



# OSTIS-2014

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822

## КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ (СЕМИОТИЧЕСКИЙ ПОДХОД)

Кулинич А.А.

*Федеральное Государственное учреждение науки Институт проблем управления  
им В.А. Трапезникова, Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация*

**kulinich@ipu.ru**

В работе рассмотрен новый подход к моделированию плохо определенных ситуаций на основе когнитивных карт семиотического типа. Определена фреймовая модель представления семиотических когнитивных карт.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование; плохо определенная предметная область; знаковые системы; прикладная семиотика.

### Введение

Многочисленные исследования когнитивных карт и методов их анализа заложили теоретический фундамент для создания прикладных коммерческих систем моделирования динамических систем с помощью когнитивных карт. В работе [Кулинич, 2011a] предложена классификация существующих когнитивных карт, а также приведены методы их анализа. В обзорных работах [Кулинич, 2010, 2011b] описаны компьютерные системы поддержки принятия решений, основанные на моделировании ситуаций с помощью когнитивных карт.

Качество систем поддержки принятия решений, основанных на моделировании ситуаций на основе когнитивных карт, в значительной степени определяется не только удобством и развитостью интерфейсов программных систем, реализующих этот подход в управлении, но и качеством самой когнитивной карты - субъективной модели процессов реальности. Под качеством систем подразумевается их полезность при принятии решений в слабоструктурированных ситуациях, которая выражается в повышении обоснованности принимаемых решений.

Поддержка принятия решений основана на получении прогноза изменения значений всех факторов при изменении значения любого другого фактора, которая решается с помощью системы конечно-разностных уравнений вида:  $X(t+1)=W X(t)$  где  $X(t)$  - вектор начального приращения значений факторов,  $t=0$ ;  $X(t+1)$  - вектор изменений значений факторов в моменты времени  $t=1, \dots, n$ ,  $W$  - матрица смежности орграфа.

Задача принятия решений заключается в анализе динамики изменения состояния системы, представленной векторами состояния в последовательные моменты времени  $X(t)$  и их содержательной интерпретации.

Содержательная интерпретация заключается в представлении вектора состояния ситуации, полученного в процессе моделирования в некоторой другой системе  $X(t) \rightarrow \mathcal{G}$ , где  $\mathcal{G}$  - интерпретирующая система. В настоящее время в системах моделирования когнитивных карт интерпретирующая система это субъективная понятийная система лица, принимающего решение - его знания о предметной области и его интеллектуальные способности: рассуждения, обобщение, воображение, способные представить вектор состояния  $X(t)$  в виде понятия предметной области  $\mathcal{G}$ , в которой модель построена.

Процесс интерпретации достаточно грубой модели действительности в виде когнитивной в интерпретирующую систему (систему знаний субъекта) порождает содержательно более богатые когнитивные процессы в интеллекте человека, которые в этой работе называется процессом *когнитивного моделирования*.

Знания аналитика можно представить и формально в виде онтологии как множество понятий предметной области, упорядоченные и связанные множеством отношений, а его интеллектуальные способности как процедуры вывода на онтологиях. Однако когнитивные карты как инструмент анализа ситуаций представляют собой качественные (грубые) модели, ориентированные на быструю генерацию множества решений и их правдоподобное обоснование. В условиях дефицита времени на

принятие решений, построение онтологии предметной области для решения задачи интерпретации оказывается нецелесообразным.

Проблемой широкого применения технологии моделирования и принятия решений с помощью когнитивных карт остается проблема субъективности когнитивной карты. Неоднозначность когнитивной карты для описания одного и того же явления действительности и соответственно множественность когнитивных карт одной и той же действительности у разных экспертов порождает проблемы логического обоснования решения.

В этой работе для решения проблем применения когнитивных карт в процессах управления, предлагается изменить существующую парадигму представления знаний в когнитивных картах в виде множества концептов и причинно-следственных отношений на этом множестве, на ее представление в виде знаковой системы, т.е. семиотическое представление когнитивных карт.

## 1. Знаки, знаковые системы, прикладные семиотические системы

Исследованием знаков и знаковых систем занимались известные математики и логики при создании так называемой экстенциональной (объемной) логики [Бирюков, 1960]. Наибольший практический интерес представляют работы немецкого логика Г.Фреге. Его модель знаковой системы известна как «треугольник Фреге» включает три связанные составляющие: знак, смысл знака и значение знака. Знак – это символ, слово (изображение), обозначающее в сознании человека объект реального мира. Под смыслом знака Фреге понимает описание объекта реального мира, отличающего его от других объектов. И, наконец, под значением знака Фреге понимает реальный объект, который определяется смыслом знака.

Особенность представления знания в виде знака заключается в том, что знак связывает ментальные процессы, в которых принимает участие имя, смысл знака, определяемые субъектом и зависящие от уровня его знаний, с объектами реального мира (значением), обозначаемые именем и определяемые его смыслом. Это означает, что между реальным миром и знаками существуют отношения моделирования, позволяющее с помощью знаков осуществлять процесс мышления со знаками, а не реальными объектами. Так, основатель теоретической семиотики (науки о знаках и знаковых системах) Ч. Пирс считает, что: «У нас нет способности мыслить без посредства знаков».

Семиотика получила широкое распространение в гуманитарных науках, структурной лингвистики и т.д. В области искусственного интеллекта развивается прикладная семиотика,

ориентированная на использование знаков и знаковых систем в моделях представления знаний, принятия решений, реализованных в компьютерных системах [Поспелов, 1986, 1999], [Мартынов, 2001].

Семиотической системой  $W$  называется упорядоченная восьмерка множеств:

$$W = \langle T, R, A, P, \tau, \rho, \alpha, \pi \rangle, \text{ где}$$

$T$  - множество основных символов;  
 $R$  - множество синтаксических правил;  
 $A$  - множество знаний о предметной области;  
 $P$  - множество правил вывода решений;  
 $\tau$  - правила изменения множества  $T$ ;  
 $\rho$  - правила изменения множества  $R$ ;  
 $\alpha$  - правила изменения множества  $A$ ;  
 $\pi$  - правила изменения множества  $P$ .

Первые четыре множества образуют формальную систему  $FS$ , элементы с пятого по восьмой правила изменения формальной системы обеспечивают изменения формальной системы, «подстраивая» ее для решения задач и проблем, которые в рамках системы  $FS$  решить не удается.

Иными словами, семиотическая система может быть определена как динамическая система:  $W = \langle FS_b, M_{FS_i} \rangle$ , где  $FS_i$  - можно назвать состоянием семиотической системы, а  $M_{FS_i}$  – правило смены ее состояния.

Важно отметить, что правила  $M_{FS_i} = (\tau, \rho, \alpha, \pi)$ , меняющие состояние формальной системы связаны зависимостью, аналогичной зависимости, существующей в элементах семиотического треугольника (треугольника Фреге) [Поспелов, 1999]. Это означает, что применение одного из правил из этой четверки приводит к применению оставшихся правил. Зависимости эти сложны, их аналитическое представление отсутствует, и это представляет трудность и является предметом исследования семиотических систем искусственного интеллекта.

Предложенные расширения формальных систем в виде их модификаторов  $M_{FS_i}$  обеспечивают свойства открытости систем, за счет возможности адаптации формальной системы к изменяющемуся внешним условиям, позволяют значительно расширить возможности поддержки принятия решений в условиях неопределенности, неполноты и противоречивости исходной информации [Поспелов, 1986, 1999].

Особенность применения семиотической системы в процессах моделирования процессов принятия решений и в моделировании динамических систем заключается в том, что исследование объектов осуществляется в трехмерном пространстве: синтаксис, семантика и прагматика. Для пояснения этого утверждения приведем цитату из работы [Тарасов, 2002] «Итак, основным исходным элементом семиотической системы является знак. Знак имеет три аспекта: синтаксис, семантику и прагматику; или в других

терминах: план выражения, план содержания и план значения [Поспелов, 1999]. Таким образом, любой язык как семиотический объект функционирует и эволюционирует в трехмерном пространстве (синтактика, семантика, прагматика). *Синтактика* — это часть семиотики, занимающаяся изучением внутренних отношений между знаками. *Семантика* охватывает сферу отношений между знаками и тем, что они обозначают, а *прагматика* — сферу отношений между знаками и теми, кто ими пользуется. Таким образом, прагматика учитывает требования конкретного адресата сообщения, в то время как у семантики его нет».

Исследованию адаптационных возможностей семиотических систем посвящено ряд работ. В работе [Эрлих, 1997] предложена архитектура системы управления, построенной на принципах семиотического подхода. В работе [Аверкин, 1999] предложена нечеткая семиотическая модель, состоящая из нечетких регуляторов и позволяющая их настройку на T-нормы и модели конкретного пользователя. В работе [Еремеев, 2003] рассматриваются принципы построения семиотической системы поддержки принятия решений, в которой адаптация для решения проблемы осуществляется на основе учета прошлого опыта принятия решений в немарковской модели с обучением. В работе [Тарасов, 2002] основная идея автора заключается в объединении теоретической семиотики и эволюционного моделирования для моделирования процессов образования и эволюции знаков (*семиозиса*) в многоагентных системах.

## 2. Задачи разработки когнитивных карт семиотического типа

Основные отличия исследования, приводимого в этой работе от работ перечисленных выше следующие. Во-первых, исследуется применение семиотического подхода для моделирования динамических систем в условиях неопределенности, в том числе и неполноты их описания. Во-вторых, в качестве модели динамической системы используется модель знаний в виде когнитивной карты. Формально когнитивная карта — это модель экспертных знаний в виде однородной семантической сети с причинно-следственными отношениями. В-третьих, исследуется система поддержки принятия решений семиотического типа. Это означает, что аналитик, пользователь системы поддержки принятия решений включен в процесс принятия решений, через взаимодействие его естественной знаковой системы и формальных методов поддержки интерпретации и выработки решений через интерфейсы, компьютерной системы построенных на принципах семиотических систем.

Для применения в плохо определенных процессах управления, когнитивных карт семиотического типа необходимо разработать:

1. Методику построения когнитивных карт семиотического типа. При разработке методики рассматривался метод, основанный на структурно-функциональной декомпозиции рассматриваемой ситуации, позволяющий выделить основные элементы динамической системы и представить их в виде знаков.
2. Формальные модели когнитивной карты семиотического типа: а) в виде фрейма и множества связанных фреймов; в) в виде стратифицированного поля знаний, включающего понятийную, функциональную, оценочную подсистемы.
3. Методы поддержки принятия решений с использованием когнитивных карт семиотического типа.

В этой работе рассматривается формальная модель когнитивной карты семиотического типа основанная на ее фреймовом представлении.

## 3. Фреймовая модель когнитивных карт семиотического типа

Г. Фреге определил знак тройкой: имя, смысл (понятие) и значение знака. В системах прикладной семиотики [Поспелов, 1986] в качестве модели знака используют фреймы [Минский, 1979]. Фрейм — это минимальное описание некоторой сущности, позволяющее ее идентифицировать. Обычное представление фрейма в базе данных — это именованные поля свойств, описываемой сущности и значения этих свойств. Поля свойств называют слотами, а значения, соответственно, значениями слотов. В прикладной семиотике между слотами устанавливаются отношения такие же, какие существуют в модели знака Г. Фреге.

На рисунке показано соответствие между вершинами треугольника Г. Фреге и фреймового представления знака Д. Поспелова.

Имя знака ассоциировано с именем фрейма, понятие (смысл по Фреге) связано с протофреймом. Под протофреймом понимается описание класса (рода) и представляется множеством признаков. Представление — (значение по Фреге) связано с экзофреймом. Под экзофреймом понимаются конкретные экземпляры реального мира, принадлежащие классу, определенному протофреймом и обозначаемого именем фрема.

Определена следующая расширенная структура и назначение слотов протофрейма знака [Поспелов, 1999]:

1. Признаки и значения признаков;
2. Условия целостности;
3. Связи наследования;
4. Статические связи;
5. Условия активности;
6. Представления.

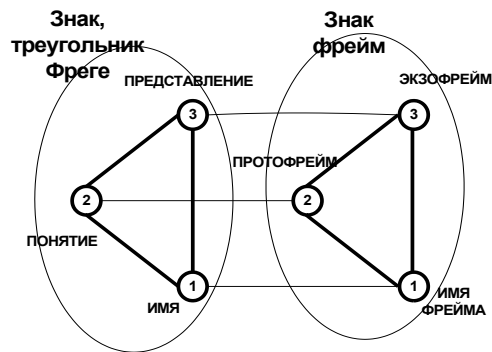


Рисунок 1 - Знак-фрейм

Далее подробно рассмотрим и прокомментируем все слоты фрейма-знака, но кроме этого будем описывать аналогичный слот фрейма семиотической когнитивной карты, его назначение, особенности и т.д. в сравнении с классическим фреймом знака.

### 3.1. Признаки и значения признаков

В классическом фрейме знака и во фрейме семиотической когнитивной карты для признаков и их значений отводятся Слоты  $1, \dots, n$ .

В семиотической когнитивной карты в каждом слоте  $i = 1, \dots, n$  определена тройка  $\langle f_i, Z_i, \Delta_i \rangle$ , где  $f_i$  - название признака понятия  $d$ ;  $Z_i$  - возможные значения признака;  $\Delta_i$  - интервал значений  $\Delta_i \subseteq Z_i$  признака, для которых имя понятия (фрейма) остается неизменным.

Значения признака могут быть определены на отрезке числовой оси  $[a, b] \in \mathbb{R}^z$ , либо в виде упорядоченного множества лингвистических значений,  $Z_i = \{z_{i1}, \dots, z_{iq}\}$ ,  $z_{iq+1} > z_{iq}$ ,  $q = 0 \dots n-1$ . В работе [Кулинич, 2013] определено семантическое пространство понятия  $d$ ,  $SS(d) = \times_i Z_i$ , а интервалы значений признаков  $\Delta_i$  названы интервалами толерантности понятия  $d$  по  $i$ -му признаку.

Базовым понятием в семантическом пространстве называется прямое произведение всех интервалов толерантности понятия  $d$ , т.е.  $SS(d) = \times_i \Delta_i \subseteq SS(d)$ .

Множество всех признаков и базовое понятие  $SS(d)$  определим как содержание понятия  $d$ ,  $F(d) = (\{f_i\}, SS(d))$ .

### 3.2. Условия целостности

Условия целостности задают закономерности строения объекта реального мира, определяемого знаком. В качестве примера условий целостности в работе [Поспелов, 1999] приведены условия целостности понятия треугольник, имеющего углы  $\alpha, \beta, \gamma$ , тогда условием целостности будет равенство: сумма углов треугольника равна  $180$  градусов, т.е.  $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ .

В семиотических когнитивных картах представляются динамические ситуации и поэтому в слотах условий целостности определена

когнитивная карта  $(F, W)$ . Причинно-следственные отношения для значений признаков  $W$  могут быть заданы матрицей смежности ориентированного графа, где  $w_{ij} \in W$  определяет силу связи факторов  $f_i$  и  $f_j$ . Сила связи факторов определяется на множестве их значений  $Z_i, Z_j$ . В общем случае такая зависимость задается отображением:  $W: \times_i Z_i \rightarrow \times_i Z_i$  где  $W$  - множество правил отображения значений факторов.

В этом слоте задано уравнение динамики значений признаков, позволяющее моделировать исторический процесс изменения их значений - эволюцию. Уравнение динамики может быть задано системой конечно-разностных, логико-лингвистическими уравнений, которое в общем виде представлено как конечно-разностное уравнение вида:  $Z(t+1) = W^\circ Z(t)$ , где  $^\circ$  - правило вывода,  $Z(t+1), Z(t) = (z_1, \dots, z_q)$  - векторы значений признаков в последовательные моменты времени.

### 3.3. Связи наследования

В классической фреймовой модели знака связи наследования представляются в слотах  $1, \dots, q$  и определяются парой: имена понятий  $1, \dots, q$  и тип связи (отношения) между понятиями. Обычными типами связи (отношениями) являются отношения Часть-Целое, Класс-Подкласс и др. Фактически задание связей наследования во фрейме знака позволяет определить его место в понятийной иерархии предметной области. Понятийная иерархия - это онтология предметной области, к которой этот знак принадлежит.

В семиотической когнитивной карте в этом слоте определяется связи наследования в виде так называемого концептуального каркаса [Кулинич, 2013]. Концептуальный каркас отражает возможную идеальную структуру знаний о предметной области. Применяются качественные концептуальные каркасы, структурирующие фазовое пространство динамической системы, заданной когнитивной картой. Подробно такие каркасы были описаны в работе [Кулинич, 2013].

### 3.4. Статические связи

В классической фреймовой модели статические связи также определяются парой: имена понятий  $1, \dots, g$  и тип статической связи. Под статическими связями понимаются отношения между понятиями типа: омонимы, синонимы и др. Во фрейме семиотической когнитивной карты слотов статических связей - нет.

### 3.5. Условия активности

В знаке-фрейме условия активности рассматриваются в рамках т.н. метазнака. Под метазнаком понимается управляющая система, оценивающая текущее состояние знака-фрейма (значения признаков, условия целостности, и т.д.) и предлагающая действия, учитывающую оценку

этого состояния. Условия активности реализуются множеством правил вида [Поспелов, 1999]:

$$(C_i, A_i, H_i, B_i), \text{ где}$$

$C_i$  – имя продукции;

$A_i$  – условия активизации продукции;

$H_i$  – последствия;

$B_i$  – действия.

В качестве одного из возможных условий активности в работе [Поспелов, 1999] рассматривается наличие в знаке так называемого когнитивного диссонанса [Фестингер, 1999]. Фактически когнитивный диссонанс в знаке – это конфликт в моделируемой с помощью знака системе. Разрешение конфликта основано на оценке  $H_i$  его последствий. В зависимости от оценки последствий, конфликт разрешается действием  $B_i$ : либо путем изменения самого знака (изменение ситуации и, следовательно, изменение формальной системы), либо конфликт считается несущественным и знак (формальная система) остается неизменной до тех пор, пока оценка последствий конфликта не изменится до уровня, требующего изменения знака.

В семиотических когнитивных картах условия активности несколько иные. Основаны они на следующем рассуждении. Во-первых, считается, что когнитивные диссонансы, возможные в когнитивной карте отражают не только существующие в реальности конфликты, но могут отражать наше незнание, неполноту картины мира, отраженную в когнитивной карте. Конечно, в условиях неопределенности считать когнитивный диссонанс условием активности для принятия решения  $B_i$ , изменяющего знак нельзя. Здесь действие может означать уточнение (изучение) ситуации, и только потом принятие решения.

Поэтому, условие активности в семиотических когнитивных картах возникает в случаях смены состояния семиотической системы, основанном правиле смены состояния семиотической системы и модели оценивания ее настоящего и будущего состояния.

### 3.5.1. Правило смены состояния

Правило смены состояния основано на анализе состояния динамической системы, а именно векторов состояния  $Z(t+1)=(z_1, \dots, z_q)$ . Считается, что если в состоянии  $Z(t+1)$  значение хотя бы одного признака вышло за пределы базового понятия  $SS(d)=\times \Delta_i$ , то происходит изменение состояния

семиотической системы, а именно, качественное обобщение по признаку или признакам, значения которых вышли за пределы базового понятия.

В работе [Кулинич, 2013] были определены положительное или отрицательное обобщение по одному признаку и качественное обобщение по нескольким признакам.

Качественное положительное обобщение:

$$\exists Z_q \in Z(t+1) \setminus Z_q \notin SS(d^0) \& Z_q > \sup \Delta q \rightarrow \\ SS(d^q) = \times_{i \neq q} \Delta i \times [\inf \Delta q; \sup Z_q]$$

Качественное положительное обобщение базового понятия представлено на рисунке 3.

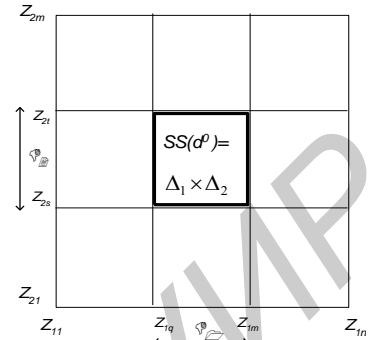


Рисунок 2 - Базовое понятие

На рисунке 2 представлено базовое понятие  $d^0$ , содержание которого определено как подпространство  $\Delta_1 \times \Delta_2$  семантического пространства  $\times Z_i$ . Если значение признака  $Z_i$ ,  $z_i(t+1)$  превысило значение верхней границы интервала толерантности  $\Delta_i = [Z_{1q}; Z_{1m}]$ , т.е.  $z_i(t+1) > z_{1m}$ , то согласно правилу смены семиотической системы происходит обобщение базового понятия по признаку  $Z_i$ , т.е. образуется новое понятие с именем  $d^1$  и содержанием  $SS(d^1) = [Z_{1q}; Z_{1n}] \times \Delta_2$ .

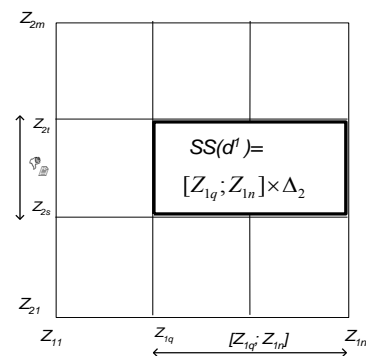


Рисунок 3 - Положительное обобщение базового понятия

Качественное отрицательное обобщение:

$$\exists Z_q \in Z(t+1) \setminus Z_q \notin SS(d) \& Z_q < \inf \Delta q \rightarrow \\ SS(d^q) = \times_{i \neq q} \Delta i \times [\sup \Delta q; \inf Z_q]$$

Качественное отрицательное обобщение базового понятия представлено на рисунке 4.

Если значение признака  $Z_i$ ,  $z_i(t+1)$  стало меньше значения нижней границы интервала толерантности  $\Delta_i = [Z_{1q}; Z_{1m}]$ , т.е.  $z_i(t+1) < z_{1q}$ , то согласно правилу смены семиотической системы

происходит отрицательное обобщение базового понятия по признаку  $Z_1$ , т.е. образуется новое понятие с именем  $d^2$  и содержанием  $SS(d^2) = [Z_{11}; Z_{1m}] \times \Delta_2$ .

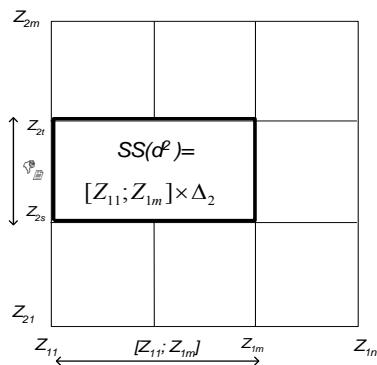


Рисунок 4 - Отрицательное обобщение базового понятия

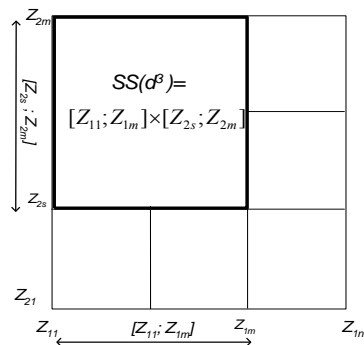


Рисунок 5 - Обобщение базового понятия по двум признакам

### 3.5.2. Качественное обобщение по нескольким признакам (общий случай).

Представим вектор состояния в следующем виде:

$$Z(t+1) = Z_A^*(t+1) \cup Z_B^+(t+1) \cup Z_C^-(t+1)$$

где  $Z_A^*(t+1)$  – часть вектора состояния, содержащего элементы  $z_i(t+1)$  значения которых не пересекли границ интервалов толерантности, т.е.  $z_i(t+1) \in \Delta_i, i \in A$ , где  $A$  – множество индексов элементов  $Z_A^*(t+1)$ ;

$Z_B^+(t+1)$  – часть вектора состояния, содержащего элементы  $z_k(t+1)$  значения которых больше верхней границы их интервалов толерантности, т.е.  $z_k(t+1) > \sup \Delta_k, k \in B$ , где  $B$  – множество индексов элементов  $Z_B^+(t+1)$ ;

$Z_C^-(t+1)$  – часть вектора состояния, содержащего элементы  $z_g(t+1)$  значения которых меньше нижней границы их интервалов толерантности, т.е.  $z_g(t+1) < \inf \Delta_g, g \in C$ , где  $C$  – множество индексов элементов  $Z_C^-(t+1)$ .

Правило смены состояния в общем виде запишется так:

$$Z_A^*(t+1) \cup Z_B^+(t+1) \cup Z_C^-(t+1) \in Z(t+1) \\ \rightarrow SS(d^q) = \times_{i \in A} \Delta_i \times_{k \in B} [\inf \Delta_k; \sup Z_k] \\ \times_{g \in C} [\sup \Delta_g; \inf Z_g]$$

Качественное обобщение базового понятия по двум признакам представлено на рисунке 5.

Здесь значение признака  $Z_1, z_1(t+1)$  стало меньше значения нижней границы интервала толерантности  $\Delta_1 = [Z_{1q}; Z_{1m}]$ , т.е.  $z_1(t+1) < z_{1q}$ , а значение признака  $Z_2$  стало больше интервала толерантности  $z_2(t+1) > z_{2l}$ . Тогда, согласно правилу обобщения базового понятия по двум признакам получаем новое понятие с именем  $d^3$  и с содержанием  $SS(d^2) = [Z_{11}; Z_{1m}] \times [Z_{2s}; Z_{2m}]$ .

### 3.5.3. Оценка состояния семиотической системы

Оценка состояния семиотической системы основана на определении относительной важности всех признаков и их текущих значений относительно экспертно заданной цели  $G_i$ . Формально оценка состояний может быть представлена в виде следующего отображения:

$$G_i: Z(t) \rightarrow (o_{ij}, \succ), \text{ где}$$

$G_i$  – отображение текущих значений всех факторов для  $i$ -ой цели;

$Z(t)$  – текущие значения всех факторов;

$(o_{ij}, \succ)$  – упорядоченные оценки важности всех признаков относительно  $i$ -ой цели.

В качестве метода построения этого отображения в работах [Аверкин, 2006; Кулинич, 2005] был рассмотрен метод анализа иерархий (МАИ) Т. Саати [Саати, 1993]. В этом случае все оценки  $o_{ij}$  получены методом парных оценок предпочтительности признаков и нормированы к единице, т.е.

$$\sum_j o_{ij} = 1.$$

Оценка состояния  $O_i(t)$  представляется линейной сверткой:

$$O_i(t) = \sum_j o_{ij} x_j(t), j=1, \dots, n, \text{ где}$$

$x_j(t) \in [0, 1]$  – получено в результате отображения  $\varphi$  лингвистических значений признаков  $z_j(t)$  на отрезок числовой оси  $[0, 1]$ , т.е.  $\varphi: z_j(t) \rightarrow x_j(t) \in [0, 1]$ .

В этом случае оценка  $O_i(t)$  отражает степень достижения цели в состоянии  $z_j(t)$ .

В семиотических когнитивных картах важны не столько оценки достижения цели, а относительное изменение этой оценки в состоянии  $z_j(t+1)$  и в текущем состоянии  $z_j(t)$ . Относительное изменение оценки  $\gamma_i$  определится из следующего соотношения:

$$\gamma_i = \frac{O_i(t+1) - O_i(t)}{O_i(t)}.$$

Выбор действия  $B_i$  в семиотических когнитивных картах зависит от оценки  $\gamma_i$  и анализе нового состояния, представленного парой имя обобщенного состояния -  $d^{Ht}$  и его содержания  $SS(d^{Ht})$ .

### 3.7. Представление

В знаке-фрейме в слотах  $1, \dots, t$  представлено множество экземпляров знака-фрейма. По сути это объем понятия  $d - V(d)$ . В семиотических когнитивных картах, в слот представления попадают состояния  $Z(t+1)$ , значения элементов вектора которых попадают в область толерантности соответствующего понятия, т.е.  $Z(t+1) = (z_1, \dots, z_q) \in SS(d^0)$ .

### 3.8. Выбор действия

Выбор действия основан на анализе относительного изменения оценки  $\gamma_i$  при изменении состояния семиотической системы и собственно самого изменения базового понятия  $d^0 \rightarrow d^{Ht}$  и  $SS(d^0) \rightarrow SS(d^{Ht})$ .

Если оценка относительного изменения больше нуля, т.е.  $\gamma_i > 0$ , то динамика изменения (эволюция) семиотической системы происходит в направлении к цели. В этом случае, никаких действий можно и не принимать.

Если оценка относительного изменения меньше нуля, т.е.  $\gamma_i < 0$ , то динамика изменения (эволюция) семиотической системы происходит в направлении от цели. В этом случае, формулируются задачи параметрического и(или) структурного управления.

1. Параметрическое управление сводится к поиску управляющих воздействий  $U(t)$ , направленных на изменение значений признаков, способных изменить траекторию изменения значений признаков в когнитивной карте и, следовательно, изменить знак оценки относительного изменения состояния, т.е.  $\gamma_i > 0$ .

Формально поиск управляющих воздействий для заданной цели  $G_i$  сводится к решению уравнения  $G_i = W^o U(t)$  относительно управляющих воздействий  $U(t)$ , т.е. к решению обратной задачи.

Решение запишется в следующем виде:  $U^*(t) = G_i \cdot W^{-1}$  где  $U^*(t) \in D$ ,  $U^*(t)$ - решение обратной задачи – новые значения признаков, позволяющие достичь цели  $G_i$ ,  $D$  – ограничения на возможные значения признаков,  $\ominus$  - процедура обратного вывода.

2. Структурное управление. Необходимость структурного управления возникает в случаях, когда не удается найти управления, удовлетворяющих ограничениям,  $U^*(t) \notin D$ .

Суть структурного управления заключается в изменении когнитивной карты (матрицы смежности  $W$ ), таким образом, чтобы ее

подстановка в уравнение обратной задачи  $U^*(t) = G_i \cdot W^{-1}$  позволяло получать значения признаков, удовлетворяющие ограничениям  $U^*(t) \in D$ .

## 4. Целостность знака семиотической когнитивной карты.

В семиотике целостность знака, представленного тройкой: имя, смысл, значение, определяют семиотические операции между этими элементами. Это следующие базовые операции: *описания* (связывает имя и смысл (имя и содержание ( $d \rightarrow F(d)$ )); *обозначения* (связывающие содержание и имя ( $F(d) \rightarrow d$ )); *представления* (связывает имя и объем ( $d \rightarrow V(d)$ )); *именования* (связывает объем и имя ( $V(d) \rightarrow d$ )); *конкретизации* (связывает содержание и объем ( $F(d) \rightarrow V(d)$ )); *обобщения* (связывает объем и содержание ( $V(d) \rightarrow F(d)$ )).

Семиотические операции – это операции естественного интеллекта, связывающие три элемента знака Фреге в единое целое. Эти операции могут быть поддержаны специальными экспертными процедурами, позволяющие получить формализованное описание целостного знака. В предлагаемой модели поддержка базовых операций, обеспечивающих целостность знака когнитивной карты, основана на определении зависимостей слотов когнитивной карты семиотического типа и экспертных процедурах определении имени нового обобщенного понятия и его объема.

Зависимости слотов семиотической когнитивной карты, определяющие целостность когнитивной карты как знака:

1. Имя понятия определяет его содержание в виде множества признаков и их возможных значений. Содержание представляется в виде пары  $F(d) = (\{f_j\}, SS(d))$ ;
2. Множество признаков  $\{f_j\}$ , включенные в содержание  $F(d)$  является множеством факторов когнитивной карты, для которых определены причинно-следственные отношения между значениями признаков  $Z_i - W: \times Z_i \rightarrow \times Z_i$ . Матрица смежности орграфа  $W$  определяет коэффициенты в уравнении динамики:  $Z(t+1) = W^o Z(t)$ ;
3. Область толерантности базового понятия  $SS(d)$  определяет концептуальный каркас  $(SS(d^{Ht}), \cup, \cap)$  предметной области, представляющего собой идеализированную родовидовую структуру понятийной системы предметной области.
4. Изменение значений признаков  $Z(t+1)$  и их выход за пределы области толерантности базового понятия приводит к смене состояния
5. Правило смены состояния семиотической системы основано на анализе относительной оценке изменения состояния семиотической

системы  $\gamma_i$  и экспертном определении имени  $d^H$  и объема нового состояния  $V(d^H)$ .

Таким образом, зависимости между слотами определяют динамическую систему. Это означает, что в семиотической когнитивной карте, для любого нового состояния  $Z(t+1)$  должны быть определены семиотические операции: *обобщения* (новый объем изменяет содержание ( $V(d) \rightarrow F(d)$ ); *обозначения* (новое содержание изменяет имя ( $F(d) \rightarrow d$ ); *представления* (новое имя связывается с новым объемом ( $d \rightarrow V(d)$ )).

Формально когнитивную карту семиотического типа как динамическую систему будем представлять в виде следующего кортежа:

$$\langle d(t); F(d(t)); V(d(t)); (\{f_i\}, W); W: Z(t) \rightarrow Z(t+1); \Omega \rangle,$$

где  $d(t)$  – имя понятия;  $F(d(t))$  – содержание понятия,  $(\{f_i\}, SS(d(t)))$ ;  $V(d(t)) = (\{Z(t+1) = (z_1, \dots, z_q) \in SS(d^H)\})$  – объем понятия;  $(\{f_i\}, W)$  – когнитивная карта;  $W: Z(t) \rightarrow Z(t+1)$  – уравнение динамики;  $\Omega = (\gamma_i, d^H, V(d^H))$  – правило смены состояния когнитивной карты семиотического типа.

## Заключение

Применение предложенной модели когнитивной карты семиотического типа позволит значительно расширить возможности систем поддержки принятия решений в динамических плохо определенных ситуациях.

## Библиографический список

[Аверкин и др, 2006] Аверкин А.Н., Кузнецов О.П., Кулинич А.А., Титова Н.В. Поддержка принятия решений в слабоструктурированных предметных областях. Анализ ситуаций и оценка альтернатив. Теория систем и управления. Вып. 3, 2006, стр. 139-149.

[Аверкин, 1999] Аверкин А.Н., Головина Е.Ю. Нечеткая семиотическая система управления. Конференция «Интеллектуальное управление: новые интеллектуальные технологии в задачах управления (ICIT'99)» - Труды Международной конференции, Переславль-Залесский 6-9 декабря, 1999. – М.: Наука. Физматлит, 1999. стр. 141-145.

[Бирюков, 1960] Бирюков Б. В. Теория смысла Готлоба Фреге. В кн.: Применение логики в науке и технике. М., 1960, с.502-555.

[Еремеев, 2003] Еремеев А.П., Тихонов Д.А., Шутова П.В. Поддержка принятия решений в условиях неопределенности на основе немарковской модели // Изв. РАН: Теория и система управления, 2003. - № 5. - С. 75-88.

[Кулинич, 2005] Кулинич А.А., Титова Н.В. Интеграция нечетких моделей динамики и оценивания ситуаций. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC 2005). Труды 5-й международной конференции. М.: Институт проблем управления РАН. 2005. стр.107-118.

[Кулинич, 2006] Кулинич А.А. Моделирование динамических процессов в понятийной системе субъекта для генерации креативных решений. Когнитивные исследования: Сборник научных трудов: Вып. 1/ Под редакцией В.Д. Соловьева. – 2006. с. 94-123.

[Кулинич, 2010] Кулинич А.А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы. / Проблемы управления, 2010, № 3 С.2-16.

[Кулинич, 2011a] Кулинич А.А. Классификация когнитивных карт и методы их анализа. (Пленарный доклад). Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VI-й

международной научно-технической конференции (Коломна, 16-19 мая 2011 г.). – М.: Физматлит, 2011. – т.1. с. 124-136.

[Кулинич, 2011b] Кулинич А.А. Компьютерные системы анализа ситуаций и поддержки принятия решений на основе когнитивных карт: подходы и методы. / Проблемы управления, 2011, № 4 С.31-45.

[Кулинич, 2013] Кулинич А.А. Концептуальные «каркасы» плохо определенных предметных областей. Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы III международной научно-технической конференции (Минск, 21-23 февраля 2013 г.)/ под ред. Голенкова В.В. – Минск: БГУИР, 2013, с. 135-142.

[Мартынов, 2001] Мартынов В.В. Основы семантического кодирования. Опыт представления и преобразования знаний. Минск, 2001.

[Минский, 1979] Минский М. Фреймы для представления знаний. М.: Мир, 1979.

[Осипов, 2002] Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике. Новости искусственного интеллекта. 2002, № 6.

[Поспелов, 1986] Поспелов Д. И. Ситуационное управление: теория и практика. -М.: Наука, 1986.

[Поспелов, 1999] Поспелов Д.А., Осипов Г.С. Прикладная семиотика // Новости ИИ. - 1999. - №1.

[Саати, 1993] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. – М.: «Радио и связь», 1993. – 320 с.

[Тарасов, 2002] Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.

[Фестингер, 2013] Фестингер Л. Теория когнитивного диссонанса. СПб.: Ювента, 1999.

[Эрлих, 1997] Эрлих А.И. Прикладная семиотика и управление сложными объектами. Программные продукты и системы. № 3, 1997.

## COGNITIVE MODELLING IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY (THE SEMIOTICS APPROACH)

A. A. Kulinich

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences,  
Russian Academy of Sciences. Russia, Moscow.*

[kulinich@ipu.ru](mailto:kulinich@ipu.ru)

In work the new approach to modeling of ill-structured situations on a basis cognitive maps of semiotics type is considered. The frame representation model of semiotics cognitive maps is defined.

## Introduction

Problems of decision-making support in the dynamic systems in the conditions of uncertainty on a basis cognitive modeling are considered. The new paradigm of cognitive modeling on the basis of principles of applied semiotics is offered.

## Main Part

The frame model of representation of semiotics type cognitive maps is considered.

## Conclusion

Application of the offered cognitive maps model of semiotics type will allow to expand considerably possibilities of systems of decision-making support in dynamic ill-structured situations.