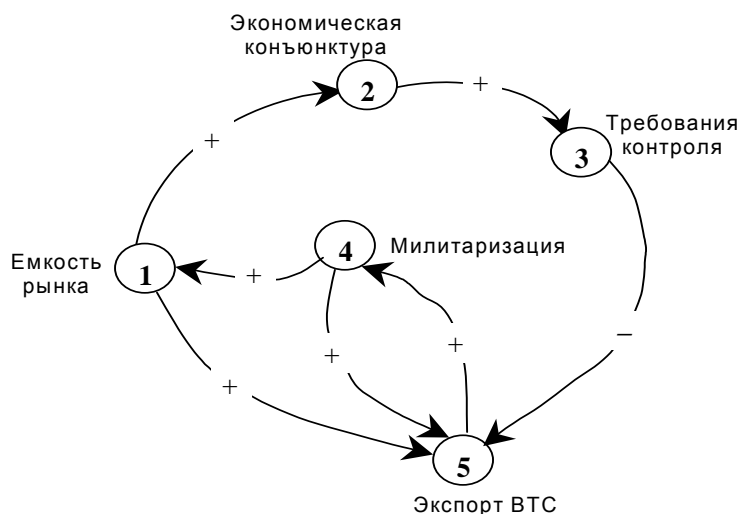


Рис. 1. Знаковая когнитивная модель ситуации

По модели мы можем выделить контуры, усиливающие и ослабляющие возмущения. Предположим, «требования контроля» усилились. Как повлияет это усиление на другие факторы ситуации? В первую очередь, согласно нашей модели, уменьшится экспорт ВТС (путь 3-5). Это скажется на емкости рынка: уменьшение экспорта ВТС приведет к снижению уровня милитаризации, что, в свою очередь, приведет к снижению емкости рынка (путь 5-4-1). Снижение емкости рынка приведет к снижению экономической конъюнктуры, что повлияет на требования контроля: они также снизятся (путь 1-2-3). Таким образом, контур 3-5-4-1-2-3 образует

отрицательную обратную связь: повышение требований контроля приводит к их ослаблению через некоторое время.

Если ввести понятие знака пути (контура) как произведение знаков входящих в него дуг, то можно вычислить все влияния факторов друг на друга и найти все контуры с положительной и отрицательной обратной связью. Если знак контура «+», то он осуществляет положительную обратную связь, если «-» – отрицательную. В нашей модели контур 3-5-4-1-2-3 имеет знак «-», контур 5-4-5 реализует положительную обратную связь, что соответствует концепции гонки вооружений: усиление милитаризации в мире способствует производству и экспорту ВТС, что, в свою очередь, повышает уровень милитаризации. Эту же тенденцию отражает и контур 4-1-5-4.

Знаковый орграф представляет собой упрощенную субъективную модель функциональной структуры ситуации, отражает основные закономерности проблемной области, известные аналитику, и является «сырым» материалом для дальнейших исследований и преобразований. Анализ знакового орграфа дает возможность выявить и проверить основные зависимости между факторами, которые впоследствии используются для корректировки и дополнения когнитивной модели. Для анализа, прогноза и поддержки стратегических моделей используются более сложные нечеткие когнитивные модели [6, 9, 10].

В нечеткой когнитивной модели значения факторов и связей между ними описываются с помощью лингвистических переменных и нечетких отношений. Значения факторов в вершинах когнитивной модели задаются как лингвистические переменные с вербальными значениями, каждое из которых представляет собой нечеткое множество с функцией принадлежности, определенной на интервале  $[-1, 1]$  или  $[0, 1]$ .

Для задания начальных значений факторов и нагрузок на дуги когнитивной карты обычно используются прямые методы опроса экспертов [6, 8]. Учитывая субъективность когнитивной модели и приближенность вычислений, такие процедуры определения нагрузок на дуги вполне оправданны. Однако оценка значений факторов является более сложной задачей ввиду того, что они могут состоять из различных показателей.

#### **4. Обобщенные оценки факторов**

##### **4.1. Качественные оценки факторов**

Факторы, описывающие ситуацию, могут иметь сложную структуру. Так, в частности, они могут складываться из множества показателей, оказывающих влияние на значение фактора. Например, фактор «*конъюнктура*» отражает положение конкурирующих сил на рынке. Тогда он может включать следующие показатели:

- количество экспортеров продукции на рынке (*число*);
- состояние политического сотрудничества конкурентов с основными стратегическими партнерами (*низкое, среднее, высокое*);
- состояние военно-технического сотрудничества конкурентов с основными стратегическими партнерами (*низкое, среднее, высокое*);
- участие в военно-политических блоках (*низкое, среднее, высокое*);
- участие в экономических союзах (*низкое, среднее, высокое*);

- участие в международных режимах экспортного контроля (*низкое, среднее, высокое*);
- имидж государства-экспортера (*низкий, средний, высокий*);
- социальная напряженность в обществе (*низкая, средняя, высокая*).

Необходимо найти значения факторов в вершинах когнитивной карты на основании имеющихся оценок показателей, из которых складывается данный фактор.

Пусть когнитивная карта имеет  $k$  вершин, соответствующих факторам  $F = \{F_1, \dots, F_k\}$ . Обобщенные оценки факторов будем обозначать  $\eta(F_i)$ ,  $i = 1, \dots, k$ . Каждый фактор соответствует одной вершине когнитивной карты. Совокупность оценок значений факторов  $\eta(F_i) = (\eta(F_1), \dots, \eta(F_k))$  в момент времени  $t$  будем называть *состоянием* когнитивной карты (состоянием ситуации).

Определим каждый фактор  $F_i \in F$  как лингвистическую переменную [11]  $F_i = \langle f_i, D(f_i) \rangle$ , где  $f_i$  – наименование фактора  $F_i$ ,  $D(f_i)$  – терм–множество лингвистической переменной  $F_i$ ,  $\alpha \in D(f_i)$  – вербальные значения лингвистической переменной, каждое из которых является нечетким множеством с областью определения  $T_{F_i}$  и функцией принадлежности  $\mu_\alpha: T_{F_i} \rightarrow [0, 1]$ .

Например, фактор «конъюнктура» описывается лингвистической переменной «уровень конъюнктуры» с лингвистическими значениями  $\alpha_1 = \text{«низкий»}$ ,  $\alpha_2 = \text{«средний»}$ ,  $\alpha_3 = \text{«высокий»}$ , каждое из которых есть нечеткое множество с областью определения  $T_{F_i} = [-1, 1]$  и функцией принадлежности  $\mu_\alpha: T_{F_i} \rightarrow [0, 1]$ .

Пусть каждый фактор описывается множеством показателей  $X(F_i) = \{X_1, \dots, X_n\}$ ,  $i = 1, \dots, k$ , каждый из которых имеет значение  $\alpha_i \in \{-1, 0, 1\}$ , где 1 соответствует лингвистическому значению «низкий» («малый»), 0 – значению «средний», 1 – «высокий» («большой»). Множество  $D = \{-1, 0, 1\}$ , унифицирующее множество лингвистических значений, будем называть множеством *качественных значений* [14]. Под *качественным состоянием* вершины  $F_i$  будем понимать вектор значений показателей  $|X(F_i)| = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ ,  $\alpha_i \in D$ , описывающих значение фактора  $F_i$  в фиксированный момент времени. В зависимости от состояния вершины фактору нужно присвоить одно из качественных (лингвистических) значений  $\alpha_i$  с приписанным ему значением функции принадлежности  $\mu_{\alpha_i}$ , т.е. нечеткое значение  $\eta(F_i) = \alpha_i / \mu_{\alpha_i}$ .

Пространство качественных состояний для фактора, состоящего из  $n$  показателей, определяется как декартово произведение  $D^n$ , которое образует дистрибутивную векторную решетку с универсальной нижней гранью  $S_{\min} = (-1, -1, \dots, -1)$  и универсальной верхней гранью  $S_{\max} = (1, 1, \dots, 1)$ . Например, если фактор состоит из двух показателей  $X_1$  и  $X_2$ , то пространство качественных состояний состоит из девяти состояний, представленных на рис. 2.

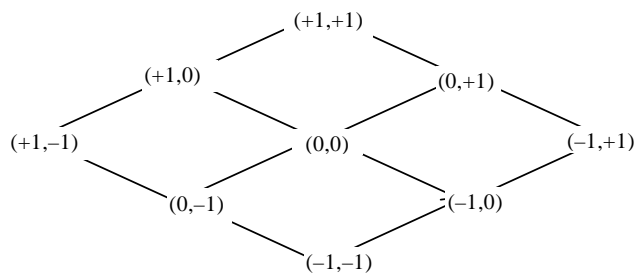


Рис. 2. Пространство качественных состояний

Введем метрику в пространстве качественных состояний. Под *расстоянием Хемминга* между качественными состояниями  $S$  и  $R$  будем понимать

$$d(S, R) = \sum_{i=1}^n |\alpha_i^S - \alpha_i^R|,$$

где  $\alpha_i^S, \alpha_i^R$  – качественные значения показателей  $X_i^S$  и  $X_i^R$  состояний  $S$  и  $R$

соответственно. Для расстояния Хемминга на множестве качественных состояний выполняются все свойства расстояния, а также свойство:  $0 \leq d(S, R) \leq 2n$ , где  $n$  – количество показателей фактора.

Относительное расстояние Хемминга между двумя состояниями определяется как

$$\rho(S, R) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n |\alpha_i^S - \alpha_i^R|,$$

при этом выполнены неравенства:  $0 \leq \rho(S, R) \leq 1$ .

Очевидно, что если каждая цепь  $S_i < S_{i+1} < \dots < S_j$  имеет длину  $l$  в пространстве состояний, то  $d(S_i, S_j) = l$ . *Высотой*  $h(S_i)$  состояния  $S_i$  в упорядоченном множестве  $D^n$  будет расстояние  $d(S_{\min}, S_i)$  между наименьшим элементом множества  $D^n$  – состоянием  $S_{\min}$  и состоянием  $S_i$ . Относительная высота состояния  $S_i$  в частично упорядоченном множестве качественных состояний равна

$$h'(S_i) = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n | -1 - \alpha_j^{S_i} |,$$

причем  $h'(S_i) \in [0, 1]$ . Нетрудно показать, что относительная высота может быть вычислена по количеству 0 и 1 в векторе состояния как  $h'(S_i) = (2r_1 + r_0) / 2n$ , где  $r_0$  – количество 0,  $r_1$  – количество 1 в векторе состояния. Обобщенная оценка фактора  $v(F_j) \in [-1, 1]$  может быть получена как  $v(F_j) = 2h'(S_j) - 1$ . Эта оценка характеризует удаленность текущего состояния от центра пространства состояний.

Если показатели фактора имеют различную значимость, то это можно учесть с помощью взвешенных оценок. Взвешенная относительная высота состояния вычисляется по формуле

$$h'(S_j) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \omega_i | -1 - \alpha_i^S |, \quad \sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \quad 0 \leq \omega_i \leq 1,$$

где  $\omega_i$  – весовой коэффициент, приписанный  $i$ -му показателю.

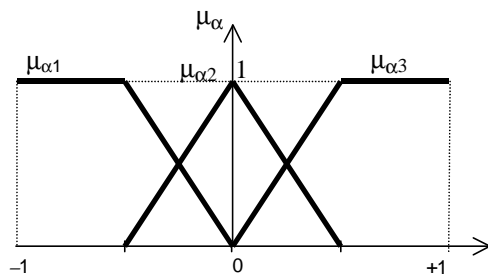


Рис. 3. Функции принадлежности качественных значений

Для того, чтобы получить нечеткое значение состояния вершины, воспользуемся следующим преобразованием. Построим функции принадлежности  $\mu_{\alpha_i}$  для  $\alpha_i \in \{-1, 0, 1\}$  (рис. 3).

По этим функциям принадлежности для каждого значения обобщенной оценки фактора  $\nu(F_i) \in [-1, 1]$  можно найти его нечеткое значение  $\eta(F_i) = \alpha_i / \mu_{\alpha_i}$ .

Аналогично можно ввести расстояние Евклида и другие метрики. Однако учитывая

субъективность и приближенность оценок показателей, применение более точных метрик не представляется обоснованным.

#### 4.2. Определение показателей как лингвистических переменных

Выше была приведена процедура вычисления обобщенных оценок факторов на основе качественных значений показателей. Однако природа показателей различна. Каждый показатель  $X(F_i)$ ,  $i = 1, \dots, k$ , может характеризоваться:

- 1) лингвистическим значением (например: *очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий*);
- 2) нечетким значением (например, *низкий/0.3, средний/0.8*);
- 3) количественным значением, определенным на порядковой или номинальной шкале;
- 4) бинарными признаками, позитивным и негативным, каждый из которых характеризуется частотой его появления.

В общем случае каждый показатель  $X_i$  принимает значения из своей области определения  $D_i$ . Областью определения показателя могут служить множества целых и действительных чисел, нечеткие множества, лингвистические оценки, поэтому пространство состояний может быть очень большим и, в общем случае, бесконечным. Для того, чтобы унифицировать все показатели к значениям  $x_i \in \{-1, 0, +1\}$ , можно перейти к нечеткому описанию показателей, аналогичному описанию факторов.

Определим каждый показатель  $X_i \in X$  как лингвистическую переменную  $X_i = \langle \beta, D(\beta) \rangle$ , где  $\beta$  – наименование показателя  $X_i$ ,  $D(\beta) = \{-1, 0, 1\}$  – терм-множество лингвистической переменной  $X_i$ ,  $\alpha_j \in D(\beta)$  – значения лингвистической переменной, каждое из которых является нечетким множеством с областью определения  $T_{x_j}$  и функцией принадлежности  $\mu_{\alpha}(x): T_{x_j} \rightarrow [0, 1]$ .



Например, показатель, измеряемый на порядковой шкале, может быть определен как лингвистическая переменная  $X_i$ , где  $\beta = \langle \text{имя показателя} \rangle$ , с терм-множеством  $D(\beta) = \langle \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \rangle$ , с областью определения  $T_{x_i} = [0, \infty]$ , где,  $\alpha_1 = -1$  («низкий»),  $\alpha_2 = 0$  («средний»),  $\alpha_3 = 1$  («большой»), – нечеткие множества с функциями принадлежности  $\mu_{\alpha_1}$ ,  $\mu_{\alpha_2}$ ,  $\mu_{\alpha_3}$  соответственно (рис. 4).

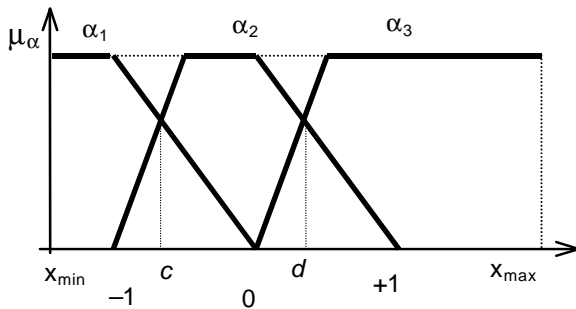


Рис. 4. Нечеткое определение показателя

Функции принадлежности, описывающие значения лингвистической переменной, заданы на предметной шкале  $T_{x_i}$  и отображают эту шкалу на множество термов лингвистической переменной неоднозначно. Построим отображение

$$\varphi(x) : [x_{\min}, x_{\max}] \rightarrow \{-1, 0, 1\},$$

такое, что каждый элемент  $x$  имеет единственный образ в  $D = \{-1, 0, 1\}$ . Это

отображение ставит в соответствие каждому элементу предметной шкалы  $x_i$  то значение лингвистической переменной, для которого значение функции принадлежности максимально:

$$\varphi(x) : \mu_{\alpha_j} = \max\{\mu_{\alpha_j}^i(x_i)\}, \quad j = 1, \dots, m.$$

В результате получим разбиение предметной шкалы значения показателя  $x_i$  на  $m$  непересекающихся интервалов, где  $m$  – количество элементов в терм-мноестве лингвистической переменной. Например, множество значений признака  $x_i$ , определенное на интервале  $T_{x_i} = [x_{\min}, x_{\max}]$ , разбивается отображением  $\varphi(X)$  на три непересекающихся интервала:  $[x_{\min}, c]$ , соответствующего  $\alpha_1$ ,  $(c, d)$ , соответствующего  $\alpha_2$ ,  $[d, x_{\max}]$ , соответствующего  $\alpha_3$  (рис. 4). Это отображение сюръективно и сохраняет отношение упорядоченности, определенное на предметной шкале  $T_{x_i}$ . Установленные отображения позволяют обобщить текущее состояние вершины когнитивной карты до качественного состояния.

#### 4.3. Обобщенные оценки показателей с бинарными признаками

Рассмотрим факторы, состоящие из показателей, которые характеризуются набором бинарных признаков. В этом случае каждый показатель представим в виде тройки:  $X_i = (x_i, P_i, N_i)$ , где  $x_i$  – значение показателя,  $P_i$ ,  $N_i$  – частоты появления “позитивного” и “негативного” признаков показателя соответственно. Например, для оценки социальной напряженности могут использоваться показатели с бинарными признаками [12 – 14]:  $X_1$  – аргументация мнений:  $P_1$  –

рациональная,  $N_1$  – эмоциональная;  $X_2$  – вероятность сближения:  $P_2$  – единение,  $N_2$  – разобщение;  $X_3$  – оценочная насыщенность:  $P_3$  – позитивная,  $N_3$  – негативная и т.д. Подобные показатели используются и в политологии для оценки уровня взаимоотношений между государствами, политического стиля одного государства по отношению к другому и пр.

Значение показателя  $X_i$  вычисляется по частотам появления его признаков:

$$x_i = (P_i - N_i) / (P_i + N_i),$$

где  $P_i, N_i$  – частоты появления позитивного и негативного признаков соответственно.

Например, индикаторы взаимоотношений между государствами определяются как  $x = (P - N) / (P + N + Ne/2)$ , где  $P$  – частота «положительных» событий, характеризующих взаимоотношения между государствами,  $N$  – частота соответствующих «отрицательных» событий,  $Ne$  – частота нейтральных событий. При социологических исследованиях для оценки некоторых показателей часто используются опросники типа голосования, в которых респондентам предлагаются два варианта ответов: *да, нет*. Тогда, в зависимости от количества полученных ответов, может быть вычислена оценка показателя как  $x = (P - N) / (P + N)$ , где  $N$  – количество ответов *нет*,  $P$  – количество ответов *да*.

Во всех этих случаях значение показателя  $x_i$  принадлежит интервалу  $[-1, 1]$ . Для того, чтобы получить качественное значение признака  $\alpha(x_i)$ , достаточно выполнить простое преобразование:

$$\alpha(x_i) = \begin{cases} -1, & \text{если } x_i < 0, \\ 0, & \text{если } x_i = 0, \\ 1, & \text{если } x_i > 0. \end{cases}$$

Значение показателя  $x > 0$  может интерпретироваться как «преобладание позитивных признаков»,  $x < 0$  – как «преобладание негативных признаков»,  $x = 0$  возникает в тех случаях, когда  $P = N$  и может интерпретироваться как «равновесие». Однако может возникнуть ситуация, когда  $P = N = 0$ , например, если отношения между государствами прерваны, поэтому отсутствуют как позитивные, так и негативные события. Очевидно, что эта ситуация отличается от ситуации равновесия, однако во всех методиках она приравнивается к ней, т.е. оценка показателя считается равной нулю.

Для устранения этого недостатка предлагается ввести оценку  $\tau$  – «неопределенность» и рассматривать область определения качественных оценок  $D_4 = \{1, -1, 0, \tau\}$ . Тогда оценка показателя  $X$  может быть отображена на множество значений  $D_4 = \{1, -1, 0, \tau\}$  с помощью элементарного преобразования:

$$\delta(x_i) = 1, \text{ если } x_i > 0,$$

$$\delta(x_i) = -1, \text{ если } x_i < 0,$$

$$\delta(x_i) = 0, \text{ если } x_i = 0 \text{ и } P = N \neq 0,$$

$\delta(x_i) = \tau$ , если  $P = 0$ ,  $N = 0$  и  $x_i$  не определено.

Применение таких оценок, в отличие от традиционного подхода, позволяет различать равенство позитивных и негативных признаков, что можно интерпретировать как состояние равновесия, и полное отсутствие тех и других, что соответствует состоянию неопределенности. Что лучше: «уравновешенное» состояние или неопределенное, – однозначно сказать нельзя. Все зависит от контекста применения подобных оценок. Поэтому полезно иметь такие средства структурирования пространства состояний, которые учитывают разные предпочтения используемых оценок.

## 5. Системы предпочтений оценок показателей с бинарными признаками

Будем рассматривать оценки показателей, определенные на множестве  $D_4 = \{1, -1, 0, \tau\}$ . Пусть  $X(F_i) = \{X_1, \dots, X_n\}$  – вектор показателей фактора  $F_i$ , и каждый показатель  $X_i \in X$  принимает значения  $\delta_i \in D_4$ . Тогда вектор оценок  $\Delta_i = (\delta_1, \dots, \delta_n)$  описывает качественное состояние  $i$ -й вершины когнитивной карты. Для вычисления обобщенной оценки фактора необходимо ввести метрику в пространстве состояний  $D_4^n$ . Для этого определим отношение предпочтения на множестве  $D_4$ .

Можно по-разному интерпретировать значение оценки 0. В некоторых ситуациях она может интерпретироваться как состояние равновесия, которое наиболее предпочтительно (например, в конфликтных ситуациях). Наименее предпочтительной оценкой можно считать  $-1$ , когда состояние описывается преимущественно негативными признаками. Будем считать, что состояние неопределенности  $\tau$  более предпочтительно, чем  $-1$ , но менее предпочтительно, чем 0 и 1. Тогда мы получим граф отношения предпочтения  $(D_4, \leftarrow_{\vee})$  (рис. 5,а), где  $x \leftarrow_{\vee} y$  обозначается ориентированной дугой  $(x, y)$  и читается как  $y$  предпочтительнее, чем  $x$ . Будем называть это отношение толерантным отношением предпочтения ( $\vee$ -предпочтением).

В других случаях наиболее предпочтительной может быть оценка 1, когда состояние описывается преимущественно позитивными признаками, а значение 0 может интерпретироваться как противоречие, конфликт и будет наименее предпочтительно. Значение неопределенности будет более предпочтительно, чем 0 и  $-1$ , но менее предпочтительно, чем 1. Мы получим граф  $(D_4, \leftarrow_{\wedge})$  (рис. 5, б), двойственный исходному, на котором дуга соответствует отношению,

двойственному отношению толерантного предпочтения. Назовем такую систему максималистской системой предпочтения ( $\wedge$ -предпочтением).

Тогда пара ориентированных графов  $G_{\vee} = (D_4, \leftarrow_{\vee})$ ,  $G_{\wedge} = (D_4, \leftarrow_{\wedge})$  отображает рефлексивное, антисимметричное и нетранзитивное отношение

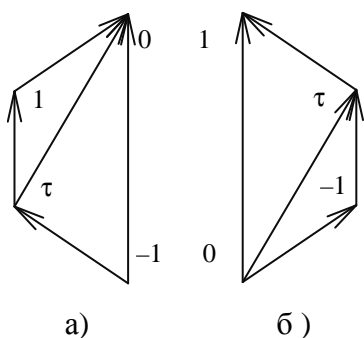


Рис. 5. Графы отношений предпочтения:  
а) граф  $\vee$ -предпочтения; б) граф  $\wedge$ -предпочтения

предпочтения, между которыми существует дуальный изоморфизм

$$\psi : D_4 \rightarrow D_4 \Leftrightarrow \{-1 \rightarrow 1, 1 \rightarrow -1, 0 \rightarrow 0, \tau \rightarrow \tau\}.$$

На рис. 5 отношение предпочтения изображено так, что более предпочтительное значение располагается выше, чем менее предпочтительное.

Введенные системы предпочтений могут иметь различные интерпретации. Например, рассматривая такие стили поведения в конфликте, как победа (1), поражение (-1), компромисс (0) и уклонение от конфликта ( $\tau$ ), получим, что граф  $(D_4, \Leftarrow_{\vee})$ , соответствующий  $\vee$ -предпочтению, отражает систему ценностей, направленную на достижение компромисса; при этом поражение в конфликте является наихудшим исходом, а уклонение от конфликта менее предпочтительно, чем компромисс или победа. Граф  $(D_4, \Leftarrow_{\wedge})$ , соответствующий  $\wedge$ -предпочтению, отражает систему ценностей, в которой установка на победу является наиболее предпочтительной, а уклонение от конфликта предпочтительнее, чем компромисс. Тогда  $\vee$ -система предпочтений соответствует компромиссному поведению, а  $\wedge$ -система – непримиримому поведению.

На структурированном множестве  $D_4 = \{-1, 0, 1, \tau\}$  можно ввести метрику в пространстве оценок  $D_4^n$ .

Определим матрицу  $M_{\vee}$  максимальных расстояний в графе  $G_{\vee} = (D_4, \Leftarrow_{\vee})$  и матрицу  $M_{\wedge}$  максимальных расстояний в графе  $G_{\wedge} = (D_4, \Leftarrow_{\wedge})$  как длин наибольших путей из вершины  $x$  в вершину  $y$ . Согласно этому определению, не все элементы матрицы получают значения. Доопределив матрицы симметрично относительно диагонали, получим полные матрицы расстояний (табл. 1, 2).

Таблица 1. Матрица  $M_{\vee}$

$d_{\vee}$	1	-1	0	$\tau$
1	0	2	1	1
-1	2	0	3	1
0	1	3	0	2
$\tau$	1	1	2	0

Таблица 2. Матрица  $M_{\wedge}$

$d_{\wedge}$	1	-1	0	$\tau$
1	0	2	3	1
-1	2	0	1	1
0	3	1	0	2
$\tau$	1	1	2	0

Будем называть расстояние  $d(\delta_i, \delta_j)$  между двумя оценками  $\delta_i, \delta_j \in \{1, -1, 0, \tau\}$ , задаваемое матрицами расстояний  $M_{\vee}, M_{\wedge}$ , *элементарным расстоянием*. Теперь мы можем определить расстояние Хемминга между двумя состояниями. Пусть  $S$  и  $R$  – два состояния, такие что  $S = (\delta_S(x_1), \dots, \delta_S(x_n))$  и  $F = (\delta_R(x_1), \dots, \delta_R(x_n))$ ,  $\delta \in \{1, -1, 0, \tau\}$ . Введем нормированное элементарное расстояние  $d'(\delta(x_i), \delta(x_j)) \in [0, 1]$  между двумя оценками  $\delta(x_i), \delta(x_j)$ :  $d'(\delta(x_i), \delta(x_j)) = d(\delta(x_i), \delta(x_j)) / 3$ ,  $\delta \in \{1, -1, 0, \tau\}$ . Тогда нормированное расстояние Хемминга между двумя состояниями  $S$  и  $R$  есть

$$d(S, R) = \sum_{i=1}^n d'(\delta_S(x_i), \delta_R(x_i)),$$

где  $n$  – длина вектора показателей, описывающих состояние (длина вектора состояния).

Максимальное нормированное расстояние между двумя состояниями есть  $d_{\max}(S, R) = n$ .

Относительное взвешенное нормированное расстояние Хемминга  $\rho(S, R) \in [0, 1]$  определяется как

$$\rho(S, R) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i d'(\delta_S(x_i), \delta_R(x_i)), \quad \sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \quad 0 \leq \omega_i \leq 1,$$

Элементарные расстояния между двумя оценками выбираются из матриц расстояний  $M_{\vee}, M_{\wedge}$  в зависимости от типа предпочтения для рассматриваемой проблемы.

Аналогично можно ввести взвешенное нормированное расстояние Евклида:

$$e(S, R) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [\omega_i d'(\delta_S(x_i), \delta_R(x_i))]^2}$$

и относительное взвешенное нормированное евклидово расстояние:

$$\varepsilon(S, R) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\omega_i d'(\delta_S(x_i), \delta_R(x_i))]^2}.$$

Относительное нормированное расстояние не зависит от количества элементов вектора состояний и позволяет сравнивать любые ситуации по степени предпочтительности на шкале  $[0, 1]$ .

## 6. Вычисление обобщенных оценок при различных системах предпочтений

Рассмотрим свойства расстояния в пространстве оценок показателей при различных системах предпочтений. Согласно  $\vee$ -предпочтению, наименее предпочтительной оценкой является  $-1$ , следовательно, состояние  $S_{least}^{\wedge} = (-1, -1, \dots, -1)$  будет наименее предпочтительным, а состояние  $S_{most}^{\vee} = (0, 0, \dots, 0)$  – наиболее предпочтительным. Согласно  $\wedge$ -предпочтению, наименее предпочтительным будет состояние  $S_{least}^{\vee} = (0, 0, \dots, 0)$ , а наиболее предпочтительным – состояние  $S_{most}^{\wedge} = (1, 1, \dots, 1)$ . Относительное нормированное расстояние  $\rho(S_{least}, S_{most})$  или  $\varepsilon(S_{least}, S_{most})$  между двумя ситуациями  $S_{least}, S_{most}$  для обеих систем предпочтения будет наибольшим:  $\rho(S_{least}, S_{most}) = 1$ . Введем понятие статуса состояния (аналог высоты ситуации в пространстве качественных ситуаций).

Под статусом состояния  $h(S_i)$  будем понимать взвешенное расстояние между наименее предпочтительным состоянием  $S_{least}^{\gamma}$ , согласно заданной системе предпочтений  $\gamma$ , и текущей ситуацией  $S_i$ , определяемое как

$$h(S_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [\omega_j d'(\delta_{least}^{\gamma}(x_j), \delta_i^{\gamma}(x_j))],$$

где  $d'(\delta_{least}^y(x_i), \delta_i^y(x_i))$  – элементарное нормированное расстояние, определяемое по матрицам  $M_{\vee}$  или  $M_{\wedge}$  в зависимости от выбранной системы предпочтений  $\gamma \in \{\vee, \wedge\}$ . Значение  $h(S_i) \in [0, 1]$ , и чем меньше значение статуса, тем ближе лежит текущая ситуация к наименее предпочтительной. В зависимости от системы предпочтений, статусы принимают различные значения для одной и той же ситуации.

Обобщенная оценка состояния приводится к интервалу  $[-1, 1]$  с помощью преобразования

$$v(F_i) = 2h(S_i) - 1.$$

На основании статуса состояния можно определять различные обобщенные оценки с учетом выбранной системы предпочтений. Например, для оценки уровня напряженности выбирается величина, обратная статусу:  $\eta = 1 - h$ , так как чем выше уровень напряженности, тем хуже ситуация (более близка к опасной). Для оценки стратегии поведения в ситуации конфликта значение 0 можно трактовать как компромисс: при наличии «положительных» и «отрицательных» аргументов стороны идут на компромисс, однако при применении  $\vee$ -системы предпочтений этот компромисс расценивается как желаемое и наилучшее решение в данной ситуации, а при  $\wedge$ -системе – как вынужденное решение, в котором сторона «теряет свое лицо», соглашаясь на худший для нее вариант. Тогда на основании статуса можно ввести оценку *степени удовлетворенности компромиссом*.

Можно задавать различные системы предпочтений для каждого элемента вектора показателей  $X$ . Тем самым можно задавать различные «наименее предпочтительные» ситуации  $S_{least}$  и измерять относительно них статус ситуации. Например, для некоторых показателей оценка 0, как «равновесие» между ( $\pm$ )-признаками может быть наиболее предпочтительна, а для других – наиболее предпочтительна оценка 1. Тогда для первых можно выбрать  $\wedge$ -систему предпочтений, а для вторых –  $\vee$ -систему. Для примера введем систему предпочтений на множестве показателей (в скобках указан тип системы предпочтений):  $x_1 - (\vee)$ ,  $x_2 - (\wedge)$ ,  $x_3 - (\vee)$ ,  $x_4 - (\wedge)$ ,  $x_5 - (\vee)$ . Тогда наименее предпочтительным состоянием при заданных значениях предпочтений будет ситуация  $S_{least} = (-1, 0, -1, 0, -1)$ , и статусы текущих состояний будут вычисляться как расстояние между текущей ситуацией и  $S_{least}$ . Такое оценивание состояний позволяет учесть не только фактор неопределенности, но и индивидуальные предпочтения ЛПР в получаемых обобщенных оценках.

## 7. Выводы

Задача оценки ситуации, описываемой множеством факторов, имеющих сложную структуру, является актуальной при проектировании СППР в слабо структурированных областях. В данной работе предложены различные методики получения обобщенных оценок факторов, состоящих из различных показателей, имеющих различную природу и оцениваемых на разных шкалах. Унификация оценок с использованием качественных и нечетких значений позволяет привести все оценки к единой шкале и использовать нечеткие методы анализа когнитивных моделей. В дальнейшем использование предложенных методик позволит перейти к более сложным

когнитивным моделям, учитывающим иерархию показателей и факторов ситуации. Построению таких моделей посвящены дальнейшие разработки авторов в этой области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Робертс Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам. – М.: Наука, 1986. – 496 с.
2. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. – Princeton: University Press. – 1976. – 285 p.
3. Axelrod R.M. Psycho-Algebra: A Mathematical Theory of Cognition and Choice with an Application to the British Eastern Committee in 1918: Peace Research Society // Papers XVIII, The London Conference. – 1971. – P. 113 – 131.
4. Cartwright D., Harary F. Structural Balance: a Generalization of Heider's Theory // Psych. Rev., 63. – 1956. – P. 177 – 293.
5. Сергеев В. М. Когнитивные методы в социальных исследованиях: Язык и моделирование социального взаимодействия. – М.: Прогресс, 1987. – С. 3 – 22.
6. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. – М.: ИНПРО–РЭС, 1995. – 228 с.
7. Таран Т.А., Разумовский О.В. Логико-алгебраическая модель для формализации качественных знаний // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1995. – № 5. – С. 100 – 107.
8. Кулинич А.А. Модель поддержки формирования знаний в плохо определенных проблемных областях // Труды международного конгресса "Искусственный интеллект в 21 веке" ICAI2001. – Дивноморск. – 2001. – С. 84 – 92.
9. Кулинич А.А. Система когнитивного моделирования «Канва» // Труды Восьмой национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ 2002. – Коломна. – 2002. – С. 632 – 641.
10. Кулинич А.А. Система моделирования плохо определенных нестационарных ситуаций // Труды второй международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуации». – М.: ИГУ РАН, 2002. – С. 44 – 50.
11. Аверкин А. Н., Батыршин И. З., Блишун А. Ф. и др. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
12. Саламатов В. А. Методология измерения и опыт оценки социальной напряженности // Сб. трудов конф. «Конфликтологическая экспертиза: теория и методика». – Киев. – 1997. – С. 38 – 50.
13. Таран Т.А. Ситуационная модель для качественной оценки социальной напряженности // Научно-техническая информация: Сер. 2. Информационные процессы и системы. – 1996. – № 2. – С. 1 – 6.
14. Таран Т.А. Ситуационное моделирование на основе качественных рассуждений // Искусственный интеллект. – 1996. – №1. – С. 102 – 114.