

КОМПЛЕКСНАЯ ОНТОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОРСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Бухановский, Ю.И. Нечаев

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург
avb_mail@mail.ru nechaevl@ifmo.mail.ru*

Аннотация

Обсуждаются вопросы комплексной онтологии в динамической структуре интеллектуальной системы исследовательского проектирования морских судов и технических средств освоения океана. Концептуальная модель обеспечивает построение онтологии мореходных качеств в сложных динамических средах, обусловленных нелинейным взаимодействием исследуемых объектов с ветроволновыми возмущениями. Онтология предметной области основана на построении и анализе семантической модели. Объекты в этой модели систематизированы по функциональному признаку их свойств, которые являются частью иерархии классов. Связи определяют структуру системы, а элементы – функцию узлов в этой структуре. Формальная модель и иерархическая структура онтологии рассмотрены в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде. Приведен фрагмент семантической сети, определяющей физические эффекты и тенденции исследуемой предметной области. Функциональные элементы базы знаний реализуют динамическую структуру «Поля знаний» и «Пирамиды знаний» при анализе экстремальных ситуаций, возникающих в практике эксплуатации морских динамических объектов. Особое внимание обращается на формализацию предметной области при решении проблемы мореходности в условиях неопределенности и неполноты исходной информации.

Ключевые слова: *онтологии, динамический объект, мореходность, исследовательское проектирование, динамика взаимодействия.*

Введение

Рассмотрим принципиальные аспекты построения сложной структуры знаний в системе интеллектуальной поддержки проектных решений с использованием комплексной онтологии, как формальной теории интерпретации знаний. Общие вопросы системного анализа структуры знаний обсуждались в [1, 2]. Поэтому практический интерес представляет конкретизация этого подхода на базе комплексной онтологии в рамках объектно-ориентированного моделирования.

Комплексная онтология исследовательского проектирования, как сложная система знаний, интегрирующая анализ и интерпретацию разнородной информации, предполагает разработку алгоритмического и программного обеспечения средств представления онтологических знаний и работы с такими знаниями. Одно из основных направлений создания системы онтологий определяется формулировкой и обоснованием онтологии организации (*organization ontology*), онтологии проекта (*project ontology*) и онтологии направления исследований (*research-topic ontology*) в рамках общих моделей исследовательского проектирования. Реализация этих направлений связана с решением задач представления, поиска и обработки информации с помощью онтологических знаний.

В качестве модели онтологии выбрана одна из наиболее важных предметных областей общей системы исследовательского проектирования – «Динамика судна на волнении». Ие-

иерархическая модель такой системы на базе комплексной онтологии позволяет формализовать проектные задачи динамики судна на различных уровнях абстрагирования: детальности отражения элементов, свойств, характеристик. Такая структура может быть реализована с различной степенью подробности в зависимости от особенностей задач, рассматриваемых на этапе исследовательского проектирования [3].

Создание формальной системы, описывающей поведение управляемого объекта в сложной динамической среде, осуществляется на основе *концептуальной модели* существенных свойств исследуемой проблемной области, определяющей построение динамической базы знаний интеллектуальной системы (ИС) [4] и обеспечивающей возможность формального и строгого определения понятий и закономерностей естественной классификации [5].

1 Концептуальная модель онтологии

Концептуальная модель знаний о методах и моделях исследовательского проектирования реализуется на базе комплексной онтологии с обоснованной структурой и содержанием. Система, описывающая динамическую базу знаний при функционировании ИС в режиме реального времени, содержит элементы, обеспечивающие модификацию онтологии на основе расширения стандартных процедур комплексной онтологии и метаонтологии (рисунок 1).

Онтология основана на построении и анализе *семантической модели*. Объекты в этой модели систематизированы по функциональному признаку их свойств, являющихся частью иерархии классов. *Связи* определяют структуру системы, а *элементы* – функцию узлов в этой структуре. Корневая качественная структура может быть развернута до более конкретных классов путем разделения на каждом уровне свойств в соответствии с делением класса.

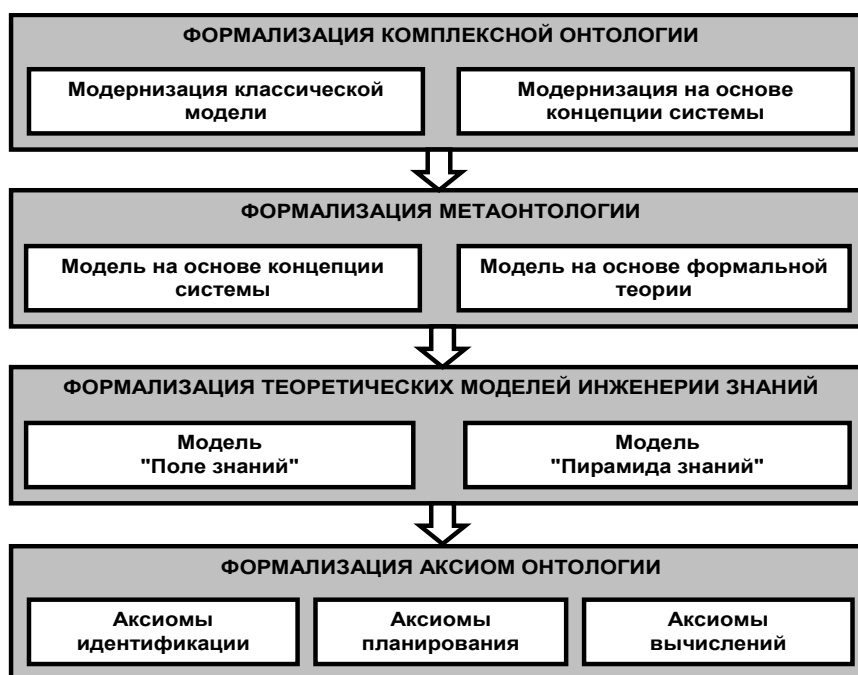


Рисунок 1 - Формальная модель комплексной онтологии

Рассмотренная классификация может быть уточнена (переименована, расширена, дополнена производными классами) в зависимости от решаемой задачи обработки информации и изменения знаний о проектируемом динамическом объекте (ДО) [3, 4, 6-8]. Например, класс ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА в классификации свойств может быть уточнен путем

выделения, свойств СТРУКТУРА ПО УПРАВЛЕНИЮ и СТРУКТУРА ПО ДАННЫМ. Это повлечет за собой выделения в классификации компонент внутри класса ИНФОРМАЦИОННАЯ СВЯЗЬ подклассов связей ПЕРЕДАЧА КОМАНД и ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ, которым могут быть присвоены соответствующие обозначения.

Таким образом, *системный подход* [9] позволяет использовать при решении каждой конкретной задачи обработки информации свой набор средств моделирования: элементов и связей, одинаково интерпретируемых оператором и компьютером. При этом можно разнообразить экземпляры классов информационных связей и элементов, сохранив соответствующие компоненты в виде абстрактных классов.

Системный подход при интерпретации результатов исследовательского проектирования и формализованная база знаний на основе комплексной онтологии позволяют представить дерево состояний сложной системы (рисунок 2).

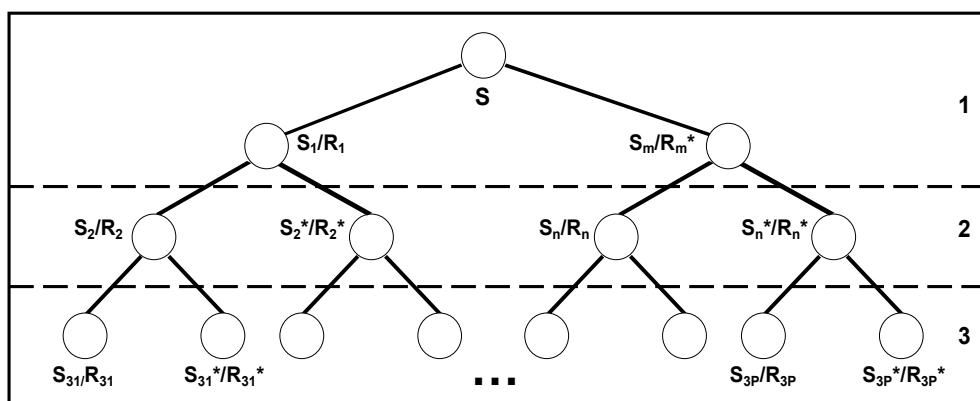


Рисунок 2 - Дерево состояний сложной системы: S – компоненты системы; R – результат; 1 – система; 2 – подсистема; 3 – элемент

На этом рисунке в компактной форме представлено дерево состояний сложной системы, отображающее структуру системы интеллектуальной поддержки конструктора при интерпретации результатов исследований проектных задач. Здесь выделены компоненты системы, обеспечивающие решение задачи выявления особенностей текущей ситуации и ее аналитическую и геометрическую (визуальную) интерпретацию с оценкой полученного результата. Система интегрирует достижения ИИ, методов классической математики, нечеткой логики, теории нейронных сетей и генетического алгоритма в целях решения трудно формализуемых задач принятия решений в сложной динамической среде.

В рамках такой интерпретации сохраняется принцип, в соответствии с которым свойства элементов и связей определяются иерархией классов, учитывающей эти свойства. Это обеспечивает возможность системной декомпозиции задачи создания вычислительного комплекса интеллектуальной поддержки конструктора при интерпретации сложных динамических ситуаций. Таким образом, при формализации задачи построения динамической базы знаний онтологии улучшают интерпретируемые характеристики системы и упрощают ее использование для анализа и моделирования проектных решений, особенно в нештатных и экстремальных ситуациях.

Для обеспечения поддержания функциональности системы интеллектуальной поддержки оператора используется закон *системной декомпозиции* [9]: элементы на *i*-м ярусе системы находятся в отношении поддержания функциональной способности *i+1*-го яруса системы (системы должны поддерживать подсистему, подсистемы – систему и т.д.). Соблюдение данного закона обеспечивается путем выполнения следующих правил системной декомпозиции:

- правильным присоединением элементов друг к другу в соответствии с качественными и количественными характеристиками связей (правило присоединения);
- обеспечением качественного и количественного баланса входящих и выходящих функциональных связей (правило баланса);
- замкнутостью поддерживающих связей (правило замкнутости).

Сформулированная таким образом система может быть применена на этапе обоснования принципов построения и функционирования вычислительного комплекса и поддерживающего его программного инструментального средства моделирования и анализа сложных ситуаций. Используемая модель онтологии описывает *компьютерную интерпретацию* (построение моделей для формальных систем) предметной области, связанной с формализацией задачи контроля режима функционирования ИС и моделирования возникающих в практике эксплуатации нештатных и экстремальных ситуаций.

2 Модель онтологии предметной области

Разработка и формализация комплексной онтологии при создании бортовых ИС, функционирующих на основе методов исследовательского проектирования, состоит в формальном представлении на базе концептуализации знания модели предметной области, предполагающей описание множества объектов и понятий, знаний о них и связей между ними.

Определение 1. *Предметная область (PRA)* – это часть действительности, подлежащая отражению на основе интеллектуальных технологий с целью получения новой информации о ее свойствах. Таким образом, PRA при формализации знаний в ИС интерпретируется как часть реального мира, имеющая определенную семантическую локализацию – пространственную, временную, функциональную и др. Рассматривая *семантическое пространство* исследуемой проблемной области, включающей множество предметных областей в ИС исследовательского проектирования, необходимо предварительно осуществить ее семантическую локализацию.

Определение 2. *Семантическая локализация* в ИС связана с определением границ раздела между PRA в охватывающем их семантическом пространстве проблемной области. На этапе формализации знаний входящие в проблемную область компоненты можно рассматривать как множество присущих им семантических свойств [10]:

$$(1) \quad \begin{aligned} M_{PRA-1} &= \{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1m}\}, \dots, \\ M_{PRA-N} &= \{S_{N1}, S_{N2}, \dots, S_{Nm}\}. \end{aligned}$$

При этом имеет место пересечение множеств семантических свойств различных PRA

$$(2) \quad M_{PRA-1} \dots \cap M_{PRA-N} \neq \{0\},$$

что позволяет записать *критерий локализации PRA* в семантическом пространстве

$$(3) \quad M_{PRA-1} \dots \cap M_{PRA-N} = \{0\}.$$

Необходимым критерием существования PRA является *различимость* ее свойств в представленной семантической локализации. Для множества свойств S данной модели исследуемой предметной области PRA следует ее однозначная идентификация

$$(4) \quad \forall s, s \in S \Rightarrow M_{PRA}$$

При этом считается, что свойства остаются тождественными себе на время, достаточное для построения модели PRA и ее использования в формализованной системе знаний ИС, что особенно перспективно при реализации *аспектно-ориентированной* технологии моделирования и программирования.

Важное значение при моделировании PRA на стадии разработки ИС имеют *функциональная полнота* и *логическая целостность*. Модель PRA необходима для решения определенного класса задач методами исследовательского проектирования и их геометрической и

аналитической интерпретации. Поэтому она должна включать только необходимые и достаточные для этого свойства. Таким образом, *функциональная полнота* модели PRA подразумевает не максимально полное отражение свойств объектов, а фиксацию лишь тех свойств, которые являются необходимыми и достаточными для решения поставленных задач исследовательского проектирования.

Критерий функциональной полноты модели PRA зависит от класса решаемых задач и в свою очередь требует определения критерия глубины детализации PRA. Именно формальная постановка задач, решаемых в заданной PRA, позволяет выделить особенности текущей ситуации, моделирование которых является необходимым и достаточным для рационального выбора проектных решений.

Для иллюстрации на рисунке 3 представлена онтология предметной области «Динамика судна на волнении», исследуемая в настоящей статье в качестве приложения разработанной концепции ИС исследовательского проектирования. Формальная модель онтологии построена с использованием базовых понятий (концептов) и связей между ними в виде соотношений и взаимодействий базовых понятий.

Следующим этапом структуризации знаний исследуемой предметной области рассматривается онтология физических эффектов и тенденций.



Рисунок 3 - Модель онтологии предметной области исследовательского проектирования

Модель этой онтологии содержится на рисунке 4 и значительно расширяет возможности онтологии мореходности судов за счет включения знаний о ходкости и управляемости морского ДО, а также данных экспериментальных исследований, представляющих большой интерес при построении и оценке адекватности математических моделей взаимодействия морского ДО с внешней средой. Широкий спектр задач, определяющих представленную онтологию, позволяет более глубоко представить картину взаимодействия и вскрыть новые физические эффекты и закономерности, не известные ранее при проведении модельного и натурного физического эксперимента.

Анализ выполненных исследований в области практических приложений методов ИИ показывает, что комплексная онтология, определяющая использование множества методов (присоединенных процедур) при разработке ИС поддержки принятия решений по контролю объекта управления в сложной динамической среде, может быть основана на различных формализациях.



Рисунок 4 - Онтология физических эффектов и тенденций исследуемой предметной области

3 Формализация онтологии предметной области

Концептуальные основы формализации онтологии различных предметных областей знаний рассматривались многими авторами [1, 2, 7, 11-16]. Наибольший интерес представляет работа [11]. В рамках этого подхода осуществляется выделение классов терминов, отношений и преобразований, соответствующих физическим и абстрактным сущностям для решения задач предметной области. Представление предметной области служит сигнатурой для создания модели предметных знаний.

Онтологию предметной области PRA обозначают $S(\text{Subject})$ определяют в следующем виде [15]:

$$(5) \quad \text{Ont}(PRA)_S = \langle T(S), R(S), Ax(S) \rangle,$$

где $T(S)$ (Terms) – конечное множество классов терминов (понятий) предметной области S , обладающих качественными признаками, которые составляют их отличительную особен-

ность в онтологии; R(S) (Relations) – конечное множество отношений между классами терминов; Ax(A) (Axiomas) – конечное множество аксиом (функций интерпретации), заданных на классах и отношениях онтологии.

Предлагаемый в работе [11] подход формирования онтологии использует принципы объектно-ориентированного анализа и состоит в поэтапной, нисходящей детализации корпусов NFL–континуума с последующим выделением конструкций типа объект (корпуса NFL–континуума) – атрибуты и взаимодействия между объектами. В случае, если в качестве NFL–континуума имеются текстовые источники информации, то «корпус NFL–континуума» есть не что иное, как предложение текста. Устойчивые именные группы (например, в текстах ими могут быть имена существительные), в NFL–континууме помогают описать множество объектов, которые объединяются в классы терминов, образуя фактор-множество. Для поддержки разработчика используется словарь, в котором накоплены классы слов, близких друг к другу путем сбора статистики из большого числа источников. Избежание проблем лингвистического характера достигается тем, что для каждого объекта в заданной ситуации вводится некоторое прямое имя, которое отличает его от всякого рода непрямых – классификаторов и функциональных имен. Подобного рода проблемы носят имманентный характер, поскольку онтология может рассматриваться как языково-зависимая концептуальная модель [15].

Для удобства формализации информации предметной области PRA используется матрица K(ONT) (Knowledge-Ontology), в которой столбцы представляют собой группы «объект» и «факты», а строки – соответствующие записи, в которые помещаются названия объектов и перечисляются относящиеся к ним факты. Общая характеристика групп и множеств, используемых в матрице K(ONT), дается в табл.1.1, где использованы следующие обозначения:

1 – группа «объект» (Object), в которой $i=1,2,\dots,n$; n – число идентифицированных объектов, а множество $T(S_{i,k})$ вырождается в классы терминов;

2 – группа атрибутов (Attributes), где $j=1,2,\dots,m$; m – число атрибутов соответствующего объекта;

3 – группа, определяющая вариации поведения (Behavior), добавляемая для каждого объекта, где $j=1,2,\dots,p$; p – число вариаций поведения соответствующего объекта.

4 – группа взаимодействия, определяющая субъект и объект предложения, над которым субъект совершает действие путем пересылки сообщения в следующем виде:

Объект-инициатор → *посылает сообщение* → *объект-приемник*.

Таблица 1 - Группы и множества в матрице K(ONT)

Группы	Представление множеств
1	$T(S_{i,k}) = \{t_{1,1}, \dots, t_{i,1}, \dots, t_{n,1}\}$
2	$A(S_{i,2}) = \{a_{1,2}, \dots, a_{j,2}, \dots, a_{m,2}\},$
3	$B(S_{i,3}) = \{b_{1,3}, \dots, b_{j,3}, \dots, b_{p,3}\},$
4	$C(S_{i,4}) = \{c_{1,4}, \dots, c_{j,4}, \dots, c_{s,4}\}.$

В результате представленной формализации факты, ранее соотнесенные с объектами, трансформируются в три новые группы, и исходная матрица K(ONT) принимает вид:

$$(6) \quad K(ОНТ) = \begin{pmatrix} T_{1,1} & A_{1,2} & B_{1,3} & C_{1,4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{i,1} & A_{i,2} & B_{i,3} & C_{i,4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{n,1} & A_{n,2} & B_{n,3} & C_{n,4} \end{pmatrix},$$

где столбцы представлены множествами, определяющими классы понятий $T(S)$ – *атрибуты* $A(S)$ – *вариации поведения* $B(S)$ – *взаимодействия* $C(S)$.

В строках матрицы $K(ОНТ)$ размещаются экземпляры классов (выделенные ранее объекты и элементы групп), отражающие семантику фактов в виде множеств аксиом (функций интерпретации) – $A(XS)$, заданных на объектах и определяющих взаимодействия между ними. Пара *объект – атрибуты* образует конечное множество классов – $T(S)$, а группы *вариации поведения – взаимодействия* составляют конечное множество отношений – $R(S)$. Естественным ограничением, накладываемым на множества $T(S)$, $R(S)$ и $A(XS)$ является их конечность и непустота. В случае, если $R(S)$ и $A(XS)$ – пустые множества, онтология $Ont(S)$ трансформируется в простой словарь.

Таким образом, подход [11] исключает пустоту множеств $R(S)$ и $A(XS)$, что дает возможность вводить иерархическую систему понятий, связанных между собой различного рода отношениями. Понятия организованы в иерархии, связи внутри которых структурированы так, чтобы осуществлять логический вывод на основе перехода от общего к частному и обратно.

Одна из особенностей сложных динамических систем – разнообразие знаний, используемых при их создании и использовании. Поэтому для разработки интеллектуальных технологий, поддерживающих интеграцию компонент динамической модели знаний ИС, необходимо создание базового формального аппарата представления и интеграции знаний [4, 8, 17].

4 Модели «Поле знаний» и «Пирамида знаний» в сложной динамической среде

Теоретические аспекты «Инженерии знаний» при интерпретации поведения морского ДО, определяющие основу для формирования динамических моделей «Поле знаний» и «Пирамида знаний», также требуют уточнения и должны быть ориентированы на стратегии представления и интерпретации информации в сложных динамических средах, а не только на стадию *структуризации* знаний на начальных этапах разработки системы. Рассмотрим более подробно эти вопросы на примерах реализации комплексной онтологии при построении моделей «Поля знаний» и «Пирамиды знаний».

Модель «Поле знаний». Эта модель представляет собой неформальное описание основных понятий и взаимосвязей между ними, выявленных из системы знаний исследуемой предметной области. Формирование «Поля знаний» осуществляется на стадии структурирования и является первым шагом на пути формализации знаний. Однако при реализации методов исследовательского проектирования и теории корабля в непрерывно изменяющейся среде модель «Поле знаний» следует рассматривать как динамическую структуру (рисунок 5).

При этом расширяется ее функциональность и приобретает новый физический смысл. В «Инженерии знаний» о динамике сложных процессов взаимодействия объекта управления с внешней средой приходится оперировать с мягкими вычислениями, где выразительности классической математики оказывается недостаточно, и важное значение имеет эффективность нотации – компактность, полнота, наглядность [1, 2, 12].

Одно из перспективных направлений реализации современных тенденций при построении модели «Поле знаний» связано с понятием *онтологического инжиниринга* как одного из подходов к семиотическому моделированию предметной области [18-20].

Семиотическая модель «Поля знаний» исследуемой предметной области включает следующие компоненты:

- (9) $PZ = \langle SIN, SEM, PR \rangle$,
 где SIN – синтаксис; SEM – семантика; PR – прагматика.

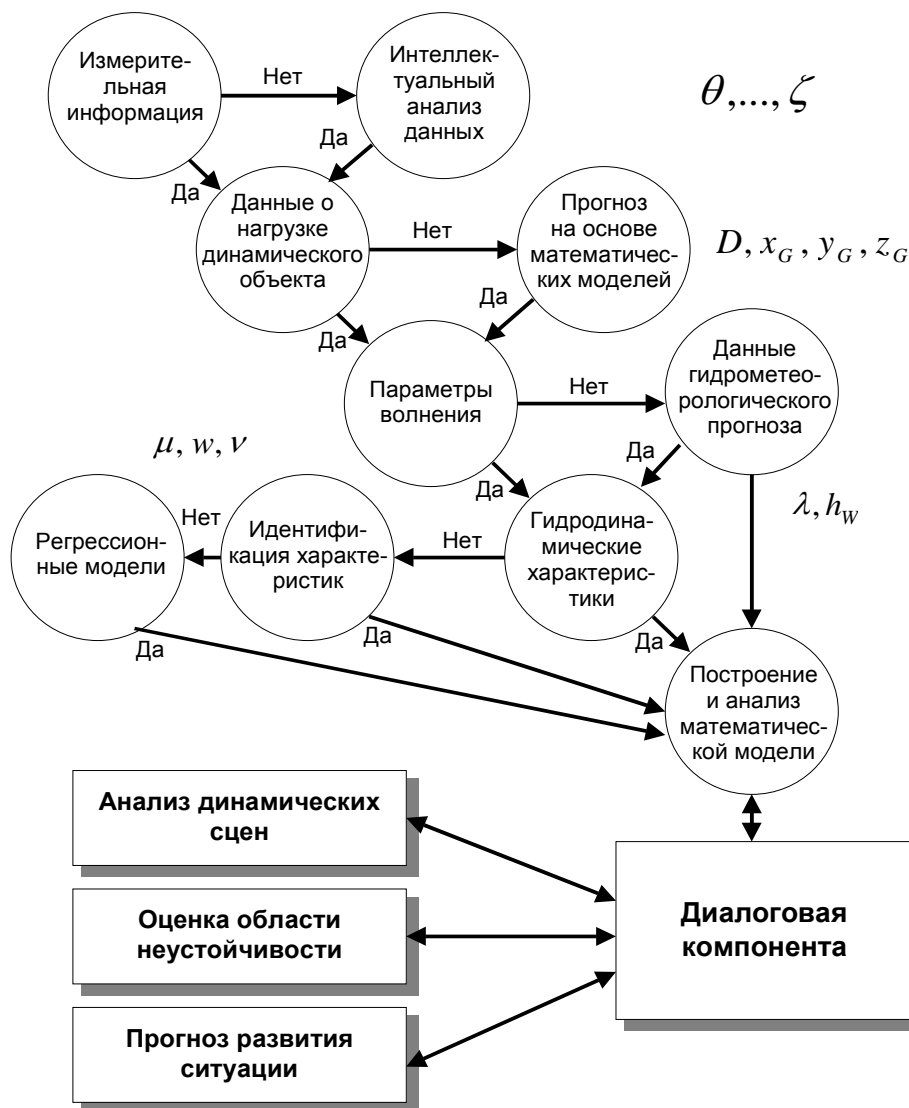


Рисунок 5 - «Поле знаний» как динамическая структура

Операционная модель предметной области в рамках семантической структуры представляется как совокупность структур:

- (10) $M = \langle SK, SF \rangle$,

где SK – концептуальная структура; SF – функциональная структура.

Семиотическое моделирование имеет важное значение при разработке динамической базы знаний ИС, особенно систем, функционирующих в динамически нестационарной среде. Совершенствование модели «Поле знаний» осуществляется на основе методов прикладной семиотики в рамках подхода ситуационного управления. Формулировка и развитие этого подхода связаны с именем Д.А.Поспелова и основаны на взаимном проникновении идей и методов прикладной математики и ИИ.

Семиотическая система формально задается кортежем [20]:

$$(11) \quad S = \langle B, F, A, R, Q(B), Q(F), Q(A), Q(R) \rangle,$$

где первые четыре компоненты представляют собой кортеж, определенный формальной системой

$$(12) \quad S = \langle B, F, A, R \rangle,$$

а остальные – правила изменения этих компонент под влиянием накопленной в базе знаний информации о функционировании сущностей в данной предметной области.

Здесь B – алфавит теории S (множество базовых символов); F – формула теории (множество выражений – конечных последовательностей базовых символов теории S); A – аксиомы теории S (выделенное множество априорно истинных формул); R – правила вывода (конечное множество отношений r_1, \dots, r_n между формулами). Формальная теория считается разрешимой, если существует единая эффективная процедура, позволяющая выяснить для любой формулы существование вывода в теории. Формальная система считается непротиворечивой, если не имеется формулы A , такой, что A и $\neg A$ выводимы в S .

Реализация подхода к формализации «Поля знаний» на основе семиотического моделирования открывает новые возможности использования комплексной онтологии при формализации знаний физических систем, функционирующих в сложной динамической среде. Эти возможности особенно ярко проявляются при разработке алгоритмов принятия решений по интерпретации эволюции сложных систем [3, 4, 8].

Модель «Пирамида знаний». Развивая традиционную модель «Пирамида знаний» при рассмотрении стратегии принятия решений как функциональной структуры в ИС исследовательского проектирования, рассмотрим особенности такого представления на основе следующей интерпретации:

$$(13) \quad \Phi: PKN \Rightarrow PKN^*,$$

где $PKN = (A, R, S)$; $PKN^* = (A^*, R^*, S^*)$; A^* – мета-понятия более высокого уровня абстракции; R^* – мета-отношения; S^* – мета-стратегии.

В «Пирамиде знаний» каждый следующий уровень определяет восхождение на новую ступень обобщения и углубления знаний. Восходя по ступеням «Пирамиды знаний», мы получаем систему гомоморфизмов, свидетельствующую об уменьшении размерности семантического пространства. Примером реализации «Пирамиды знаний» служит интерпретация процедурной компоненты базы знаний ИС. При восходящем движении рассматриваются стохастические, детерминированные и линейные модели, а завершающей ступенью является критериальный базис физических моделей в виде соответствующих неравенств, полученных при анализе результатов моделирования динамических ситуаций. Более сложные модели на основе концепции «Пирамиды знаний» формализуются на основе гипотез и упрощающих предположений.

Реализация механизмов преобразования информации в моделях «Пирамиды знаний» осуществляется в зависимости от сложности текущей ситуации и определяется разными функциональными структурами. Одним из примеров такой структуры является поток информации при генерации решений и анализе альтернатив при выборе предпочтительного варианта в системе интеллектуальной поддержки конструктора. Следует отметить, что многие физические процессы в сложных динамических средах могут быть интерпретируемы только в рамках синергетической парадигмы (фаза расширения – сжатия) и движения по каскаду бифуркаций.

Заключение

Используемая для реконструкции знаний ИС исследовательского проектирования в сложной динамической среде комплексная онтология определяется как семантически-ориентированная информационная среда высокого концептуального обобщения, обеспечивающая возможность интеграции знаний при формализации текущей информации.

Основой интеллектуализации компьютерных технологий, реализующих методы исследовательского проектирования, является погружение знаний в исследуемой предметной области в высокопроизводительную вычислительную среду. Одна из особенностей сложных динамических систем – разнообразие знаний при их создании и использовании. Поэтому для разработки интеллектуальных технологий, поддерживающих интеграцию геометрической и аналитической компонент исследовательского проектирования морского ДО, необходимо создание базового формального аппарата представления и интеграции знаний [4, 17].

Благодарности

Работа выполнена в рамках проектов "Интеллектуальные технологии поддержки процессов исследовательского проектирования судов и технических средств освоения океана" (государственный контракт № П295 от 30 апреля 2010 г.) и «Высокопроизводительный программный комплекс моделирования динамики корабля в экстремальных условиях эксплуатации» (государственный контракт П976 от 27 мая 2010), реализуемых при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Список литературы

- [1] Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – Санкт-Петербург. Питер, 2000.
- [2] Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge base // Principles of knowledge representation on Conference. Morgan Kaufman. 1991, p.p.601 – 602.
- [3] Худяков Л.Ю. Исследовательское проектирование кораблей. – Л.: Судостроение, 1980.
- [4] Бортовые интеллектуальные системы. Часть 2. Корабельные системы. – М.: Радиотехника, 2006.
- [5] Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. – М.: Сов. радио.1978.
- [6] Александров В.Л., Матлах А.П., Нечаев Ю.И., Поляков В.И., Ростовцев Д.М. Интеллектуальные системы в морских исследованиях и технологиях. – Санкт-Петербург. ГМТУ. 2001.
- [7] Бондаренко М.Ф., Маторин С.И., Соловьева Е.А. Особенности теории и практики решения сложных проблем на основе онтологии // Искусственный интеллект. №3. 2000, с.25-33.
- [8] Нечаев Ю.И., Горбачев Ю.Е. Реализация сложных интеллектуальных комплексов на базе современных суперкомпьютерах // Тр. Международной конференции «Интеллектуальные многопроцессорные системы». Таганрог. 1999, с.78-85.
- [9] Месарович М., Такаха Я. Общая теория систем: математические основы. – М.: Мир, 1978.
- [10] Востров Г.Н., Межуев В.И. Проблемы построения информационных систем над предметными областями // Искусственный интеллект. №4. 2008. с.736 – 746.

- [11] Якимов В.И., Дьяконов Г.Н., Машков А.В. Формирование онтологии предметной области на основе анализа NFL-континуума // Информационные технологии. №3. 2006, с.36 – 39.
- [12] Fernandes M., Gomez-Perez A. Juristo N. METHODOLOGY: From ontological Art toward ontological engineering // Spring Symposium Series on Ontological engineering AAAI-97. Stanford. USA, 1997.
- [13] Fridman N. Hafner, Ontology design: A survey and comparative review // AI Magazine. No 18(3).1997, p.53–74.
- [14] Grudinger M., Fox M. Methodology for the design and evaluation of ontologies // Proceedings of IJ CAL-95 Workshop on the Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, 1995.
- [15] Guarino N. Ontologies: what are they, and wheres the research? // A panel held at KR-96. The Fifth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. 1996. Cambridge. Massachuset. <http://www-ksl.stanford.edu/KR96>.
- [16] Uschold M., Gruninger M. ONTOLOGIES: Principles, methods and applications // Knowledge Engineering Review. Vol.11. No 2, 1996.
- [17] Нечаев Ю.И. Искусственный интеллект: концепции и приложения. – Санкт-Петербург. ГМТУ, 2002.
- [18] Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. – М.: Наука, 1979.
- [19] Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986.
- [20] Поспелов Д.А., Эрлих А.И. Прикладная семиотика – новый подход к построению систем управления и моделирования // Динамические интеллектуальные системы в управлении и моделировании. М.: ЦРДЗ. 1996, с.30-33.
- [21] Силич В.А., Силич М.П. Метод объектного моделирования для проектирования сложных систем // Автоматизация и современные технологии. №4. 2003, с.14-21.

Сведения об авторах



Бухановский Александр Валерьевич, доктор технических наук, профессор, директор НИИ наукоемких компьютерных технологий Санкт-Петербургского государственного университета (национальный исследовательский университет) информационных технологий, механики и оптики.

Boukhanovsky Alexandr Valerievich, D. Sc., professor, director of scientific research institute of the high computer technology of the St.-Petersburg State University (National Research University) Information Technologies, Mechanics And Optics.



Нечаев Юрий Иванович, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ наукоемких компьютерных технологий Санкт-Петербургского государственного университета (национальный исследовательский университет) информационных технологий, механики и оптики, Международный эксперт в области высокопроизводительных вычислений и интеллектуальных систем.

Nechaev Yury Ivanovich, Academician of RANS, Russian Federation Science Honoured Figure, the main scientific employee of scientific research Institute of the high technology computer technologies of the St.-Petersburg state university (national research university) information technologies, mechanics and optics. International expert in the field of high-performance computing and intelligence systems.