

УДК 627.01

## МЕТАОНТОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОРСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Бухановский<sup>1</sup>, Ю.И. Нечаев<sup>2</sup>

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

<sup>1</sup>avb\_mail@mail.ru

<sup>2</sup>nechaevl@mail.ifmo.ru

### Аннотация

Обсуждаются вопросы модификации онтологии и метаонтологии в динамической структуре интеллектуальной системы исследовательского проектирования морских судов и технических средств освоения океана. Информационная модель обеспечивает построение онтологии мореходных качеств в сложных динамических средах, обусловленных нелинейным взаимодействием исследуемых объектов с ветроволновыми возмущениями. Структура волнового поля задана в виде климатических спектров морского волнения. Взаимосвязь между онтологиями информационной модели представляется в виде дерева решений. Формальная модель и иерархическая структура онтологии рассмотрены в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде. Приведен фрагмент семантической сети, определяющей онтологию функциональных элементов базы знаний и реализующей динамическую структуру 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:** метаонтология, динамический объект, мореходность, исследовательское проектирование, динамика взаимодействия.

### Введение

Комплексная онтология исследовательского проектирования морских динамических объектов (ДО), 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. Основные направления создания системы онтологий связаны с 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 [1-13].

Для онтологического моделирования выбрана одна из наиболее важных предметных областей интеллектуальной системы (ИС) исследовательского проектирования морских ДО – «Динамика судна на волнении». 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 [7].

## 1 Формальная модель онтологии

Формальная модель онтологии проблемной области, отображающая интерпретацию геометрической и аналитической компонент в сложной динамической среде, реализуется на основе расширения функциональных возможностей стандартной модели онтологии (рисунок 1) [2]:

$$(1) \quad \text{Ont} = \langle X, R, \Phi \rangle,$$

где  $X$  – конечное множество концептов (понятий, терминов) рассматриваемой предметной области;  $R$  – конечное множество отношений между концептами;  $\Phi$  – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на концептах и/или отношениях онтологии.

При спецификации процессов функционирования онтологии в сложных динамических средах вводится понятие *онтологической системы*, формальная модель которой имеет вид:

$$(2) \quad \text{Ont}[S(t)] = \langle \text{Ont}[\text{META}(t)], \text{Ont}[\text{DT}(t)], \text{Ont}[\text{INF}(t)] \rangle,$$

где  $\text{Ont}[\text{META}(t)]$  – онтология верхнего уровня (метаонтология);  $\text{Ont}[\text{DT}(t)]$  – множество предметных онтологий и онтологий задач предметной области;  $\text{Ont}[\text{INF}(t)]$  – модель механизма логического вывода, ассоциированная с онтологической системой.

*Метаонтология* оперирует общими концептами и отношениями. Концептами на метаярковне являются «объект», «свойство», «значение». Уровень метаонтологии обеспечивает интенциональное описание свойств предметной онтологии и онтологии задач [8-13].

*Предметная онтология* при формальном описании понятий предметной области, связанной с контролем динамики сложного объекта, содержит семантически значимые понятия и множество интерпретаций этих понятий и отношений (декларативных и процедурных), которые специфичны для заданной предметной области.

*Онтология задач* в качестве понятий содержит типы решаемых задач, а отношения этой онтологии обеспечивают декомпозицию задач на подзадачи. Иерархическая модель, объединяющая функциональные модули прикладных программ обработки информации, позволяет описывать интегрированную систему на различных уровнях абстракции.

Используемый в ИС базис понятий и отношений является открытым и может пополняться в зависимости от компонентов, составляющих ИС. Причем, пополнение может происходить за счет интерпретации нестандартных (нештатных и экстремальных) ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации.

Таким образом, модель онтологической системы, определяющей функционирование динамической базы знаний ИС исследовательского проектирования, позволяет описывать онтологии разных уровней. Взаимосвязь между онтологиями этой модели представляется в виде дерева решений. Основой интеллектуализации компьютерных технологий, реализующих методы искусственного интеллекта (ИИ), является погружение знаний исследуемой предметной области в высокопроизводительную вычислительную среду.

## 2 Иерархическая структура онтологии

Пример иерархической структуры онтологии, формализующей динамическую базу знаний при интерпретации сложных ситуаций, иллюстрируется на рисунке 1. Иерархическая структура представляет собой модель в виде узлов и упорядоченных отношений (связей). Узлы выражают базовые понятия (концепты) динамической среды взаимодействия, а связи описывают взаимоотношения между ними. *Структурная связь* между иерархическими уровнями онтологии обеспечивается через традиционные понятия предметной области.

На рисунке 1 обозначено: А – нулевой уровень; В – первый уровень; С – второй уровень;  $C(S) = \langle Ont, Q, F, R \rangle$  – кортеж, определяющий класс подсистемы - онтологию Ont, код Q, функциональную зависимость F и диапазон изменения R соответствующего элемента.

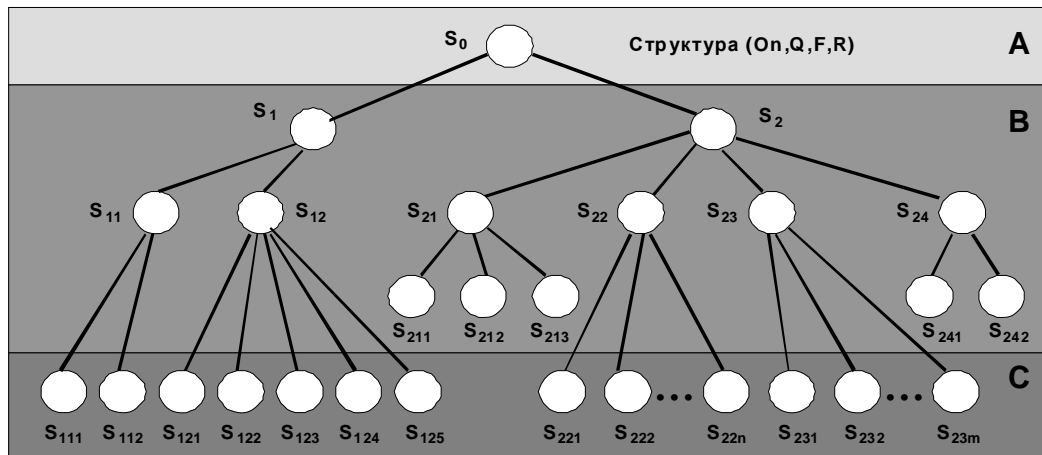


Рисунок 1 - Семантическая сеть, определяющая онтологию функциональных элементов динамической базы знаний ИС исследовательского проектирования

На основе концептуальной модели строится семантическая сеть онтологии. Архитектура семантической сети предполагает наличие у любой информации, находящейся в сети, точный смысл, который нельзя было бы передать в случае совпадения фраз или слов, встречаемых в разных контекстах. Фактически это означает, что любая информация связана с некоторым неотделимым от нее контекстом. Активно используя язык XML для определения собственной структуры документов и язык RDF (Resource Definition Framework), семантическая сеть представляет собой универсальную структуру, позволяющую легко работать с декларативной и процедурной компонентами динамической базы знаний в процессе интерпретации текущей ситуации (поиск, внесение изменений, выделение, преобразование и визуализация информации). Этому способствует использование в вершинах сети соответствующих кодов и стандартных условных обозначений, значительно упрощающих процедуры поиска и обеспечивающих единственность решения.

Вся информация в сети собрана относительно объекта исследования и позволяет выделять содержания, взаимоотношения, внутреннюю структуру и уровни детализации. Наличие организационных признаков – ассоциативности и иерархичности обеспечивает гибкость такого представления, а гармоничное сочетание синтаксического (структурного) и семантического (относящегося к данной предметной области) знания дает возможность легко обновлять это знание в относительно однородной структуре. Построенная на основании онтологии классификация компонент динамической базы знаний, изоморфна классификации свойств системы в виде классификации связей и функциональных элементов. Получаемый таким образом алфавитный набор связей и элементов, однозначно интерпретируется по своим дефинициям (свойствам) и имеет однозначную содержательную характеристику.

### 3 Метаонтологии в динамической структуре ИС

Для анализа связи онтологий со структурой формализованных знаний ИС исследовательского проектирования при решении обобщенной задачи реализации компонент математических моделей могут быть использованы различные интерпретации метаонтологий, среди которых следует выделить подход, изложенный в работе [6]. Основой для такой интерпретации

служит парадигма преобразования информации в мультипроцессорной вычислительной среде, сформулированная в работе [1]. Ниже рассмотрена концепция метаонтологии на основе мультиагентных систем (МАС). Ассоциации агентов образуют МАС (рисунок 2), которая может быть представлена в виде следующего описания [5]:

$$(3) \quad \text{МАС} = \langle N(S), \text{Ag}, E, P(S) \rangle,$$

где  $N(S)$  – наименование системы,  $\text{Ag} \in \text{Ag}(S)$  – набор всех конфигураций агентов МАС;  $E \in E_S$  – совокупность всех жизненных пространств;  $P(S)$  – общесистемные характеристики МАС.

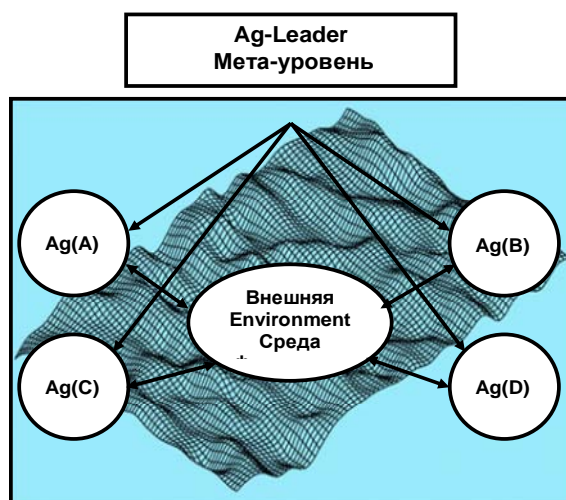


Рис.2. Схема МАС, обеспечивающая контроль текущей ситуации

Архитектурно-структурная организация ИС на основе концепции МАС позволяет обеспечить новые качественные признаки, повышающие эффективность функционирования системы в сложных (особенно в нештатных и экстремальных) ситуациях за счет использования следующих преимуществ: параллелизм обработки информации на основе сообщества агентов; уменьшение объема передаваемой информации (отдельным агентам передаются высокоуровневые частичные решения); гибкость, обеспечивающая возможность использования агентов различной мощности при совместном решении поставленной задачи; повышение надежности системы путем передачи функций между агентами.

Как видно из рисунка 2, функционирование МАС реализуется с помощью четырех агентов и одного агента-лидера мета-уровня. Каждый из агентов выполняет заданные операции по контролю текущей ситуации в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3. Необходимо формализовать процесс контроля текущей ситуации и организовать согласованное функционирование МАС как распределенной компьютерной системы с высоким уровнем ИИ.

Из числа возможных концептуальных метабазисов, соответствующих уровню метаонтологии МАС, можно выделить:

$\text{Ont}[\text{META}(t)]: \quad \text{Ont-A}[\text{WVD}] = \{(\text{WVD}), \text{особенности, отношение, отображение}\};$

$\text{Ont-B}[\text{WVD}] = \{(\text{WVD}), \text{состояние, процесс, время}\},$

где WVD – внешняя среда (ветер, волнение) и динамический объект.

Концептуальный метабазис  $\text{Ont-A}[\text{WVD}]$  называют естественным, так как он непосредственно связан с субъектно-предикатной моделью предложений естественного языка. Поэтому если принимается соответствие «множество есть объект», то справедливо утверждение

$$\forall C \in \text{Ont-A}[\text{WVD}], [c] \text{ is-a } [ob].$$

Это означает, что элементы объема любого понятия  $s \in C(\text{Ont-A}[WVD])$  отнесены в  $s$ -категорию «объект», а обобщение задачи реализации на уровне V-моделей приводит к следующей метадиаграмме (рисунок 4).

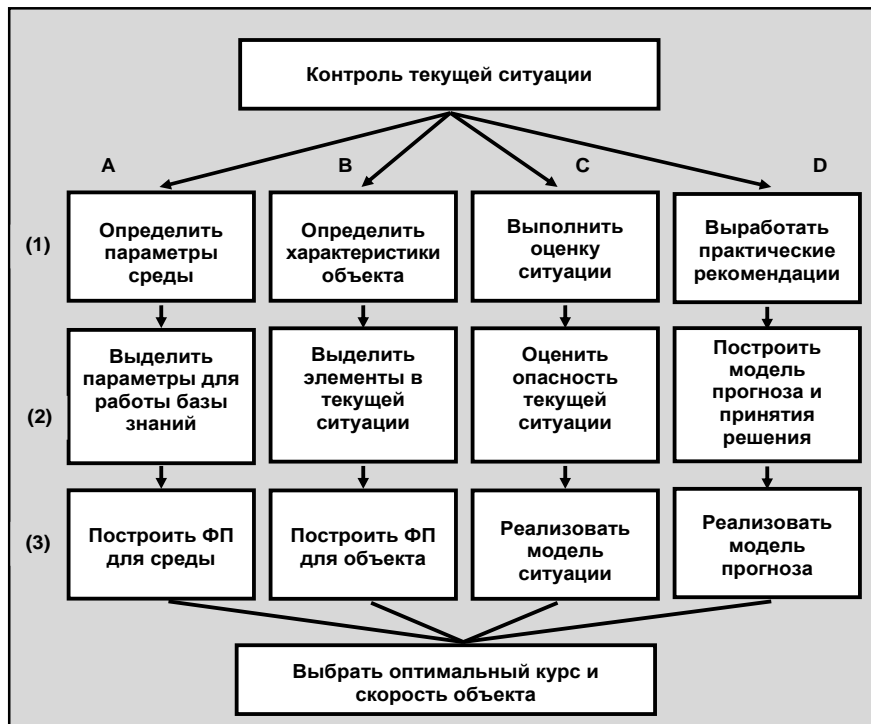


Рисунок 3 - Операции, реализуемые МАС при контроле текущей ситуации

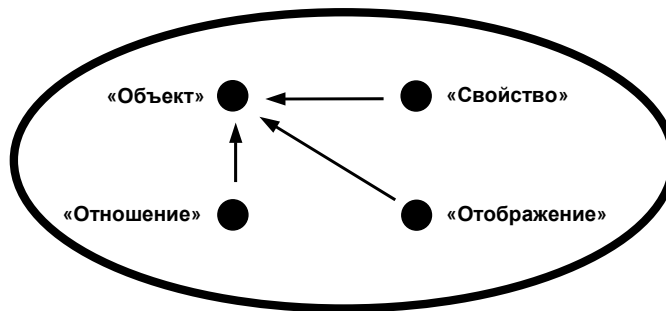


Рисунок 4 - Метадиаграмма, определяющая обобщение задачи реализации стратегии управления при перестройке динамической базы знаний ИС

Математическими модельными структурами  $\text{Ont-A}[WVD]$  являются структурные типы  $g_0 = \langle A \rangle$  – множество,  $g_1 = \langle AR \rangle$  – реляционная система,  $g_2 = \langle AF \rangle$  – алгебра,  $\langle AFR \rangle$  – алгебраическая система. Следовательно, на основании метадиаграммы элементы математических модельных структур такие как множества  $A$ , отношения  $R$  и отображения  $F$  являются объектами. Элементарными объектами являются только элементы множества  $A$ .

Элементы отношений  $R$  и отображений  $F$  имеют представление в элементах множественности  $A$  (элементарные объекты). Таким образом, естественный метабазис  $\text{Ont-A}[WVD]$  задает объектную метаонтологию, язык которой  $L(\text{Ont-A}[WVD])$  обладает логической моделью в форме исчисления предикатов [9].

Концептуальный базис Ont-B[WVD] называют «физическим», содержащим понятия «процесс», «состояние» и «время». Поэтому модульные структуры метабазиса Ont-B[WVD] являются *динамическими* и онтология Ont-B[WVD] представляет собой информационную систему, ориентированную на моделирование процессов для функции управления, включая управление и координацию агентов МАС.

Особенностью математических модельных структур (онтологическая корректность), является представление элементов сигнатуры в элементах множества-носителя. Следовательно, центральным в построении математических динамических структур при реализации методов исследовательского проектирования является вопрос о носителе, которое определяется как пространство состояний, а модель процесса – как динамическая система. Причем переход из Ont-A[WVD] в Ont-B[WVD] приводит к понятию элементарный ДО, задаваемому в следующем виде:  $DSt = ДО = \{\text{объект, состояние, время}\}$ , которое определяет событие с объектом как пару  $DSt(\text{об}) = \{\text{объект, состояние}\}$  [6].

Таким образом, при переходе из Ont-A[WVD] в Ont-B[WVD] множество DSt, элементами которого являются элементарные динамические объекты, принимается в качестве носителя динамических модельных структур. Элементами сигнатуры динамических модельных структур при реализации компонент исследовательского проектирования и теории корабля являются процессы, которые так же, как и элементы сигнатур из онтологии, должны иметь представление в носителе. Следовательно, решению обобщенной задачи реализации соответствует онтологическая модельная система метабазиса Ont-B[WVD] с метадиаграммой, вид которой приведен на рисунке 5.

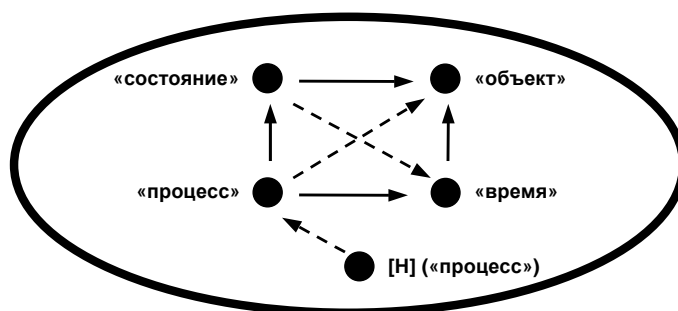


Рисунок 5 - Метадиаграмма как онтологическая модельная система

Пунктирные стрелки метадиаграммы задают представление процессов в носителе DSt и определяют модель процесса как значение символа в пространстве динамических объектов DSt:

$$\text{Int}[1 - (\rightarrow)] = \partial\Sigma^0(DSt); DSt_0 [DSt_1[\rightarrow]]DSt_2,$$

которое является математической моделью динамической системы, построенной в форме расширения алгебраической операции:

*«соответствия на объектах»*  $\rightarrow$  *«соответствие в пространстве состояний»*.

Динамическая система  $\partial\Sigma^0(DSt)$  в пространстве состояний объектов является элементарной модельной структурой системного структурного типа, которая может быть построена на основе алгебраической системы так, что логической моделью языка этого типа будет являться одна из форм логики действий [6].

Примером реализация стратегии перестройки логики функционирования динамической базы знаний с помощью метадиаграмм при разработке динамической базы знаний в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде [1] является генерация сценариев взаимодействия ДО с внешней средой на основе модели типа «сущ-



ность–связь». Основные информационные объекты (сущности) позволяют выделить следующие множества (рисунок 6).

Здесь:  $S$  – множество сценариев (содержит описание сценария и соответствующие корректировки в параметрах модели);  $W$  – множество вариантов (конкретные состояния, описываемые информационной моделью);  $R$  – множество выводов (описания результатов моделирования конкретного сценария по каждому варианту);  $C$  – множество связей (вводятся для объединения в семантическую сеть кортежа  $\{S, W, R\}$ ; эти множества содержат только ссылки на экземпляры множеств  $S, W, R$ ).

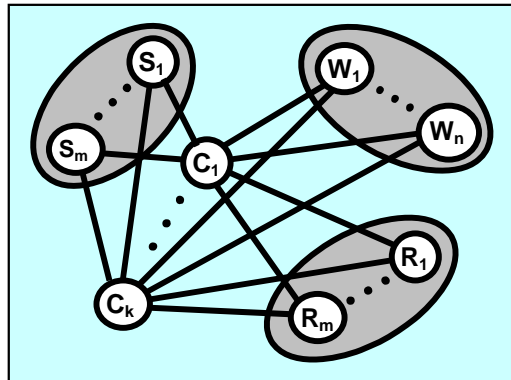


Рисунок 6 - Фрагмент семантической сети, реализующей динамическую структуру знаний при анализе экстремальных ситуаций

По мере наполнения базы знаний  $R$ -объектами строится семантическая сеть. В узлах сети расположены модели представления знаний, реализующие экземпляры множеств  $S, W, R, C$ . Модель каждого типа соответствует одному из множеств  $S, W, R, C$  и включает совокупность экземпляров этого типа:

$$(4) \quad S = \{S_i \mid i=0, \dots, n\}; \quad V = \{W_i \mid i=0, \dots, n\}; \quad R = \{R_i \mid i=0, \dots, n\}; \quad C = \{C_i \mid i=0, \dots, n\}.$$

Преобразование содержательного описания сценария (знания) в параметры модели (данные) осуществляется с использованием следующей структуры операторов:  $\{K, Q, V, H, D, F\}$ , где  $K$  – ключевое слово или фраза, выделяющая класс сценария;  $Q$  – подробное описание сценария;  $V$  – факторы, определяющие сценарий;  $H$  – шаблоны шифров переменных и уравнений (описание сценария в параметрах модели);  $D$  – данные, соответствующие выбранному фактору (следствие исходной посылки);  $F$  – функция зависимости данных от факторов.

#### 4 Модификация онтологии моделей предметной области

При выполнении операций по модификации моделей предметной области необходимо руководствоваться следующей аксиомой: структурный и параметрический синтез моделей предметной области в сложной динамической среде реализуется на базе комплексной онтологии, модификация которой осуществляется с помощью метаонтологии и принципа адаптивного резонанса, позволяющих осуществлять перестройку логики функционирования системы в зависимости от особенностей динамики взаимодействия морского ДО с внешней средой.

Процедуры модификации комплексной онтологии представлены на рисунке 7, на котором выделены три основных направления модификации онтологии при формализации знаний ИС исследовательского проектирования.

Модификация онтологии «Поля знаний» и «Пирамиды знаний». Термин «онтология» используется в современных работах по ИИ как аналог понятию *модели* в заданной предметной области. Он охватывает все необходимые знания, представленные в виде некоторой формальной теории, и интерпретатор (машину вывода), необходимые для решения поставленных задач. Рассматривают несколько типов онтологий [2]: онтологии предметных областей (domain ontology), онтологии классов задач (task ontology), онтологии приложений (application ontology), онтологии верхнего уровня (top-level ontology). Отдельным типом считаются онтологии методов решения проблем. Возможные пути модификации онтологий при формализации «Поля знаний» и «Пирамиды знаний» представлены на рисунке 8.

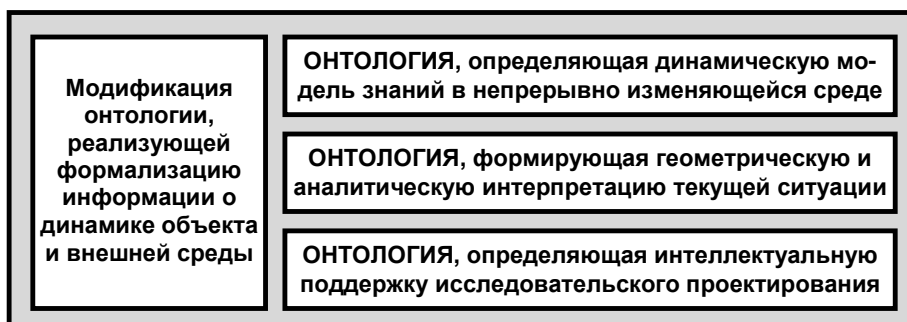
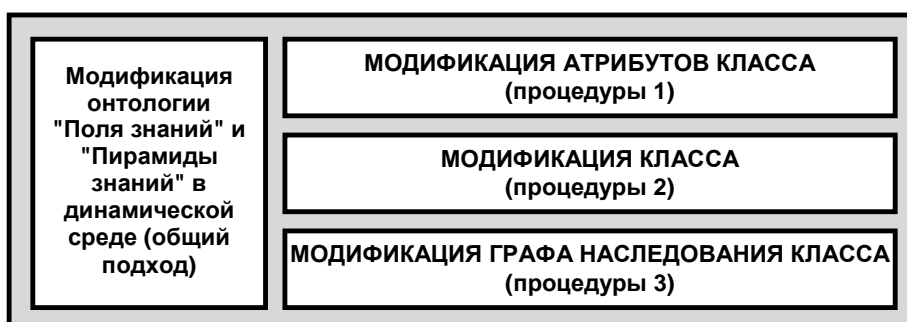
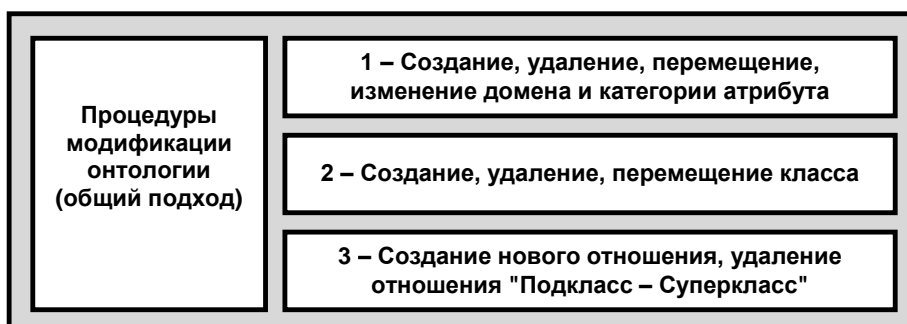


Рисунок 7 - Модификация онтологии при формализации информации предметной области



а)



б)

Рисунок 8 - Пути модификации онтологии «Поля знаний» и «Пирамиды знаний»: а) направления модификации; б) процедуры модификации

Онтология является *логической теорией*. Наряду с описанием структуры и семантики понятий, выраженных концепциями и семантическими связями, онтология может содержать аксиомы, накладывающие некоторые ограничения.



Поэтому структура на рисунке 8 может быть дополнена разделом, связанным с модификацией прикладных аксиом онтологии, включающей добавление и удаление прикладной аксиомы. Для поддержания согласованности онтологии с предметной областью и обеспечения непротиворечивости самой онтологии вводится набор метаправил – инвариантов онтологий. Эти правила формулируются по отношению к языку описания онтологий и позволяют поддерживать их непротиворечивую модификацию [8-13].

## 5 Аксиоматическое представление знаний

Общие понятия предметной области специфичны в каждой прикладной онтологии. Среди них универсальной конструкцией являются отношения. В качестве базиса такой конструкции обычно выделяют такие отношения модели предметной онтологии как *part\_of*, *kind\_of*, *contained\_in*, *member\_of*, *see\_also* и некоторые другие [2, 8, 10]. В качестве примера приведем некоторые формализмы представления знаний и вывод решения в исследуемой онтологической системе. В качестве базиса представления рассмотрим следующие конструкции, используя стандартные обозначения [8] для системы контроля текущих ситуаций [1]. В этой системе *подкласс* ( $C1 :: C2$ ) рассматривается как класс  $C1$ , с помощью которого описывается ситуация «Резонансные режимы качки». Этот класс является подклассом общей структуры  $C2$  «экстремальные ситуации». *Значения атрибутов* в рамках интерпретации  $O[A \rightarrow V]$  означает, что экземпляр  $O$ , определяющий ситуацию «Резонансные режимы качки» имеет атрибут  $A$  (условия возникновения резонансных режимов) со значением  $V$  (частотные соотношения для основного и параметрического резонанса). Конструкция *часть-целое* – ( $O1 <: O2$ ) означает, что ситуация  $O1$ , определяющая режим «захвата» судна попутной волной является частью экстремальной ситуации  $O2$ , получившей наименование «бродинг».

Наибольший интерес для работы со структурами, содержащими большой объем процедурных знаний, представляет подход [4], предусматривающий аксиоматическое представление знаний предметной области. Формализации информации на основе комплексной онтологии предусматривает использование следующих аксиом (рисунок 9).

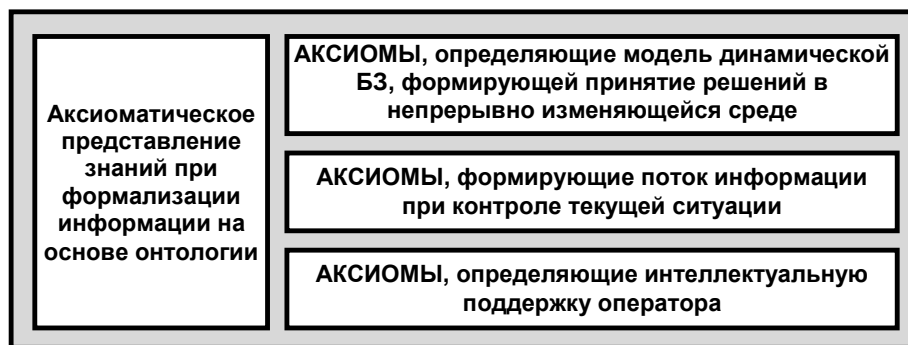


Рисунок 9 - Формализация и аксиоматическое представление процедурных знаний

Реализация указанных аксиом осуществляется совместно с аксиомами идентификации, вычислений, планирования и оптимизации, рассмотренных в работе [4]. Дадим краткую характеристику этих аксиом.

*Аксиомы идентификации.* Назначением аксиом идентификации является описание всех типов переменных и отношений, в которые эти переменные вступают друг с другом. Если объект управления описывается множеством параметров  $X = \{X_1, \dots, X_N\}$  (включая все известные и неизвестные, постоянные и переменные, исходные и промежуточные, оценочные и конструктивные), то требуется находить или уточнять значения части параметров. При этом

каждый из параметров характеризуется определенным интервалом, с помощью которого задаются известные параметры и ограничения в задачах оптимизации.

*Аксиомы планирования.* В основе вычислений лежит свойство интервальной арифметики, позволяющее осуществить сходимость итеративной процедуры вычислений интервальных значений параметров к некоторым локализирующим интервалам, содержащим требуемые решения. Для осуществления итеративной процедуры вводятся аксиомы планирования, задающие правила (порядок и условия корректности) вычислений.

*Аксиомы вычислений.* С помощью аксиом вычислений задаются правила вычисления отношений. Каждое отношение  $r_i = r_i(Y_i)$  связывает некоторое множество параметров  $Y_i$  и используется для вычисления неизвестных значений параметров  $Y_i^{БХ} \subseteq Y_i$ , связанных отношением по известным значениям параметров  $Y_i^{БХ} \subseteq Y_i$ . Аксиомы вычислений включают также *аксиомы оптимизации*. В отличие от аксиом идентификации, вычисления и планирования, эти аксиомы позволяют давать ответы на поставленные прямые и обратные вопросы при решении задач поиска оптимальных решений. Аксиомы оптимизации содержатся в каждом дереве классификации концептов формальной системы и представляются в виде таблиц логических аксиом (*Logical Axioms Table*). Структура таблиц включает имя аксиомы, описание, концепт, ссылочные атрибуты, переменные и определения. Таблицы аксиом содержат определения концептов через логические выражения. Для каждой аксиомы дается ее имя, естественно-языковое описание, концепт, к которому аксиома относится, атрибуты, используемые в аксиоме, логическое выражение, формально описывающее аксиому и др.

Таким образом, модель онтологической системы, определяющей функционирование динамической базы знаний ИС исследовательского проектирования, позволяет описывать онтологии разных уровней.

## 6 Онтологии при реализации интерфейса

Структура интерактивной программной системы представляет собой модель интерфейса поддержки принятия решений. Принципы организации и функционирования интерфейса «Оператор–ЭВМ» тесно связаны с проблемой компьютерной интерпретации используемых в системе методов и моделей, определяющих содержание рассматриваемой прикладной области. Формально такая интерпретация в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде может быть представлена как процесс задания функции  $\Phi$ , обеспечивающей эквивалентность в отображении [1, 3]:

$$(5) \quad \Phi: \Omega \Leftrightarrow \Omega^*,$$

где  $\Omega$  – множества отношений между используемыми в системе логическими утверждениями и математическими зависимостями; символ  $*$  указывает на компьютерную интерпретацию результата работы ИС.

Модель интерфейса базовой архитектуры программного комплекса интеллектуальной поддержки использует онтологию [3], которая модернизирована с использованием парадигмы [1]. Эту модель можно рассматривать как совокупность системы понятий предметной области, выразительных средств интерфейса при интерпретации текущих ситуаций и сценария диалога «Оператор–ЭВМ». Модель также учитывает соответствие между моделями системы понятий предметной области, выразительными средствами и прикладной программой:

$$(6) \quad UO = \{A, B, C, D, E\},$$

где  $A$  – онтологии предметной области PRA;  $B$  – онтологии выразительных средств интерфейса;  $C$  – онтологии прикладной программы;  $D$  – онтология сценариев диалога;  $E$  – онтология связи между онтологиями PRA и выразительных средств ( $E_1$ ) и между онтологиями PRA

и прикладной программы ( $E_2$ );  $I(A), I(B), I(C), I(D), I(E)$  – потоки информации о соответствующих универсальных онтологиях;  $UO$  – универсальная онтология;  $MI$  – модель интерфейса.

Онтологии  $E, E_1$  и  $E_2$  связаны соотношениями [3]:

$$E = E_1 \cup E_2; E_1 = \text{Name}(A) \rightarrow \text{Name}(B); E_2 = \text{Name}(A) \rightarrow \text{Name}(C).$$

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод, что динамическая среда ИС исключает *концептуальный и математический* уровни представления, связанные обобщенной задачей реализации сложных динамических сцен. Понятие онтологии при такой интерпретации относится к концептуальному уровню и отражает междисциплинарный характер знаний, типичный для рассматриваемой ИС.

## Заключение

Особенностью метаонтологий, вытекающей из предельного уровня общности понятий-категорий, являются:

- логическая структура метаонтологии, определяемая выразительностью на уровне концептуальных моделей предметной области;
- математический уровень метаонтологии, определяемый понятиями, соответствующими концептуальным моделям знаний и универсальной метаонтологии;
- универсальная метаонтология, включающая метаонтологии естественного и физического метабазисов, а механизмом интеграции является переход между онтологиями, согласующий решения обобщенных задач.

Основой интеллектуализации компьютерных технологий, реализующих методы исследовательского проектирования, является погружение знаний в исследуемой предметной области в высокопроизводительную вычислительную среду.

## 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 г.), реализуемых при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

## Список литературы

- [1] Бортовые интеллектуальные системы. Ч. 2. Корабельные системы. – М.: Радиотехника, 2006.
- [2] Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000.
- [3] Грибова В.В., Клещев А.С. Использование методов искусственного интеллекта для проектирования пользовательского интерфейса // Информационные технологии. 2005. №8. С. 58–61.
- [4] Девятков В.В. Онтологии в проектировании систем // Сборник докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM-99 (Санкт-Петербург, 1999). Т. 2. С. 137-140.
- [5] Нечаев Ю.И., Лютин А.В. Интеллектуальная система, функционирующая на основе мультиагентных технологий // Искусственный интеллект. 2009. №3. С. 413–422.
- [6] Никольский С.Н. Метаонтологии и обобщенная задача реализации // Автоматизация и современные технологии. 2006. №9. С. 24-29.
- [7] Худяков Л.Ю. Исследовательское проектирование кораблей. – Л.: Судостроение, 1980.
- [8] Fernandes M., Gomez-Perez A. Juristo N. METHODOLOGY: From ontological Art toward ontological engineering // Spring Symposium Series on Ontological engineering AAI-97 (Stanford, USA, 1997).
- [9] Noy N.F., Hafner C. The State of the Art in Ontology Design: A survey and comparative review // AI Magazine. 1997. No18(3). P. 53 – 74.

- [10] Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge base // Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Second International Conference (Cambridge, MA). Eds.: A. Allen, R. Fikes, E. Sandewall. - Morgan Kaufman. 1991. P. 601–602.
- [11] Grudinger M., Fox M. Methodology for the design and evaluation of ontologies // Proceedings of IJCAL-95 Workshop on the Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, 1995.
- [12] Guarino N. Ontologies: what are they, and where's the research? // A panel held at KR-96. The Fifth Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (Cambridge, MA, 1996). <http://www-ksl.stanford>.
- [13] Uschold M., Gruninger M. ONTOLOGIES: Principles, methods and applications // Knowledge Engineering Review. 1996. Vol. 11. No2.

### 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.