



---

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

---

УДК 519.87

### НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ КОГНИТИВНЫЕ МОДЕЛИ НА БАЗЕ ЛОГИКИ АНТОНИМОВ

**А. А. АДАМЕНКО<sup>1</sup>**  
**Я. Б. ЕРОШЕНКО<sup>2</sup>**  
**Т. В. КОНДРАШОВА<sup>2</sup>**

*<sup>1)</sup> Харьковский университет  
воздушных сил*

*<sup>2)</sup> Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет*

*e-mail:  
adam\_as@mail.ru  
eroshenko@bsu.edu.ru  
tkondrashova@bsu.edu.ru*

Рассмотрены особенности построения недетерминированных когнитивных моделей. Особое внимание сосредоточено на проблеме их адекватности, что в том числе, зависит от выбранного типа когнитивной модели, а также от выбранных методологических подходов ее построения и исследования. Предложена типизация недетерминированных когнитивных моделей в зависимости от вариантов интерпретации вершин и дуг в таких моделях, а также от вида переменных, которые задают их веса. Раскрыты элементы методологии построения отдельных типов недетерминированных когнитивных моделей на базе математического аппарата логики антонимов.

Ключевые слова: когнитивная карта, недетерминированные когнитивные модели, логика антонимов.

---

Одним из подходов исследования слабоструктурированных систем и ситуаций есть статический и динамический анализ данных систем (ситуаций) с использованием их когнитивных моделей [1].

В основу когнитивных моделей вложено понятие когнитивной карты (далее – КК). Формально КК представляет собой ориентированный взвешенный граф, в котором вершины соответствуют базисным факторам (или концептам), а дуги интерпретируются как прямые причинно-следственные связи между ними.

Разные интерпретации вершин, дуг и весов на дугах графа порождают разные типы когнитивных моделей, разработка и исследование которых проводится за соответствующими методами.

В зависимости от наличия информации о возможных значениях концептов и правилах их взаимодействия различают детерминированные (полная информированность) и недетерминированные (наличие неопределенности) когнитивные модели.

Значительных успехов в развитии методологии построения когнитивных моделей, а также в разработке на их основе специального математического и программного обеспечения систем поддержки принятия решений достигли российские научные коллективы под руководством Кульбы В.В., Максимова В.И., Абрамовой Н.А., Кузнецова О.П., Гореловой Г.В., Коростелева Д.А., Заболотского М.А. и др. На Украине данное направление активно развивается компанией "Data C" под руководством Силова В.Б.



Анализ результатов разработки и использования недетерминированных когнитивных моделей в различных предметных областях свидетельствует о наличии проблемы их адекватности, что зависит, в том числе, от выбранного типа когнитивной модели, а также от выбранных методических подходов ее построения и исследования.

Наибольшую практическую ценность при моделировании слабоструктурированных систем и ситуаций обрели нечеткие когнитивные модели [2, 5], где параметрические характеристики вершин и дуг графа формализуются с помощью методов теории нечетких множеств или нечеткой логики.

Не снижая практической значимости методов нечеткой логики, нужно заметить, что имеют место парадоксальные результаты их использования, в частности, при построении недетерминированных когнитивных моделей [3].

Поэтому целью данной публикации есть изложение нового подхода к построению недетерминированных когнитивных моделей, направленного на повышение адекватности таких моделей за счет использования математического аппарата формализации нечеткой информации, в котором отсутствуют вышперечисленные недостатки.

В связи с неоднозначностью интерпретации весов вершин и дуг в недетерминированных когнитивных моделях, прежде чем перейти к изложению сути предлагаемого подхода к построению недетерминированных когнитивных моделей, есть необходимость ввести типизацию подобных моделей.

Действительно, в одном случае концепт может рассматриваться как некоторое событие (например, "обвал национальной валюты"), а вес в соответствующей вершине указывать на возможность (вероятность, уверенность и т.д.) наступления данного события. В другом случае, в содержание концепта может вкладываться некоторый параметр (количественный или качественный), а вес в соответствующей вершине когнитивной модели будет отображать его текущее значение. Третий вариант идентичен предыдущему с той разницей, что вес в соответствующей вершине указывает на оценку значения параметра с учетом возможности (вероятности, уверенности и т.д.) данной оценки.

В свою очередь, вес дуги в недетерминированных когнитивных моделях может интерпретироваться как коэффициент передачи импульса от одной вершины к другой и как оценка возможности существования данной связи. Например, можно говорить о том, что на концепт  $X_1$  = "Оценка населением деятельности правительства" "часто" влияет концепт  $X_2$  = "Уровень жизни населения". Но при этом, уместно также высказывание о том, что прирост значения концепта  $X_1$  "пропорционален с коэффициентом  $k_{21}$ " приросту значения концепта  $X_2$ .

Кроме того, в зависимости от объема и качества имеющейся информации о моделируемой системе или ситуации веса вершин и дуг когнитивной карты могут описываться как определенными, так и неопределенными переменными.

Используя наиболее часто встречающиеся на практике интерпретации вершин и дуг недетерминированных когнитивных моделей, предлагается следующая их типизация (см. таблицу).

Таблица

**Отдельные типы недетерминированных когнитивных моделей**

Интерпретация вершин (тип переменной)	Интерпретация дуг (тип переменной)		Условное наименование
	Возможность (неопределенная)	Коэфф. Передачи (неопределенная)	
Событие (неопределенная)	+		"ВВ"
	+	+	"ВВК"
		+	"ВК"
Параметр (неопределенная)	+	+	"ПВК"
		+	"ПК"

В результате анализа известных автору методов формализации нечеткой информации, что приведено в [3], была обоснована рациональность использования для



параметризации недетерминированных когнитивных моделей аппарата логики антонимов (далее – ЛА) [4]. Логика антонимов вместила в себе все положительные свойства непрерывнозначных логик (в том числе и нечеткой логики) и, кроме того, имеет ряд отличительных позитивных свойств. Наиболее весомым отличительным свойством ЛА есть свойство булевости, то есть, соответствие всем законам классической двузначной логики.

Базовым понятием ЛА есть понятие антонимичной пары  $A$  и  $\alpha A$ , которые рассматриваются как пара противоположных предельных свойств того или иного параметра, например, "Достоверно" – "Невозможно", "Всегда" – "Никогда" и т.п.

При этом значение параметра задается либо величиной  $H[A]$  – количественная оценка меры присутствия у объекта параметризации свойства  $A$  (например, насколько соответствующий параметр отвечает свойству "достоверен" или "всегда"), либо величиной  $H[\alpha A]$  – количественная оценка меры присутствия у объекта параметризации свойства  $\alpha A$  (например, насколько соответствующий параметр отвечает свойству "невозможно" или "никогда").

Оценки  $H[A]$  и  $H[\alpha A]$  связаны между собой выражением:

$$H[\alpha A] = -\log_2(1 - 2^{-H[A]}) \tag{1}$$

и могут приниматься в качестве координат состояния объекта параметризации (см. рис. 1), возможные значения которых определены на численном интервале  $(0, \infty)$  или, в случае необходимости, после нормировки могут быть определены, например, на интервалах  $[0, 1]$  или  $[0, 100]$ .

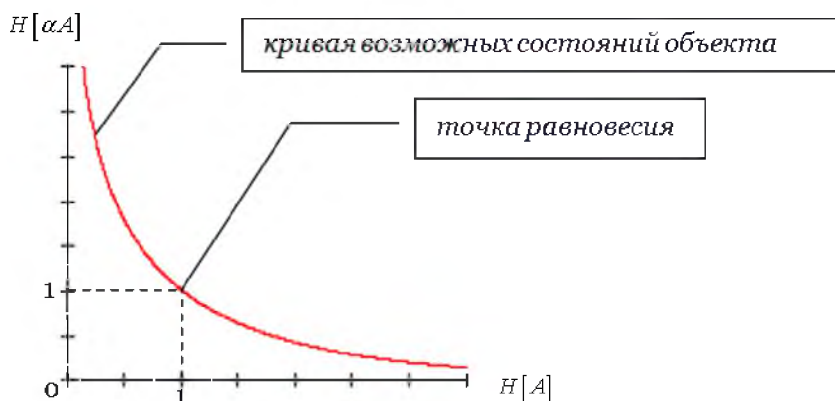


Рис. 1. Функциональная связь антонимичных оценок

Несложно заметить, что множество возможных состояний объекта задается точками на данной кривой, а точка с координатами (1, 1) является точкой равновесия (см. рис. 1).

Промежуточные значения антонимических оценок могут задаваться экспертным путем любым удобным исследователю способом, например, с помощью лингвистических переменных.

Следует заметить, что оператору логики антонимов " $\alpha$ " можно поставить в соответствие логический оператор "НЕ", который, в отличие от его трактовки в нечеткой логике, предусматривает не "все иное", а переход к конкретному противоположному значению – синониму. Например, "НЕ\_Достоверно"="Невозможно", а "НЕ\_Никогда"="Всегда".

Для характеристики логических взаимосвязей между элементами некоторой системы в ЛА рассматриваются два вида связей:  $\gamma$ -связь (сильная связь), которая соответствует операции конъюнкции, и  $\beta$ -связь (слабая связь), которая идентична



операции дизъюнкции. В теории ЛА введена система операторов, которые формализуют тот или иной тип связи между аргументами [4].

Таким образом, когнитивная карта  $G = \{X, D\}$ , где  $X$  – множество вершин, а  $D$  – множество дуг, рассматривается как некоторая сложная система, элементы которой связаны дугами в некоторое множество подсистем. Состояние элементов данной системы – значения переменных в вершинах  $X_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , описываются одной из антонимических оценок  $H[A_i]$  или  $H[\alpha A_i]$ .

К примеру, концепт  $X_1$  = "Оценка населением деятельности правительства" может оцениваться при помощи антонимической пары  $A_1$  = "Абсолютное доверие" и  $\alpha A_1$  = "Абсолютное недоверие" путем определения антонимических оценок  $H[A_1]$  или  $H[\alpha A_1]$ . Данные антонимические оценки будут показывать соответственно насколько "Оценка населением деятельности правительства" приближена к значению "Абсолютное доверие" или же к значению "Абсолютное недоверие".

Пример использования математического аппарата ЛА при построении недетерминированных когнитивных моделей рассмотрим применительно к моделям типа "ВВ" (см. таблицу 1).

В данном случае веса вершин и дуг будем описывать антонимическими оценками, связанными выражением (1). При этом, могут быть реализованы четыре варианта связей между концептами, а именно:

1. "Наступление события  $A$  с некоторой степенью уверенности  $C$  приводит к наступлению события  $B$ ".

2. "Наступление совокупности событий  $A_i$  с некоторой степенью уверенности  $C$  приводит к наступлению события  $B$ ".

3. "Наступление хотя бы одного из совокупности событий  $A_i$  с некоторой степенью уверенности  $C_i$  приводит к наступлению события  $B$ ".

4. "Наступление только одного из совокупности событий  $A_i$  с некоторой степенью уверенности  $C_i$  приводит к наступлению события  $B$ ".

Используя операторы ЛА, вышеперечисленные варианты связей в когнитивных моделях типа "ВВ" (см. таблицу 1) будут формализованы следующим образом:

$$1. H[B] = H[C] - H[\alpha A].$$

$$2. H[B] = H[C] - H[\alpha A], \text{ где } H[A = A_1 \gamma A_2 \gamma \dots \gamma A_n] = -\log_2 \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - 2^{-H[A_i]}) \right].$$

$$3. H[B = A_1 \beta A_2 \beta \dots \beta A_n] = \sum_{i=1}^n H[C_i] \cdot H[A_i], \text{ где } \sum_{i=1}^n H[C_i] = 1.$$

$$4. H[B] = \sum_{i=1}^n H[C_i] \cdot H[A_i] + \log_2 \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - 2^{-H[C_i] \cdot H[A_i]}) \right], \text{ где } \sum_{i=1}^n H[C_i] = 1.$$

Подобное математическое выражение можно составить для определения значения веса каждой вершины, которая имеет хотя бы один вход. А исходными данными будут выступать веса всех дуг и веса вершин, которые не имеют входов.

Использование математического аппарата ЛА расширяет возможности формализации различных типов связей в недетерминированных когнитивных моделях по сравнению с традиционными нечеткими когнитивными моделями. И кроме того,



повышается адекватность данных моделей за счет булевости используемых операторов и возможности легкой проверки и корректировки аналитических зависимостей.

### Списиок литературы

1. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. – Princeton. University Press, 1976.
2. Kosko B., Fuzzy Cognitive Maps. // International Journal of Man-Machine Studies, (1986) 24, 65 – 75.
3. Адаменко А.А. Підвищення адекватності нечітких когнітивних моделей / А.А. Адаменко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2011. – Випуск 3 (29). – С. 77 – 80.
4. Голота Я.Я. О формализации логики неполных знаний (логики антонимов) / Я.Я. Голота // Логика и развитие научного знания : межвуз. сб. ; [под. ред. И. Н. Бродского, Я. А. Слина]. – СПб. : Из-во С.-Петербур. ун-та, 1992. – С. 92 – 112.
5. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В.Б. Силов. – М.: ИНПРО – РЕС, 1995. – 228 с.
6. Ищейнов В.Я., Чудинов С.М. Оценка риска воздействия на объект информатизации с помощью аппарата нечетких множеств.// Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История политология. Экономика. Информатика № 1 (144) 2013 Выпуск 25/1 с. 152-156.
7. Слободюк А.А., Маторин С.И., Четвериков С.Н. О подходе к созданию онтологий на основе системно-объектных моделей предметной области. //Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История политология. Экономика. Информатика. № 22 (165) 2013 Выпуск 28/1 с. 186-194.

## NONDETERMINISTIC COGNITIVE MODELS ON BASE OF LOGIC OF ANTONYMS

**A.A. ADAMENKO<sup>1</sup>**  
**Y. B. EROSHENKO<sup>2</sup>**  
**T. V. KONDRASHOVA<sup>2</sup>**

<sup>1)</sup> *Kharkov University  
of Aircrafts*

<sup>2)</sup> *Belgorod National  
Research University*

*e-mail:  
adam\_as@mail.ru  
eroshenko@bsu.edu.ru  
tkondrashova@bsu.edu.ru*

The features of construction of nondeterministic cognitive models are considered. The special attention is concentrated on the problem of their adequacy, that including, depends on the chosen type of cognitive model, and also from the chosen methodological approaches of its construction and research. Typification of nondeterministic cognitive models is offered depending on the variants of interpretation of tops and arcs in such models, and also from the type of variables which set their weight. The elements of methodology of construction of separate types of nondeterministic cognitive models are exposed on the base of mathematical vehicle of logic of antonyms.

Key words: cognitive map, nondeterministic cognitive models, logic of antonyms.