

Метод формализации организационных знаний¹

Аннотация. Рассматривается новый метод представления знаний, основанный на оригинальном системном графоаналитическом подходе «Узел-Функция-Объект» (УФО-подходе), теории паттернов и исчисления процессов. Описывается способ формализации знаний о деятельности организации, представляемых с помощью УФО-подхода. Приводятся примеры применения предложенного метода.

Ключевые слова: формализованное представление знаний, организационные знания, системный подход «Узел-Функция-Объект», исчисление процессов, исчисление функций.

Введение

Существует много способов представления знаний, как традиционных, так и недавно разработанных. Для представления знаний о предметной области, например, в интеллектуальных компьютерных системах традиционно используются следующие модели.

Продукционная модель. Ее достоинством является удобство вывода, недостатком – представление только процедурных знаний [9].

Семантическая сеть. Достоинство семантических сетей – наглядность представления понятийных знаний. С их помощью удобно представлять причинно-следственные связи между элементами знаний, а также структуру сложной системы знаний. Недостаток таких сетей – сложность вывода, поиска подграфа, соответствующего запросу [12].

Фреймовая модель представления знаний удобна для описания структуры и характеристик однотипных объектов (процессов, событий), описываемых фреймами – специальными ячейками (шаблонами) фреймовой сети. Достоинством и одновременно недостатком фреймовых моделей является их ориентированность на описание стандартных типовых ситуаций [8].

Логическая модель удобна для представления логических взаимосвязей между фактами. Однако она весьма ограничена по своим воз-

можностям в связи с тем, что использует только формальные системы для описания знаний [9].

Несмотря на большие возможности традиционных способов представления знаний, они, кроме упомянутых выше недостатков, не позволяют структурировать знания, представляемые в визуальной графической форме. Визуальное же представление знаний значительно облегчает работу с ними. Более того, в последнее время, все чаще появляются работы в самых разных предметных областях, излагающие свой материал в графической форме, который играет в них ту же серьезную роль, что и традиционный текст на естественном языке. Например, для решения задач принятия решений и управления в организациях стали использоваться разнообразные средства визуального графического бизнес-моделирования. Это обуславливает целесообразность развития и совершенствования этих средств как способа представления организационных знаний. Специалисты в области бизнес-практики отмечают, что визуальная графоаналитическая модель бизнес-процесса фактически аккумулирует в себе знания об организационно-деловых и производственно-технологических процессах. Реализуя концепцию управления знаниями, используемыми в процессе такого моделирования, организация значительно повышает свою конкурентоспособность [2].

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-07-00266).

Именно поэтому актуальным является создание нового метода представления организационных знаний, который позволил бы отображать знания в графической форме и их эффективно использовать, не сталкиваясь с недостатками традиционных моделей.

1. УФО-подход к представлению знаний

Известные визуальные графоаналитические способы функционального (системно-структурного), а также объектного моделирования бизнес-систем и бизнес-процессов ориентированы либо на описание процессов и связывающих их потоков без учета объектов их реализующих, либо на описание классов и объектов без учета материальных и информационных потоков. Для создания нового способа представления знаний, компенсирующего недостатки как традиционных моделей, так и системно-структурного и объектного подходов, предлагается использовать оригинальный системный (системно-объектный) подход, с помощью которого любая система может быть представлена в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемента) [3].

В рамках данного подхода «узел» задается как точка пересечения входных и выходных связей (потоков) в структуре моделируемой системы, «функция» – как процесс перевода входа в выход, т.е. процесс, обеспечивающий баланс «втекающих» и «вытекающих» потоков/связей данного узла, «объект» – как субстанция, реализующая данную функцию. УФО-элементы, собранные в различные конфигурации, образуют диаграммы взаимодействия элементов, которые позволяют визуализировать функциональность элементов системы более высоких уровней. Таким образом, моделируемая система представляется в виде иерархии УФО-элементов. Данное представление позволяет учесть различные аспекты рассмотрения системы или различные свойства системы (структурные, функциональные, объектные) в одной системно-объектной модели – УФО-модели.

С помощью УФО-подхода могут быть интегрированы особенности различных традиционных методов представления знаний. Это объясняется тем, что моделирование систем с учетом их узловых характеристик есть, по сути, представление знаний о них в виде семантиче-

ской сети. Моделирование систем с учетом их функциональных характеристик может осуществляться с использованием продукций или логики предикатов, моделирование систем с учетом их объектных характеристик – с помощью фреймов. Таким образом, три способа представления знаний могут быть объединены и связаны между собой в УФО-модели, представляющей собой совокупность взаимосвязанных узлов и функций, для которых определены объекты. Данная интеграция может быть обеспечена, например, с помощью учета продукций (описывающих функции) и связей между узлами в слотах фреймов (описывающих объекты). Это позволит компенсировать недостатки отдельных способов представления знаний и повысить достоверность вывода [4-6].

Создание универсального метода представления знаний предполагает не только объединение различных способов представления в одной модели, но и обеспечение вывода на этой универсальной модели. Это может быть достигнуто за счет единообразного описания различных способов представления знаний и универсальной модели знаний (в данном случае УФО-модели) с помощью единого математического аппарата. В настоящее время, по мнению авторов, для создания такого аппарата может быть использована теория паттернов Гренандера [1], исчисление процессов (Calculus of Communication Systems – CCS) Милнера [11], а также исчисление объектов Абади-Карделли [10]. Обоснование возможности создания требуемого аппарата на основе упомянутых математических теорий представлено в Табл. 1, в которой комментарии и выводы авторов выделены курсивом.

Представленная таблица позволяет сделать следующие выводы.

Алгебра изображений теории паттернов, хотя формально и определяется на множестве конфигураций, реально оперирует только со связями (не зависит от состава конфигураций, т.е. от «образующих») и, следовательно, может рассматриваться как алгебра только для «узлов» (в терминах УФО-подхода).

Алгебра процессов формально оперирует теми же объектами, что и алгебра изображений, т.е. конфигурациями, но учитывает их внутреннюю структуру. Таким образом, это алгебра может рассматриваться как алгебра для «функций» (в терминах УФО-подхода). При этом

Табл. 1. Связь УФО-подхода и математических теорий

УФО-подход	Теория паттернов	Алгебры изображений, процессов и объектов
Узел: перекресток входящих и выходящих связей	Изображение: класс эквивалентности, индуцированный на множестве конфигураций, который содержит информацию относительно несоединенных (внешних) связей конфигураций. <i>Понятие «изображение» теории паттернов соответствует понятию «узел» УФО-подхода.</i>	Теория паттернов (алгебра изображений). Определена на множестве регулярных конфигураций, на котором заданы преобразования подобия и операторы присоединения и аннигиляции. <i>Алгебра изображений позволяет формально описать взаимодействие систем в целом, которое и осуществляется, собственно, на уровне структурных элементов, т.е. узлов. Следовательно, алгебра изображений – это алгебра для узлов.</i>
Функция: процесс преобразования входа в выход	Конфигурация: комбинация образующих, получающаяся при соединении их связей. Кроме того, конфигурация рассматривается как формула функции, задаваемой изображением. <i>Конфигурация зависит только от связей образующих, т.е. по сути, это комбинация не образующих, а изображений. Следовательно, конфигурация представляет собой описание процесса, т.е. описание функции в терминах УФО-подхода.</i>	Исчисление процессов (CCS) Процесс P есть тройка: (S, s_0, R) , которая задается процессным графом, где S – множество состояний процесса, $s_0 \in S$ – начальное состояние, R – множество переходов в S путем выполнения некоторых действий. (S, R) – размеченная система переходов над множеством действий $Act(P)$. Множество действий Act (входных $\alpha!$, выходных α !, внутренних αt), которые интерпретируются как ввод, вывод или передача объекта с именем действия. <i>Процессный граф можно рассматривать как конфигурацию, в которой состояниям процесса соответствуют образующие/изображения, а переходам с выполнением действий соответствуют связи/потоки. Следовательно, алгебру процессов можно рассматривать как средство формального описания систем в виде конфигураций, т.е. на уровне функций. Тем самым алгебра процессов – это алгебра функций!</i>
Объект: субстанция, реализующая функцию и занимающая данный функциональный узел	Образующая: объект (именованный), обладающий некоторыми признаками α , а также входящими и выходящими связями, в свою очередь характеризующимися некоторыми показателями β . <i>Понятие «образующая» теории паттернов соответствует понятию «объект» УФО-подхода.</i>	Исчисление объектов Объект O представляет собой набор полей и методов. Использование метода объекта – это вызов метода, изменение метода – это переопределение. Поле – это частный случай метода (константный метод). <i>Таким образом, стоит задача описания понятия «образующая» в теории паттернов с помощью исчисления объектов.</i>

очевидно, эти два алгебраических аппарата (алгебра изображений и алгебра процессов) тесно связаны между собой.

Исчисление объектов это, с одной стороны, алгебра для «объектов» УФО-подхода, а, с другой, аппарат для оперирования «образующими» теории паттернов с учетом их объектных признаков, которые не учитываются средствами алгебры изображений.

Установленная связь УФО-подхода к представлению организационных знаний с математическими теориями, а также взаимосвязь самих этих теорий делают возможным построение единого алгебраического аппарата для описания знаний, представляемых в терминах «Узел-Функция-Объект».

2. Формализация описания функциональных характеристик УФО-элементов

Применение теории паттернов (алгебры изображений) для формализации УФО-подхода позволяет описать процедуры синтеза и анализа систем с точки зрения их узловых (структурных) характеристик [7]. Изложим теперь возможный подход к формальному описанию функциональных (процессных) характеристик систем как УФО-элементов. Для этого используется исчисление процессов (CCS) Милнера [11]. По аналогии с данным исчислением введем понятие функции УФО-элемента.

Функция F есть тройка (S, S^0, R) , где S – множество подпроцессов процесса, соответствующего функции F , $S^0 \subset S$ – множество интерфейсных подпроцессов (причем $S^0 = S? \cup S!$), R – множество переходов в множестве S , осуществляемых путем передачи, ввода и вывода объектов: $s_i \xrightarrow{\alpha\tau_{ij}} s_j$. Иными словами, по аналогии с исчислением процессов рассматривается размеченная система переходов (S, R) над множеством потоков $Act(F)$. Элементы множества $Act(F)$ потоков (входных $\alpha?$, выходных $\alpha!$, внутренних $\alpha\tau$), соответствующего множеству действий в исчислении процессов, также интерпретируются как ввод, вывод или передача объекта с именем потока. При этом в данном случае (на уровне описания функций) нас интересуют только внутренние потоки, так как внешними (входными и выходными) потоками занимается алгебра изображений теории паттернов.

Представленное формальное понимание функции УФО-элемента позволяет использовать понятия исчисления процессов для математического описания функциональных характеристик систем (с точки зрения УФО-подхода). Основы такого описания представлены в Табл. 2.

Представленные выше операции префиксно-го действия и альтернативной композиции, а также другие операции, аналогичные операциям исчисления процессов, могут быть уточнены или расширены с учетом того, что УФО-элемент является, в первую очередь, графическим формализмом. При этом в соответствии с исчислением функций (в рамках УФО-

подхода), любому УФО-элементу соответствует процессный граф, описывающий его функциональность. Таким образом, используя теорию графов, можно описать упомянутые выше операции на более низком уровне как комбинации элементарных операций.

В настоящее время в качестве элементарных предлагается рассматривать следующие операции:

1. добавление/удаление связи,
2. добавление/удаление узла,
3. добавление/удаление функции узла,
4. добавление/удаление функционального объекта.

Операции 1-3 исследованы нами, например, в работе [7] и описаны с помощью алгебры изображений теории паттернов. Операция 1 соответствует бинарному оператору (правилу) присоединения образующих/изображений (т.е. узлов). Операция 2 является, в свою очередь, элементарной по отношению к операции 3. Последняя же соответствует процедуре декомпозиции (анализа), текущего узла (как изображения) для представления конфигурации ему соответствующей и описывающей его функциональность.

Рассмотрение операций исчисления процессов как комбинаций элементарных операций, представляемых, в свою очередь, средствами алгебры изображений, позволяет конструктивно исследовать и описать взаимодействие двух алгебраических аппаратов (процессов и изображений), тесная связь между которыми отмечена выше. В настоящее время авторы ведут работу в этом на-

Табл. 2. Формальные основы исчисления функций

Исчисление процессов (CCS)	Исчисление функций (УФО-подход)
Пустой процесс: $NIL = (\{s0\}, s0, \emptyset) = 0$	Пустая функция: $(\{s0 \in S\}, \{s0 \in S^0\}, \emptyset) = 0$
Трасса (протокол) процесса P: последовательность элементов a_1, a_2, \dots множества действий $Act(P)$, для которой существует последовательность состояний s_0, s_1, s_2, \dots такая, что для любого i : $s_i \xrightarrow{a_{i+1}} s_{i+1}$.	Трасса (протокол) функции F: последовательность элементов a_1, a_2, \dots множества потоков $Act(F)$, для которой существует последовательность подпроцессов s_0, s_1, s_2, \dots такая, что для любого i : $s_i \xrightarrow{a_{i+1}} s_{i+1}$ (только для $\alpha\tau$).
Префиксное действие: $\alpha.P = (S \cup \{s0' \notin S\}, s0', R \cup \{s0', \alpha, s0\})$	Префиксное действие: $s?.F = (S \cup \{s? \notin S\}, \{s? \in S^0\}, R \cup \{s?, \alpha, \{s_i \in S\}\})$ Постфиксное действие: $s!.F = (S \cup \{s! \notin S\}, \{s! \in S^0\}, R \cup \{\{s_i \in S\}, \alpha, s!\})$
Альтернативная композиция: $P_1 + P_2 = (S_1 \cup S_2 \cup \{s0' \notin S_1 \cup S_2\}, s0', R_1 \cup R_2 \cup \{s0', \alpha, s1 \in R_1\} \cup \{s0', \alpha, s2 \in R_2\})$	Альтернативная композиция: $F_1 + F_2 = (S_1 \cup S_2 \cup \{s0' \notin S_1 \cup S_2\}, \{s0' \in S?\}, R_1 \cup R_2 \cup \{s0', \alpha, s1 \in R_1\} \cup \{s0', \alpha, s2 \in R_2\})$

правлении. Описание же операции 4, которое, вероятно, будет использовать средства исчисления объектов, является предметом дальнейшего перспективного исследования.

3. Примеры формализованного представления знаний

Приведем примеры использования предложенного исчисления функций, аналогичного исчислению процессов, для формализации знаний, представляемых с помощью УФО-подхода. Одним из примеров может служить сетевая модель знаний в нотации УФО-подхода, представляющая иерархию понятий, которая изображена на Рис. 1.

По аналогии с процессом в рамках исчисления процессов сетевую модель иерархии понятий можно рассматривать в рамках УФО-подхода как введенную выше формально функцию F . Трассой данной функции будет конечная последовательность потоков этой функции: $a_1, a_2, a_3, \dots, a_N$, такая, что существует последовательность подпроцессов этой функции: $s_0, s_1, s_2, \dots, s_N$, которая обладает следующими свойствами:

- s_0 соответствует начальному подпроцессу функции, т.е. одному из интерфейсных (входных) подпроцессов из множества s_0 ;
- для каждого $i \geq 1$ множество R содержит переход $s_i \xrightarrow{a_{i+1}} s_{i+1}$.

Заметим, что в данном случае множество всех трасс, является множеством всех возможных логических выводов, т.е. например, трасса:

$$\text{самолет}SSL \xrightarrow{is-a} \text{специальный} \dot{y} \xrightarrow{a-kind-of} \text{винтовой} \xrightarrow{a-kind-of} \text{воздушное_судно}$$

представляет собой заключение о том, что самолет «Spirit of St.Louris» – это объект типа «Специальное винтовое воздушное судно».

Другой пример – фреймовая модель знаний в нотации УФО-подхода, представляющая описание фрагмента расписания занятий в учебном заведении, изображена на Рис. 2.

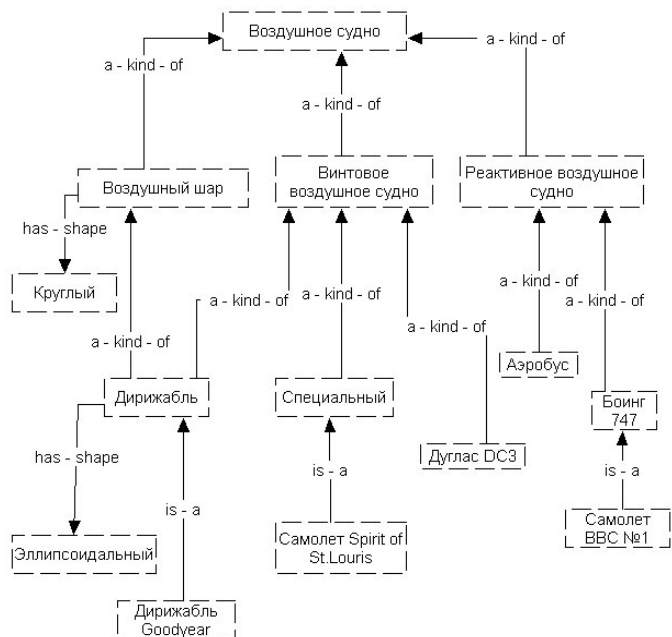


Рис. 1. Сетевая модель иерархии понятий в нотации УФО-подхода

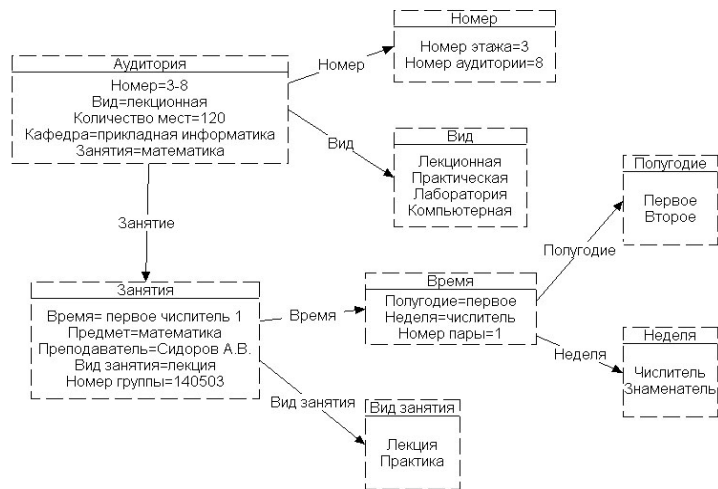


Рис. 2. Фрагмент фреймовой сети в нотации УФО-подхода

Фреймовую модель также можно рассматривать в рамках УФО-подхода как введенную выше формально функцию F . Интерфейсным (входным) подпроцессом s_0 будет подпроцесс, соответствующий фрейму «Аудитория». Операция «префиксное действие», представляющая собой добавление нового интерфейсного (входного) подпроцесса и внутреннего потока к данной функции (т.е. перехода), будет описывать добавление к модели фрейма и соответствующей связи.

Например, если необходимо в рассматриваемой фреймовой модели учесть описание корпуса некоторого учебного заведения, то это можно сделать путем добавления фрейма «Корпус» со следующими слотами: «аудитория»; «заведующий»; «общая площадь», связанного с фреймом «Аудитория». В рамках предложенного выше исчисления функций это добавление есть префиксное действие по отношению к данной функции, в результате которого к множеству подпроцессов добавился входной подпроцесс, соответствующий фрейму «Корпус», а к множеству переходов R – новый переход, внутренний поток которого удобно обозначить как «Аудитория». В результате получим фреймовую модель в нотации УФО-подхода, приведенную на Рис. 3.

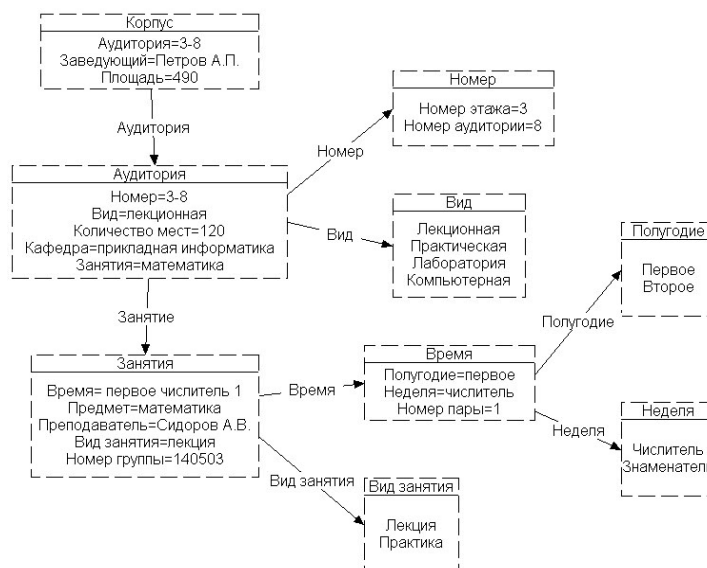


Рис. 3. Результат применения операции префиксного действия к фреймовой сети

Заключение

Итак, с помощью исчисления процессов можно формально описывать функциональные характеристики систем, рассматриваемых в рамках системного графоаналитического подхода «Узел-Функция-Объект», а также организационные знания, моделируемые с помощью данного подхода. При этом сам УФО-подход может рассматриваться как универсальное средство представления знаний об организационно-деловых и производственно-технологических процессах, так как в УФО-модели организационных знаний могут быть объединены традиционные модельные подходы (продукционный, сетевой и фреймовый).

Формализация описания УФО-моделей открывает новые возможности для формализованного описания знаний, их преобразования из одного вида в другой, а также для создания единого универсального механизма вывода. Результатом, имеющим самостоятельное значение, является обоснование возможности интеграции алгебры изображений и алгебры (исчисления) процессов. Представленные результаты позволяют утверждать, что с помощью системного графоаналитического подхода «Узел-Функция-Объект» можно хранить и полноценно использовать знания о деятельности организации. В настоящее время ведутся работы по

созданию алгоритмов вывода и их программной реализации.

Авторы благодарят профессора А.Б. Петровского за сделанные замечания.

Литература

1. Гренандер У. Лекции по теории образов. 1. Синтез образов. // Пер с англ. М.: Мир. - 1979. – 384 с.
2. Дубейковский В.И. Практика функционального моделирования с AllFusion Process Modeler 4.1. Где? Зачем? Как? – М.: ДИАЛОГ–МИФИ. - 2004 – 464 с.
3. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект». // НТИ. Сер. 2. - 2005.- №1. - С. 1-8.
4. Маторин С.И., Зимовец О.А., Жихарев А.Г. О развитии технологии графоаналитического моделирования бизнеса с использованием системного подхода «Узел-Функция-Объект». // НТИ. Сер. 2. – 2007. - №11. - С. 10-17.
5. Маторин С.И., Зимовец О.А., Трубицин С.Н. Визуальные графоаналитические модели для представления о сервисном обслуживании телерадиосети // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2008. – №3. – С. 52-63.
6. Маторин С.И., Трубицин С.Н., Зимовец О.А., Жихарев А.Г. Системно-объектное моделирование сервисной службы телевизионной и радиовещательной сети // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2009.- №3. – С. 75-87.
7. Маторин С.И., Ельчанинов Д.Б., Зиньков С.В., Маторин В.С. Синтез и анализ систем в свете подхода «Узел-Функция-Объект». // НТИ. Сер. 2. – 2006. - №8. - С. 10-16.

8. Минский М. Фреймы для представления знаний. М.: Мир. - 1979. - 152 с.
9. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М.: Радио и связь. - 1990. - 376 с.
10. Abadi Martin and Luca Cardelli. A Theory of Objects. Springer-Verlag. - 1996.
11. Milner R., Parrow J., Walker D.A. Calculus of Mobile Processes - Part I. LFCS Report 89-85. University of Edinburgh. 1989. – 46 p.
12. William A. What's in a link: foundations for semantic networks // In: D.G. Bobrow and A. Collins, eds. Representation and Understanding, Academic Press, New York. – 1975. pp. 35-82.

Жихарев Александр Геннадиевич. Аспирант Белгородского государственного университета. Окончил Белгородский государственный университет в 2010 г. Автор 20 печатных работ. Область научных интересов: системный анализ, семантика, управление знаниями, CASE-технология. E-mail: zhikharev@bsu.edu.ru.

Маторин Сергей Игоревич. Профессор кафедры прикладной информатики Белгородского государственного университета. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники в 1977 г. Доктор технических наук. Автор более 150 печатных работ. Область научных интересов: системный подход, системный анализ, семантика, когнитология, управление знаниями, CASE-технология. E-mail: matorin@bsu.edu.ru.