

# СЕМИОТИЧЕСКИЕ КОГНИТИВНЫЕ КАРТЫ.

## Ч. 1. Когнитивный и семиотический подходы в информатике и управлении

А.А. Кулинич

Предложена семиотическая модель когнитивных карт, основанная на принципах прикладной семиотики и представляющая собой симбиоз классических когнитивных карт в виде причинно-следственной сети (орграфа) и понятийной надстройки в виде качественного концептуального каркаса — понятийной системы — множества понятий предметной области, связанных отношением «род — вид». Показано, что предложенная модель позволяет представить множество семиотических когнитивных карт предметной области как частично упорядоченное множество знаков: имени, содержания и объема, определяющих эти когнитивные карты. Предложен алгоритм построения интерпретирующего концептуального каркаса предметной области, направленный на поддержку процессов верификации и интерпретации причинно-следственных отношений в предметной области, заданных когнитивной картой.

**Ключевые слова:** когнитивная карта, когнитивное моделирование, знак, знаковая система, семиотика, прикладная семиотика, концептуальный каркас, понятийная система.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования когнитивных карт и методов их анализа заложили теоретический фундамент для создания систем поддержки принятия решений в плохо определенных динамических ситуациях. 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 таких систем поддержки принятия решений подразумевается их полезность при принятии решений в слабо-структурированных ситуациях, которая выражается в повышении обоснованности принимаемых решений.

Однако этот критерий — полезность метода для принятия решений и обоснованность решений — трудноизмерим. Косвенно судить о полезности систем поддержки принятия решений на основе когнитивных карт можно по публикациям о применении этого подхода и популярности статей его исследователей. Например, статьи авторов из ИПУ РАН, посвященных этому подходу, входят

в топ самых популярных и цитируемых публикаций журнала «Проблемы управления» [1].

Интерес к методологии когнитивного моделирования подтверждается и многими другими работами. Так, в обзорных работах [2—4] предложена классификация существующих когнитивных карт, приведены методы их анализа, а также описаны компьютерные системы поддержки принятия решений, основанные на моделировании ситуаций с помощью когнитивных карт. В работах [5, 6] рассмотрены вопросы применения методологии когнитивного моделирования в процессах управления. В работах [7—9] рассмотрены вопросы применения когнитивных карт при моделировании игровых постановок в управлении и мультиагентных системах.

Подтверждением применения методологии когнитивного моделирования служат работы в областях социальной психологии [10], образования [11], ракетостроения [12], энергетики [13], нефтедобычи [14], экономики и финансов [15] и др.

Интерес к моделированию с помощью когнитивных карт сложных экономических и социальных ситуаций существует не только в России, но и у иностранных исследователей. Так, в обзорной статье [16] приведены многочисленные примеры исследований и применения методологии когни-



тивного моделирования за последнее десятилетие нашими зарубежными коллегами в области социально-политических наук, в сфере образования, информационных технологий, медицине, бизнесе и др.

Несмотря на безусловную полезность когнитивных моделей, существуют и проблемы, возникающие при моделировании ситуаций на основе грубых (концептуальных) субъективных моделей. В работах [3, 4] обозначены некоторые проблемы когнитивного подхода, возникающие на этапах создания когнитивной карты, ее параметризации, выбора модели динамики, верификации. Проблемы возникают и на этапе анализа результатов моделирования и принятия решений.

Все эти проблемы связаны с высоким уровнем субъективности когнитивной карты и процессов принятия решений с ее помощью. Обычно субъективность ассоциируют с чем-то неточным (неточные (качественные) измерения, гипотеза о структуре когнитивной карты и др.), определяемым личным опытом субъекта. Субъективность противопоставляется объективности (независимости от субъекта): измерение с помощью точных приборов, выявление закономерностей, точные верифицируемые модели и подходы для анализа и моделирования ситуаций. Но в когнитивном моделировании применяются экспертные оценки, качественные измерения, гипотетические структуры, и поэтому субъективность является неотъемлемым свойством методологии когнитивного моделирования.

В условиях неопределенности и дефицита информации субъективность лица, принимающего решение, позволяют качественно решать достаточно сложные проблемы, привлекая для этого собственные интеллектуальные способности.

*Когнитивная карта* — это модель знаний эксперта о процессах в динамической ситуации, которая формально представляется в виде ориентированного знакового графа (иначе однородной семантической сети) с причинно-следственными отношениями  $(W, F)$ , где  $W = |w_{ij}|$  — матрица смежности орграфа,  $w_{ij} \in [-1, 1]$ ,  $F$  — множество факторов (параметров) динамической ситуации,  $F = \{f_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Для каждого фактора определено множество значений  $X_i = \{x_{iq}\}$ ,  $x_{iq} \in [-1, 1] \forall q$ . Задана система конечно-разностных уравнений вида:  $X(t+1) = W \cdot X(t)$ , где  $X(0)$  — 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, позволяющая моделировать изменение значений всех факторов.

Задача принятия решений заключается в анализе динамики изменения состояния системы,

представленной векторами состояния в последовательные моменты времени  $X(t)$ ,  $\forall t$  и их содержательной интерпретации. Содержательная интерпретация — это представление вектора состояния ситуации, полученного в процессе моделирования в некоторой другой системе  $\Psi: X(t) \rightarrow \mathcal{Q}$ , где  $\mathcal{Q}$  — интерпретирующая система. Под интерпретирующей системой понимается субъективная понятийная система лица, принимающего решение — его знания о предметной области и его интеллектуальные способности ( $\Psi$ ): рассуждение, обобщение, воображение, способные представить вектор состояния  $X(t)$  в виде понятия предметной области  $\mathcal{Q}$ , в которой модель построена.

Процесс интерпретации результатов моделирования достаточно грубой модели действительности в виде когнитивной карты в систему знаний субъекта (интерпретирующую систему) порождает содержательно более богатые когнитивные процессы в интеллекте человека. Процесс интерпретации результатов моделирования, полученных с помощью грубой модели и порождаемые при этом познавательные процессы в интеллекте человека, будем называть процессом *когнитивного моделирования*.

Интерпретация результатов моделирования важна при поддержке принятия решений в условиях неопределенности, поскольку корректная интерпретация позволяет: снизить неопределенность; обосновать правдоподобность результата моделирования (оценить адекватность модели); получить оценку прогноза в качественных терминах. При интерпретации прогнозов развития ситуаций (будущих состояний ситуации) важно увидеть признаки некоторого прецедента состояния. Это и будет интерпретанта прогноза — состояние реального объекта, которое естественно может быть изучено более подробно, чем его грубая модель в виде когнитивной карты. В этом случае грубая когнитивная карта играет роль «стимулятора», позволяющего найти корректную интерпретацию результатов моделирования.

Для поддержки процесса интерпретации результатов моделирования, знания аналитика можно представить формально в виде онтологии<sup>1</sup> как множество понятий предметной области, связанных множеством отношений, а его интеллектуальные способности как процедуры вывода в онтологиях. В условиях неопределенности онтология предметной области, отражая неполные и фрагментарные знания аналитика, также будет неполной и фрагментарной. В условиях дефицита вре-

<sup>1</sup> Под онтологией здесь и далее понимается не общепринятая трактовка онтологии как учения о бытии, а определенная онтология в информатике как концептуальной схемы для формализации экспертных знаний [17].

мени на принятие решений построение подробной онтологии предметной области для решения задачи интерпретации оказывается нецелесообразным.

Еще одна проблема применения технологии моделирования и принятия решений с помощью когнитивных карт заключается в неоднозначности когнитивной карты для описания одного и того же явления действительности и соответственно множественности когнитивных карт одной и той же действительности у разных экспертов. Неоднозначность когнитивной карты приводит к неоднозначности интерпретации результатов моделирования и логического обоснования принимаемых решений разными экспертами, в разных контекстах принятия решений.

С проблемой неоднозначности интерпретации результатов когнитивного моделирования тесно связана проблема верификации модели и установления факта адекватности модели моделируемой действительности. В условиях грубости когнитивной модели решить эту проблему крайне затруднительно [3].

Вопросы верификации когнитивных карт исследовались в работах [18, 19]. Предлагаемые в них методы основаны на анализе типичных систематических ошибок, совершаемых разработчиками когнитивных карт. В частности, выделены риски, приводящие к ошибкам в когнитивных картах: риск ложной транзитивности и риск недопонимания математического смысла связей. Ложная транзитивность возникает при установлении причинно-следственного отношения между факторами разного уровня общности, что приводит к ошибкам в структуре когнитивной карты, а недопонимание математического смысла связей приводит к ошибкам в определении силы этих причинно-следственных связей. Авторы предлагают и методы снижения этих рисков: путем согласования уровней общности факторов, представленных в когнитивных картах, и применения вербальных шаблонов на этапе определения силы причинных связей.

В работе [20] проблему верификации когнитивных карт предлагается решать с помощью объяснения прогнозов развития ситуации. Объяснение прогнозов представляет собой описание последовательности процесса получения прогнозных значений факторов в виде цепочки сработавших в вершинах когнитивной карты правил, которые описывают моделируемые процессы, облегчая, таким образом, их понимание и, соответственно, верификацию структуры когнитивной карты.

В настоящей работе перечисленные проблемы когнитивного моделирования предлагается решать в рамках единого теоретического базиса, построенного на основе семиотического подхода [21–23].

Предлагается изменить существующую модель представления знаний в когнитивных картах в виде множества факторов и причинно-следственных отношений на этом множестве на ее представление в виде знаковой системы, т. е. на семиотическое представление когнитивных карт.

## 1. ЗНАКИ И ЗНАКОВЫЕ СИСТЕМЫ, ПРИКЛАДНАЯ СЕМИОТИКА

### 1.1. Семиотические подходы в информатике и управлении

Исследованием знаков и знаковых систем занимались известные математики и логики при создании так называемой экстенциональной (объемной) логики [24]. Наибольший практический интерес представляют работы немецкого логика Г. Фреге. Его модель знака, известная как «треугольник Фреге», включает в себя три связанные составляющие: имя знака, смысл знака и значение (представление) знака (рис. 1). Имя знака 4 — это символ, слово (изображение), означающее в сознании человека объект реального мира (денотат *I*). Под смыслом знака 3 Фреге понимает описание объекта реального мира, отличающего его от других объектов. И, наконец, под значением (представлением) знака, Фреге понимает ментальное представление реального объекта (денотата — означаемого *I*), которое определяется смыслом знака и его именем.

Известный американский логик и философ Ч. Пирс приводит классификацию знаков, выделяя знаки-образы (иконы) (изобразительные знаки, в которых означаемое и означающее подобны), знаки-индексы (означаемое указывает на признаки означающего) и знаки-символы (означаемое и означающее связаны меж собой в рамках некоторой конвенции, договоренностей) [25, 26]. Знаки-символы — это обычные слова, которые употребляются для описания действительности, коммуникации между людьми и т. д. Далее мы будем говорить о знаках-символах. Поясним знак-символ. Например, знак «прямоугольный треугольник» будет представлен тройкой: имя знака — «прямоугольный треугольник»; смысл знака — это

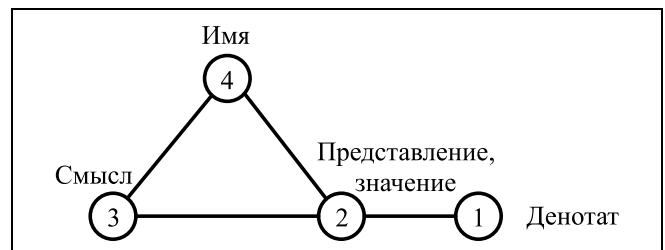


Рис. 1. Знак Г. Фреге



его признаки: плоская геометрическая фигура, ограниченная тремя сторонами, и один угол прямой; значение знака — это некоторый реальный прямоугольный треугольник или множество прямоугольных треугольников, например, изображенных на листе бумаги, экране монитора и др. Особенность знакового представления состоит в том, что все три составляющие знака связаны между собой и изменение одной из них приведет к изменению остальных. Например, если изменить имя знака, убрав слово прямоугольный, то имя знака будет — «треугольник». Это приведет к необходимости изменения смысла знака — нужно убрать признак «один угол прямой». Значение знака в этом случае также изменится и будет включать в себя не только всевозможные прямоугольные треугольники, но и непрямоугольные треугольники. В этом случае знак с именем «прямоугольный треугольник» будет разновидностью общего знака с именем «треугольник», т. е. между этими знаками существует отношение «род — вид». Это отношение между знаками нас будет интересовать в дальнейшем. Между знаками могут быть и другие виды отношений, образующие из отдельных знаков знаковые системы и описывающие наши знания о реальном мире с разной степенью детализации.

Особенность представления знаний в виде знаков и знаковых систем заключается в том, что знак связывает ментальные процессы, в которых принимают участие имя, смысл и значение знака, определяемые субъектом, с объектами реального мира — денотатами. Это означает, что между реальным миром и знаками существуют отношения моделирования, позволяющие осуществлять процесс мышления не с реальными объектами, а с их знаками. Так, основатель теоретической семиотики (науки о знаках и знаковых системах) Ч. Пирс считает, что: «У нас нет способности мыслить без помощи знаков» [25].

Исследованию знаковой природы человеческого мышления посвящено множество работ когнитивных психологов. Они исследуют вопросы организации ментальных пространств, в которых разворачиваются знаковые репрезентации реальной действительности, особенности строения понятийных пространств, взаимосвязи мышления и речи и др. Феномен знака, его роль в социальной сфере исследовались множеством известных философов, филологов, лингвистов. Например, в 1960—1980-х гг. в исследование семиотических систем в гуманитарных науках большой вклад внесла Тартуско-Московская семиотическая школа, объединившая Ю.М. Лотмана, А.М. Пятигорско-го и др.

В настоящей работе акцент сделан на вопросы применения знаков и знаковых систем в системах обработки, представления знаний в областях ин-

форматики, искусственного интеллекта, а также управления сложными системами.

Работы известного белорусского лингвиста В.В. Мартынова, посвященные вопросам применения семиотического подхода в кибернетике и информатике, признаны пионерскими. Его первая работа появилась 50 лет тому назад, в 1966 г. [27]. Он предложил несколько вариантов так называемого универсального семантического кода, позволяющего в строгой логической структуре представить смысл текстового сообщения [28].

В области систем управления семиотический подход развивался в рамках ситуационного подхода Д.А. Поспелова [21]. Ситуационный подход в управлении применяется в случаях трудно формализуемого объекта управления, его уникальности, неполноты описания, активности и др., когда нет возможности построить точную математическую модель объекта, но, тем не менее, объект может быть вербально грубо описан экспертами.

Идея ситуационного управления основана на двух гипотезах:

- всю информацию об объекте управления и способах управления им можно выразить на естественном языке;

- всякий текст на естественном языке, относящийся к тому, о чем говорится в первой гипотезе, можно перевести на формальный язык семиотической системы.

В рамках семиотического подхода в управлении был разработан язык ситуационного управления. Основу этого языка составляет его ядро или ядерная конструкция в виде тройки:  $x_i r_q x_j$ , где  $x_i, x_j$  — это понятия, признаки понятий или их значения,  $r_q$  — отношения: классификационные  $r_1$  (иметь имя), признаковые  $r_2$  (иметь признак), количественные  $r_3$  (иметь значение), сравнения  $r_4$  (быть равным), принадлежности  $r_5$  (принадлежать классу), пространственные  $r_6$  (быть слева (справа) и др.), каузальные  $r_7$  (иметь причину или следствие) и др.

Такая конструкция языка с множеством отношений с использованием логических связок ( $\wedge, \vee, \neg, \rightarrow$  (и, или, не, импликация)), квантификаторов (общности  $\forall$  и существования  $\exists$ ), модальных операторов (возможно, вероятно и др.), позволяет формализовать описания на естественном языке достаточно сложных объектов управления.

В ситуационном управлении термин *ситуация* определяет состояние объекта управления в некоторый момент времени, требующее реакции на это состояние, т. е. акта управления. Акт управления в этом случае представляется в виде отображения:

$$S_i : Q_j \xrightarrow{U_k} Q_r$$

где  $S_i$  — полная ситуация (описание знаний о состояниях объекта управления и знаний о технологии управления объектом);  $Q_j$  — текущее состоя-

ние (описание текущего состояния ситуации);  $U_k$  — управляющее воздействие, применимое к текущему состоянию и вырабатываемое на основе знаний о технологии управления, которые содержатся в  $S_i$ ; состояние  $Q_i$  — описание состояния ситуации после применения управления  $U_k$ .

При создании системы ситуационного управления все возможные описания состояний объекта управления классифицируются, представляются в виде множества классов состояний  $S_i = \cup_k S_{ik}$ , причем каждому классу состояний  $S_{ik}$  ставится в соответствие управляющее воздействие  $U_k$ . Управление возможно, если описание текущей ситуации  $Q_i$  близко к описанию какого либо класса ситуаций  $S_{ik}$  и, следовательно, возможно одношаговое управление  $U_k$ . Как результат управляющего воздействия получаем описание нового состояния  $Q_i$ .

В рамках семиотического подхода в ситуационном управлении была предложена архитектура семиотической управляющей системы, возможные варианты реализации составных частей этой архитектуры, позволяющие представить описание объекта управления, законов его функционирования и методов управления, представленных на естественном языке, в семиотической модели, записанной в строгих формальных логико-лингвистических конструкциях.

Однако необходимость описания и классификации всех возможных состояний объекта, а также возможных управляющих воздействий делает этот подход трудно реализуемым для больших систем. Поэтому в рамках семиотического подхода рассматривались другие модели представления естественно-языковых описаний объекта управления. Одна из таких моделей привела к появлению нового направления в рамках ситуационного подхода — прикладной семиотики [22, 23].

Особенность прикладной семиотики заключается в том, что если в ситуационном управлении в описании объекта на естественном языке использовались слова — имена понятий (символов), обозначающих объект, то в прикладной семиотике описание строится с использованием знаков-символов в виде троек: имя, смысл и значение (представление) объекта, т. е. в виде знака в смысле треугольника Фреге. Таким образом, при формализации естественно-языковых предложений, описывающих объект, в модели объекта, кроме имени знака, появляются связанные с именем семиотическими отношениями смысл и значение (представление) объекта. В прикладной семиотике информационной единицей для описания ситуаций служит знак в виде тройки и называется он *семой* [22, 23]. Причем изменение любого элемента этой тройки, вызванное появлением новых фактов, из-

меняет два других элемента знака. В прикладной семиотике текущая семиотическая модель объекта управления представляется как одна из моделей из упорядоченного множества возможных семиотических моделей объекта управления — возможных миров. Таким образом, семиотические модели становятся открытыми и легко адаптируются к условиям изменяющейся среды.

К сожалению, монография «Прикладная семиотика» Д.А. Поспелова так и не была закончена, однако отдельные ее главы, в которых изложены основные идеи этого подхода, опубликованы [22, 23]. Работы в области семиотических систем продолжают развиваться: разрабатываются модели и методы отдельных элементов архитектуры семиотической системы, множество работ посвящено исследованию адаптационных возможностей прикладных семиотических систем. В работе [29] предложена архитектура системы управления, построенной на принципах семиотического подхода. Эта архитектура включает в себя базу знаний о предметной области, множество моделей принятых решений и элементы (интерпретатор, классификатор, коррелятор, экстраполятор), обеспечивающие адаптацию существующей (текущей) базы знаний и моделей для решения оригинальной задачи.

В работе [30] предложена нечеткая семиотическая модель, состоящая из нечетких регуляторов и позволяющая их настройку на  $T$ -нормы и модели конкретного пользователя. В работе [31] рассматриваются принципы построения семиотической системы поддержки принятия решений, в которой адаптация для решения проблемы осуществляется на основе учета опыта принятия решений в немарковской модели с обучением. В работе [32] основная идея автора заключается в объединении теоретической семиотики и эволюционного моделирования для моделирования процессов образования и эволюции знаков (*семиозиса*) в многоагентных системах.

В зарубежной литературе научное направление, исследующее применение знаков и знаковых систем в области информатики часто называют вычислительной семиотикой (*computational semiotics*) [33]. В большинстве работ применение семиотического подхода направлено на поддержку проектирования информационных систем. Так, в работе [34] предложена компьютерная семиотика (*computer semiotics*). Компьютерная семиотика базируется на тезисе Ф. Соссюра, классика теоретической семиотики [35], о том, что семиотика — это наука о знаках в социуме. Поэтому центром теории компьютерной семиотики является индивидуум как носитель знаковой системы. Тогда знаковая система в теории компьютерной семиотики может рассматриваться как формализованное знание индивидуума в виде знакового описания компьютерной



системы и ее отдельных элементов: интерфейсов; моделей представления знаний; языков программирования; мультимедийных и гипертекстовых приложений; организация коммуникации систем, коллективного поведения в мультиагентных системах и др.

В этом же ключе предлагается семиотический подход для классификации и разработки информационных систем [36]. Любая информационная система рассматривается в трех аспектах: синтаксическом, семантическом и прагматическом, которые являются тремя составными частями теоретической семиотики Ф. Соссюра [35]. Синтаксис отражает формальную знаковую модель информационной системы, выраженную с помощью знаков: блок-схем, имен подсистем и др. Семантика определяет связь знаков синтаксической структуры и реальных объектов (подсистем) информационных систем, которые эти знаки обозначают. Здесь может быть описано функциональное назначение подсистем, интерфейсов, алгоритмы их работы, особенности конструкции и т. д. Прагматика описывает отношение знаков, с помощью которых система описана, и конечного пользователя информационной системы в разных вариантах (контекстах) ее использования. Здесь затрагиваются вопросы человеко-машинного интерфейса, а также функциональность системы в целом и режимы ее использования.

Различные синтаксические, семантические и прагматические структуры позволяют классифицировать различные типы информационных систем (систем поддержки принятия решений, экспертные системы, системы групповой поддержки принятия решений, системы обработки транзакций и др.). Семиотическая классификация позволяет увидеть перспективы развития информационных систем, и, следовательно, сформулировать задачу на их разработку.

В работе [37] исследуется возможность применения семиотического подхода для проектирования пользовательских интерфейсов. Для этого разрабатывается теоретический подход, названный алгебраической семиотикой (*algebraic semiotic*). Суть его в следующем. Знаки, используемые для построения интерфейсов (кнопки, окна, надписи, тексты и т. д.), представлены в виде множества классов знаков  $\{S_i\}$ . Определены характеристики всех классов  $V_{ij}$  (свойства, например, цвет, размер и т. д.) и определен частичный порядок на множестве знаков  $(\{S_i\}, \leq)$ . Это позволяет представить все классы по включению их свойств в виде иерархии на  $n$  уровнях. На каждом уровне  $n$  определен конструктор  $c_n$ , который позволяет создавать новые знаки для уровня  $n + 1$  из знаков, находящихся на уровнях  $n$  и  $n + 1$ . Существующие и вновь созданные знаки образуют частично упорядоченное

множество знаковых систем, которые затем используются для разработки пользовательских интерфейсов.

Автор вводит понятие семиотический морфизм (*semiotic morphism*), подобное морфизму в теории категорий, для исследования возможности представления интерфейсов в разных, но эквивалентных знаковых системах. Например, если интерфейс разработан с преимущественным применением текстовых полей, то с помощью семиотического морфизма он может быть преобразован в интерфейс, содержащий изображения или иконки.

Понятие семиотический морфизм употребляется также для корректного объединения разных знаковых систем, представляющих интерфейсы. Их объединение направлено на расширение существующих интерфейсов.

В работе [38] рассмотрены возможные применения семиотического подхода при разработке гипертекстовых, мультимедийных и Интернет-приложений.

В международной базе цитирования «Scopus» на запрос «*applied semiotics*» за период с 2000 г. по настоящее время в областях «*Computer Science*» и «*Engineering*», было выявлено 145 докладов на конференциях и статей в периодических научных журналах. Судя по аннотациям этих работ, семиотический подход находит широкое применение для проектирования и анализа разного рода информационных систем, создания моделей знаний в прикладных областях. Однако строгих формальных моделей семиотической системы в проанализированных работах не встречалось. Единственное исключение, теоретическая модель — алгебраическая семиотика, описанная в работе [37]. В работе [38] отсутствие теоретических работ по прикладной семиотике связывают с ее «капризностью». Действительно, рассмотрение одного и того же знака в разных контекстах может означать разный смысл и обозначать разные объекты или явления реального мира. Эта «капризность» семиотики создает трудности при создании единой конструктивной теоретической модели семиотической системы в области компьютерных наук и информатики. Возможно, именно поэтому в настоящее время семиотический подход содержит в качестве элемента семиотической системы носителя знаковой системы — человека — и является скорее методологическим приемом, описывающим сложные системы в едином теоретическом базисе, направленным на поддержку человеко-машинного интерфейса для активизации интеллектуальной деятельности эксперта или аналитика в процессах анализа и принятия решений в сложных ситуациях.

Одна из теоретических моделей прикладной семиотики была в самом общем виде описана в работах [22, 23]. Рассмотрим эту модель.

## 1.2. Семиотическая система Д.А. Поспелова

Семиотической системой  $SS$  называется упорядоченная восьмерка множеств [22, 23]:

$$SS = \langle T, R, A, P, \tau, \rho, \alpha, \pi \rangle,$$

где  $T$  — множество основных символов,  $R$  — множество синтаксических правил,  $A$  — множество знаний о предметной области,  $P$  — множество правил вывода,  $\tau$  — 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  $FS = \langle T, R, A, P \rangle$ , которая позволяет формально описать некоторый объект реальности для его моделирования. Элементы  $M_{FS} = (\tau, \rho, \alpha, \pi)$  — правила изменения формальной системы, которые обеспечивают ее адаптацию для решения проблем, которые в рамках формальной системы  $FS$  решить не удается.

Иными словами, семиотическая система в процессах поиска решения может быть определена как динамическая система:  $SS(t) = \langle FS_i(t), M_{FS_i}(t) \rangle$ , где  $FS_i(t)$  — текущая формальная система (модель реальности), а  $M_{FS_i}(t)$  — правила смены текущей формальной системы (модели).

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) [24]. Это означает, что применение одного из правил из этой четверки приводит к применению оставшихся правил. В работе [23] считается, что предложенная восьмерка, описывающая семиотическую систему, есть единое целое, которое определяется как знак. Конечно, в рамках формальной системы  $FS$  с помощью подобранного множества основных символов  $R$  и синтаксических правил  $T$  описывать сложные объекты можно тройками: имя знака, его смысл и представление денотата.

Для описания механизма взаимодействия элементов знака, изменяющего формальную систему, в работе [23] рассматривается множество знаков, связанных различными отношениями. В искусственном интеллекте такая сеть знаков называется семантической сетью и, по сути, соответствует некоторому вербальному описанию ситуации — состоянию объекта управления. Управление здесь заключается в изменении сети знаков таким образом, чтобы новая сеть знаков соответствовала некоторой цели управления, например, разрешению некоторого конфликта в ситуации. Поясним это на простом примере. Рассмотрим ситуацию в семье, в которой возник конфликт из-за желания жены приобрести собаку, что не устраивает мужа.

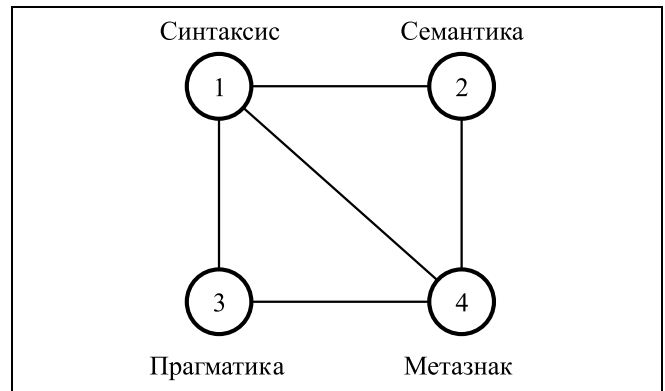


Рис. 2. Квадрат Поспелова

Эта ситуация может быть формально описана семантической сетью. Управление, направленное на разрешение конфликта, в этом случае заключается в том, чтобы убрать знак, вызывающий конфликт — это знаки собака, муж или жена. Соответственно решением этой ситуации служит новый знак, например, супруги договорились купить кошку или аквариумных рыбок, что устраивает всех, или еще одно решение — решили развестись.

Авторы говорят о внутренней активности знаковых сетей, для управления которой необходима надстройка над сетью знаков в виде метазнака. Метазнак определяет фрагмент сети знаков, над которым он надстроен. Структура метазнака отличается от знака в виде треугольника Фреге и определяется четверкой: синтаксис, который определяет имя метазнака, и синтаксические отношения между знаками во фрагменте сети знаков; семантика — понятия о знаке, определяющие основные признаки и особенности фрагмента сети знаков; прагматика — определяет процедуры, связанные с возможным изменением фрагмента сети знаков [23]. Другими словами, метазнак определяет синтаксис, семантику и прагматику фрагмента сети знаков, который он обозначает. Эту четверку принято называть семиотическим квадратом Поспелова (рис. 2).

Например, метазнак для ранее приведенного примера определится следующим образом. Сеть знаков муж, жена и собака с определенными отношениями является денотатом метазнака и обозначается в вершине «Синтаксис» именем — «Конфликт из-за собаки». В вершине «Семантика» будут описаны признаки этой конфликтной ситуации, ее суть, а в вершине «Прагматика» описаны возможные решения этого конфликта, например те, о которых говорилось ранее.

Метазнак (метауровень знаковой системы) можно рассматривать как некоторую управляющую систему над знаковой системой (фрагментом сети знаков), оценивающую ее текущее состояние



и предлагающую действия, направленные на ее изменение. По сути, это система, которая реализует правила смены формальной системы  $FS$  в случаях, когда такая смена становится необходимой, т. е. появляются условия активности.

В качестве одного из возможных условий активности в работе [23] рассматривается наличие во фрагменте знака, так называемого когнитивного диссонанса [39]. Фактически когнитивный диссонанс в знаковой системе — это конфликт (противоречие) в моделируемой системе.

Условия активности метазнака реализуются множеством правил вида [23]:

$$(C_i, A_i, H_i, B_i), \quad i = 1, \dots, n,$$

где  $C_i$  — имя продукции,  $A_i$  — условия активизации продукции,  $H_i$  — последствия активизации продукции,  $B_i$  — действия по изменению знака.

Разрешение конфликта основано на оценке  $H_i$  его последствий. В зависимости от этой оценки, конфликт разрешается действием  $B_i$ . Действие предполагает изменения самой семиотической системы (изменение ситуации и, следовательно, формальной системы  $FS_i$ ). Если конфликт считается несущественным, то формальная система остается неизменной до тех пор, пока не изменится оценка последствий конфликта.

Множество знаков, описывающих ситуацию в предметной области — это достаточно сложная многослойная иерархическая структура, в которой отношения «род — вид» между знаками на разных уровнях иерархии позволяют получать описание ситуаций с разной степенью общности, выделяя наиболее важные для решения задачи признаки. Активность метазнаков фрагментов сети знаков позволяет управлять сетью этих знаков для поиска решений. При этом решение будет выражено с помощью новой сети знаков [22].

Система представления знаний, состоящая из знаков, метазнаков и механизмов управления сетью знаков называется *семиотической базой знаний* [22].

Семиотическая база знаний отличается от обычной характером хранящейся информации (это знаки, метазнаки), а также встроенными механизмами перестройки семиотической базы знаний при решении практических задач. В работе [22] были сформулированы основные идеи прикладной семиотики, процедуры, реализующие функциональность семиотической базы знаний. Однако законченных реализаций идей семиотической системы управления и семиотической базы знаний на изложенных выше принципах не было. Интерес представляет защищенная в 2015 г. кандидатская диссертация, предлагающая модели и алгоритмы элементов знаковой картины мира субъекта, основанных на идеях прикладной семиотики [40].

В настоящее время элементы описанных идей построения семиотической базы знаний можно найти в онтологическом моделировании, в технологиях семантического WEB'a, в хранилищах информации, основанных на стандартах RDF-схем и др.

Отметим, что когнитивное моделирование в принятии решений, рассматриваемое в настоящей работе, попадает в класс систем ситуационного управления. Здесь мы имеем грубую модель действительности в виде ориентированного графа, которая считается гипотезой о функциональной структуре объекта управления и является формализацией естественно-языкового описания объекта управления. Можно сказать, что когнитивная карта — это однородная семантическая сеть с причинно-следственными отношениями. По сути, это сеть знаков, которая может быть представлена в терминах семиотической системы.

Цель настоящей работы заключается в разработке и исследовании теоретической модели семиотических когнитивных карт, элементом построения которых служит знак в виде тройки: имя, смысл и значение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части статьи рассмотрены трудно решаемые проблемы когнитивного моделирования и принятия решений в плохо определенных ситуациях. Это проблемы интерпретации результатов моделирования ситуаций и верификации моделей ситуации, которые предложено решать на основе нового теоретического базиса когнитивного моделирования ситуаций, основанного на принципах прикладной семиотики.

Проанализированы существующие в настоящее время семиотические подходы и модели проектирования, анализа, принятия решений в областях информатики и управления.

Подробно рассмотрена формальная семиотическая модель ситуаций Д.А. Пospelова, включающая описание ситуации как формальной системы и модификаторы этой формальной системы, позволяющие перестраивать ее в процессах принятия решений. Эта модель в дальнейшем взята за основу для формализации семиотических когнитивных карт.

Далее будут рассмотрены основные определения терминов и понятий модели семиотических когнитивных карт, а также алгоритм построения интерпретирующего каркаса предметной области, предназначенного для облегчения решения задач интерпретации результатов моделирования и верификации когнитивных моделей в процессах принятия решений в плохо определенных предметных областях, с применением методологии когнитивного моделирования.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Часто цитируемые статьи журнала «Проблемы управления». — URL: [http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=pu&wshow=statlist&option\\_lang=rus&period=alltime#r6](http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=pu&wshow=statlist&option_lang=rus&period=alltime#r6) (дата обращения: 9.04.2015).
2. Кулинич А.А. Классификация когнитивных карт и методы их анализа. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте // Сб. науч. тр. VI междунар. науч.-техн. конф. (Коломна, 16–19 мая 2011 г.). — М., 2011. — Т. 1. — С. 124–136.
3. Кулинич А.А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления. — 2010. — № 3. — С. 2–16.
4. 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.
5. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И. Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления. — 2007. — № 3. — С. 2–8.
6. Кузнецов О.П. Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Проблемы управления. — 2009. — № 3.1. — С. 64–72.
7. Новиков Д.А. «Когнитивные игры»: линейная импульсная модель // Проблемы управления. — 2008. — № 3. — С. 14–22.
8. Кулинич С.Г., Коргин Н.А. Модель информационного управления на основе игры на линейной когнитивной карте // Управление большими системами. — 2011. — Вып. 35. — С. 94–113.
9. Кулинич А.А. Модель поддержки принятия решений для образования коалиций в условиях неопределенности // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2012. — № 2. — С. 95–106.
10. Рябов В.Б. Управление качеством трудовой жизни в организации с использованием когнитивных карт // Экспериментальная психология. — 2013. — Т. 6, № 3. — С. 110–121.
11. Соседов Г.А. Менеджмент качества системы образования // Наука и бизнес: пути развития. — 2013. — № 1 (19).
12. Каньева Е.И. Когнитивное моделирование риска нештатного падения отделяющейся части ракеты-носителя // Космонавтика и ракетостроение. — 2014. — № 3 (76). — С. 79–87.
13. Фадеев В.А. Формализация проблемы развития генерирующих мощностей в изолированном районе // Тр. Братского гос. ун-та. Сер.: Естественные и инженерные науки. — 2013. — Т. 1. — С. 61–64.
14. Башлыков А.А. Принципы построения перспективных корпоративных информационных систем интеллектуальной поддержки принятия решений в управлении и бизнесе транспорта нефти // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. — 2013. — № 8. — С. 9–19.
15. Авдонин Б.Н., Хрусталева Е.Ю., Хрусталева О.Е. Когнитивная методология структуризации знаний для изучения и применения финансово-экономических инноваций // Финансовая аналитика: проблемы и решения. — 2013. — № 35. — С. 2–13.
16. Papageorgiou E.I. A Review study on Fuzzy Cognitive Maps and their applications during the last decade // Proc. of IEEE Intern. Conf. of Fuzzy Systems (FUZZ IEEE). — 2011, 27–30 June. — Taipei, Taiwan. — P. 828–835.
17. Gruber T.A. Translation approach to portable ontology Specifications // Knowledge Acquisition. — 1993. — Vol. 5 (2). — P. 199–220.
18. Абрамова Н.А., Коврига С.В. О рисках, связанных с ошибками экспертов и аналитиков // Проблемы управления. — 2006. — № 6. — С. 60–67.
19. Абрамова Н.А., Коврига С.В. Некоторые критерии достоверности моделей на основе когнитивных карт // Проблемы управления. — 2008. — № 6. — С. 23–33.
20. Кулинич А.А. Верификация когнитивных карт на основе объяснения прогнозов // Управление большими системами. — 2010. — Вып. 30.1. — С. 453–469.
21. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
22. Поспелов Д.А., Осипов Г.С. Прикладная семиотика // Новости искусственного интеллекта. — 1999. — № 1. — С. 9–35.
23. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике // Там же. — 2002. — № 6. — С. 56–59.
24. Бирюков Б.В. Теория смысла Готлоба Фреге / В кн.: Применение логики в науке и технике. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — С. 502–555. — URL: <http://www.rulit.me/books/teoriya-smysla-gotloba-frege-read-262511-3.html> (дата обращения 3.11.2015).
25. Peirce C.S. Questions Concerning Certain Faculties Claimed for Man // Journal of Speculative Philosophy. — 1868. — Vol. 2. — P. 103–114. — URL: <http://www.peirce.org/writings/p26.html> (дата обращения: 9.04.2015).
26. Пирс Ч.С. Что такое знак? // Вестник Томского гос. ун-та. Философия. Социология. Политология. — 2009. — № 3 (7). — С. 88–95.
27. Мартынов В.В. Кибернетика. Семиотика. Лингвистика. — Минск: Изд-во БГУ, 1966. — 275 с.
28. Мартынов В.В. Основы семантического кодирования. Опыт представления и преобразования знаний. — Минск: ЕГУ, 2001. — 140 с.
29. Эрлих А.И. Прикладная семиотика и управление сложными объектами // Программные продукты и системы. — 1997. — № 3. — С. 2–6.
30. Аверкин А.Н., Головина Е.Ю. Нечеткая семиотическая система управления // Тр. междунар. конф. «Интеллектуальное управление: новые интеллектуальные технологии в задачах управления (ICIT'99)». Переславль-Залесский 6–9 дек. 1999 г. — М., 1999. — С. 141–145.
31. Еремеев А.П., Тихонов Д.А., ШUTOVA П.В. Поддержка принятия решений в условиях неопределенности на основе немарковской модели // Изв. РАН: Теория систем и управления. — 2003. — № 5. — С. 75–88.
32. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.
33. Gudwin R.R. From semiotics to computational semiotics. In Proc. of the 9th International Congress of the German Society for Semiotic Studies / 7th International Congress of the International Association for Semiotic Studies (IASS/AIS). — Dresden, 1999.
34. Andersen P.B. A Theory of Computer Semiotics: Semiotic Approaches to Construction and Assessment of Computer Systems. — Cambridge: Cambridge University Press, 2006. — 460 p.
35. Соссюр Ф. де Курс общей лингвистики. Пер. с фр. — М.: Эдиториал УРСС, 2004. — 256 с.
36. Barron T.M., Chiang Roger H.L., Storey V.C. A semiotics framework for information systems classification and development // Decision Support Systems. — 1999. — N 25. — P. 1–17.
37. Goguen J. An Introduction to Algebraic Semiotics, with Applications to User Interface Design // Computation for Metaphor, Analogy and Agents, ed. by Ch. Nehaniv, Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence. — 1999. — Vol. 1562. — P. 242–291.
38. Neumueller M. Hypertext Semiotics in the Commercialized Internet. Diplomarbeiten Agentur diplom. de (January 1, 2001). — P. 236. — URL <http://sammel.punkt.philo.at:8080/23/2/ht-semiotics.pdf> (дата обращения: 17.09.2015).
39. Фестингер Л. Теория когнитивного диссонанса. — СПб.: Ювента, 1999. — 318 с.
40. Панов А.И. Исследование методов, разработка моделей и алгоритмов формирования элементов знаковой картины мира субъекта деятельности: Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. — М.: ВЦ РАН, 2015. — 22 с. <http://vak2.ed.gov.ru/idcUploadAutoref/renderFile/193573> (дата обращения: 21.08.2015).

Статья представлена к публикации членом редколлегии Д.А. Новиковым.

Кулинич Александр Алексеевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, [kulinich@ipu.ru](mailto:kulinich@ipu.ru).