

УДК 618.3:50

ОНТОЛОГИИ КАК СМЫСЛОВЫЕ МОДЕЛИ

С.В. Смирнов*Институт проблем управления сложными системами РАН
smirnov@iccs.ru*

Аннотация

В статье излагается опыт смыслового моделирования реальности на основе онтологий. Предполагается, что онтологии пригодны для представления как формально-математических, так и содержательно-описательных (т.е. собственно смысловых) моделей. В качестве предпосылки для выбора базовых элементов онтологических спецификаций постулируется когнитивная способность субъектов моделирования различать в мире объекты («дискретные объекты») и обнаруживать связи между объектами. Поскольку отношения как совокупности связей делятся на свойства и ассоциации объектов, то моделирующими примитивами для онтологий оказываются свойства и классы объектов. Ассоциативные отношения, элементы операционного базиса и аксиомы моделируемой предметной области фиксируются при определении специальных свойств объектов. Анализируется общая схема использования онтологических моделей, констатируется ее органичная ориентация на интеграцию разнородных знаний и очерчиваются необходимые для этого механизмы управления моделями.

Ключевые слова: смысловые модели, объект, свойство, семантическая сеть, формальная онтология, многомодельность, интеграция знаний.

Введение

Стержневая линия античного учения о бытии, выразителем которой стал Платон, четко отделяла мир вещей от мира идей, а переход от восприятия вещей к их осмыслению предполагала фиксировать в *смысловых моделях* (см. [1]). Однако оценки *способов* такого моделирования кардинально разделялись.

Так, Аристотель считал модели в форме «диалектических умозаключений» уместными лишь в «обычной» жизни, тогда как для получения «абсолютного знания» о ней пригодной признавал лишь «высказывающую речь» [2]. С его точки зрения диалектика достаточна для ведения спора и выдвижения правдоподобных заключений при *неполном* знании о мире вещей, что столь характерно для быта. Но лишь «высказывающая речь», могущая быть единственно истинной либо ложной, способна быть *носителем знания*. Именно эта концепция стала краеугольной в науке и в течение столетий воспринималась как единственно верная, предопределив как триумфальные достижения, так и фундаментальные проблемы, начиная с парадоксов логики и теории множеств до обсуждаемых в [1] «методологических aberrаций».

Сейчас уже общепризнанно, что классические научные методологии оказались мало приспособлены к работе со сложной, неоднозначной, неточной и противоречивой информацией, характерной для современных прикладных задач. Традиционное (и, прежде всего, формально-математическое) моделирование имеет здесь ограниченное применение в силу того, что смысловые модели реальности имеют преимущественно диалектический, *содержательно-описательный характер*, либо включают в себя и содержательно-описательную, и формально-математическую компоненты. Новые же возможности смыслового моделирования открываются благодаря развитию инфокоммуникационных технологий и методов *искусственного интеллекта* (ИИ).

По мнению специалистов, эти возможности – следствие достигнутого единства базовых средств отображения различных моделей (т.е. содержательно-описательных и формально-математических) и методов их интерпретации во «внутренний мир» компьютеров. «В качестве таких базовых средств выступают информационные объекты (данные и специальным образом конструируемые структуры данных) и алгоритмы (организуемые специальным образом последовательности встроенных операций преобразования информационных объектов)» [3]. Однако, замечают затем авторы [3], если культура перехода от формально-математических моделей и методов к алгоритмам и данным складывалась на протяжении всей истории развития вычислительной техники, то проблемы отображения содержательно-описательных моделей и средств их исследования в информационные объекты и алгоритмы стали объектом изучения сравнительно недавно и исследуются именно в ИИ.

После драматичного полувекового периода надежд, достижений и разочарований сегодня ИИ на роль базовых смысловых (семантических) моделей выдвигает *формальные онтологии* [4]; это верно как в мировом масштабе (см., например, сайт Международной ассоциации по онтологии и ее приложениям – IAOA), так и на отечественной ниве [5]. Действительно, анализ и созидание в сложных инфокоммуникационных системах (в самом широком охвате, включая социум) оказывается результативным лишь при надежном и согласованном представлении *предмета* внимания действующего субъекта - *актора*. Систематизация, разработка и использование таких представлений и составляют современное содержание *онтологического подхода* в моделировании и управлении. В статье излагается авторский взгляд на сущность и возможности такого смыслового моделирования.

1 Онтология и денотативная объектная модель предметной области

Представляется, что при формулировке знаний, составляющих содержание смысловых моделей, фундаментальную роль играют *два когнитивных суждения о мире*: возможность различения *дискретных объектов* и существование *связей* между ними. Множество объектов, рассматриваемых в контексте всякой *ситуации*, или *задачи*, образует ее *предметную область* (ПрО). Связи между объектами определяют *отношения* в ПрО: унарные интерпретируются как имманентные агрегируемые *свойства объектов* (функции объектов); произвольной арности, или собственно отношения, описывают различные *ассоциации объектов*. Мощностность моделирования, присущая бинарным отношениям, позволяет описывать любые ассоциативные отношения в ПрО с помощью пиринговых связей между объектами. Это позволяет представить картину ПрО в виде сети связанных объектов, которая в теории представления знаний известна как *семантическая сеть*.

Имеются веские основания придерживаться следующего взгляда на конструкцию этой сети (рисунок 1) [6, 7].

С позиции представления объектов ПрО рассматриваемая сеть распадается на две подсети: «*классы*» и «*экземпляры*», - которые находятся в *отношении экзemplификации*. В первой подсети имеется лишь *по два сорта* вершин и дуг: сосуществуют вершины-классы и вершины-свойства; дуги сорта «*является видом*» соединяют вершины-классы, а дуги «*является частью*» соединяют каждую вершину-свойство с одной и только одной вершиной-классом. Именно эта подсеть описывает *понятийную структуру* ПрО, определяя *онтологию* ПрО: совокупность понятий о доступных для ощущения/измерения свойствах объектов и разновидностях объектов в контексте доступных свойств. Подсеть «*экземпляры*» являет собой «денотат» онтологии - *денотативную объектную модель* ПрО, в которой онтология ПрО определяет типы вершин (они суть образы объектов ПрО) и дуг (это образы *связей* объектов ПрО; совокупности однородных связей составляют различные отношения между объектами).

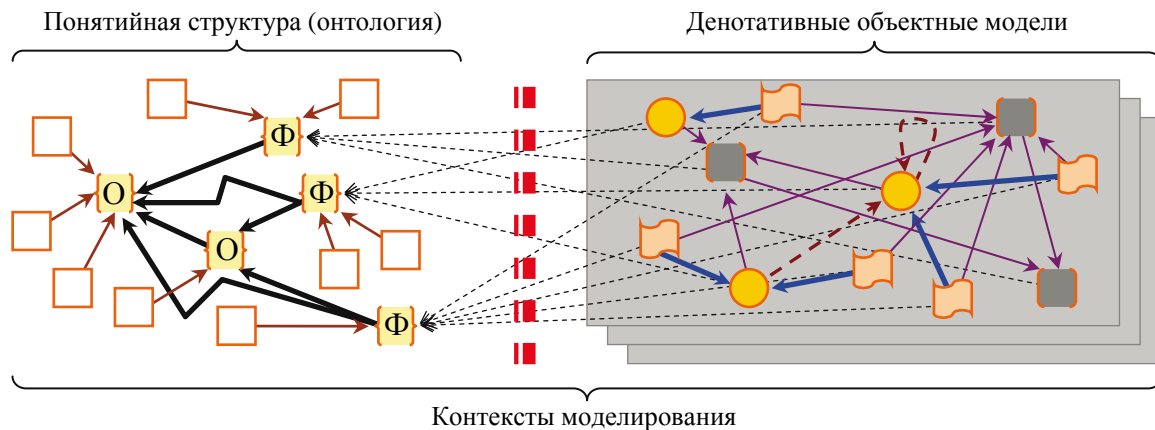


Рисунок 1 – Сетевая объектная модель предметной области:
 Ф – фундаментальные, О – обобщающие классы объектов;
 пунктирные дуги реализуют отношение экземплификации

Таким образом, исходными элементами в представленной картине смысловой модели служат *свойства* и *классы* объектов. *Отношения* между объектами - типичная составляющая онтологических спецификаций - возникают вследствие реализации специальных свойств объектов - *валентностей* [6, 7]. А благодаря идее *демонов*, вошедших в арсенал объектно-ориентированного стиля представления знаний [8] из теории *фреймов* М. Минского, примитив «свойство» пригоден и для фиксации еще одной общепризнанной компоненты смысловых моделей – *условий целостности*, или *аксиом*, ПрО (пример практического применения такого подхода к описанию аксиоматики ПрО можно найти в [9]).

В целом при решении задач онтология представляет *теорию*, а денотативная модель конкретизирует эту теорию применительно к актуальной *ситуации* в моделируемой ПрО. Множественность таких ситуаций делает целесообразным [7]:

- иметь *раздельные спецификации* для онтологической и денотативной компонент объектной модели ПрО (для повторного использования онтологий при моделировании разных ситуаций в ПрО), реализуя отношение экземплификации «внемодельными», технологическими методами;
- использовать при решении задач понятие *контекста моделирования* как актуальной пары \langle онтология ПрО, денотативная модель ПрО \rangle .

Наконец, следует отметить, что смысловые модели предметных областей - онтологии и денотативные модели - *однородны*, поскольку каждая является денотативной объектной моделью своей особенной ПрО. Для денотативной модели это ПрО, описываемая онтологией этой ПрО. Для онтологий это ПрО, которой принадлежат объемы понятий «класс объектов» и «свойство», а онтология, где эти понятия описаны (т.е. «онтология онтологий», или мета-онтология), должна быть семантически замкнута, описывая саму себя. Это естественная «технологическая реакция» на *онтологическую относительность* смысловых моделей реального мира [10].

2 Использование смысловых онтологических моделей

Для акторов, которых «мобилизует» и объединяет проблемная ситуация, смысловые модели (т.е. понятное этим акторам выражение правдоподобного знания) служат и *инструментом достижения взаимопонимания*, и *инструментом разрешения* - по крайней мере на уровне коммуникативных действий - *проблемы* [1, 11]. При этом применение в качестве смысловых моделей онтологий обеспечивает процессу решения задач *систематичность* и

междисциплинарность (благодаря органично присущей онтологическому подходу *многомодельности* и возможностей *интеграции* моделей) [12].

2.1 Общая схема

Укрупненный вид схемы, отражающей опыт построения и использования смысловых моделей на основе онтологий, представлен на рисунке 2.

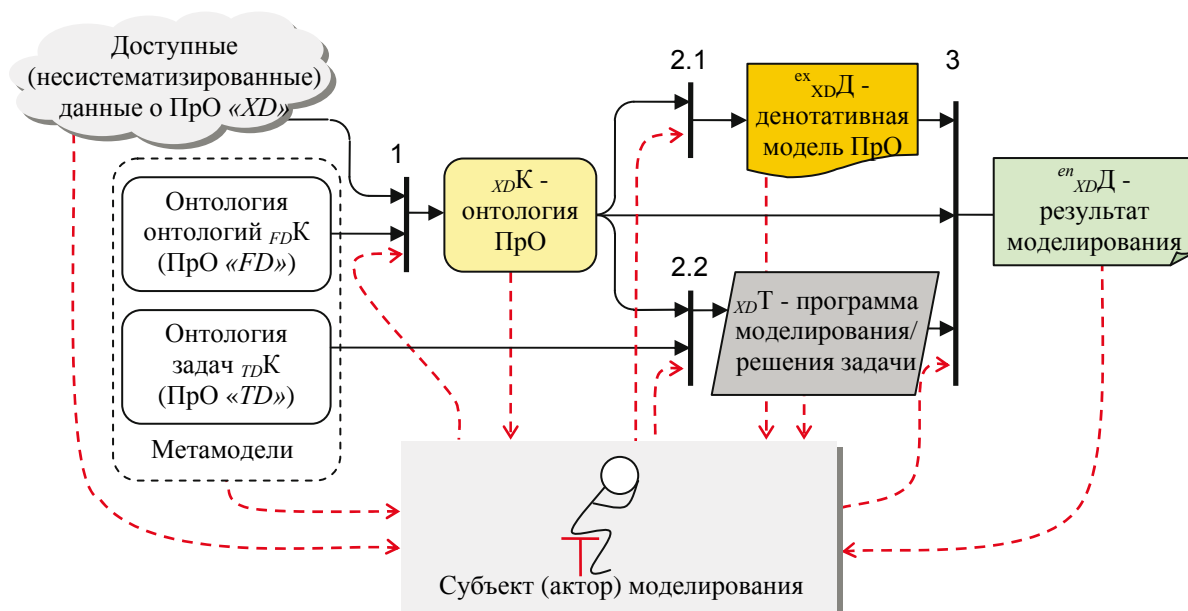


Рисунок 2 – Схема построения и использования смысловых онтологических моделей:
1-3 – этапы моделирования

Безусловно, центральная фигура в схеме – актер, нуждающийся в понимании и разрешении проблемной ситуации. К нему сходятся важнейшие информационные потоки – от эмпирических наблюдений ПрО до интерпретации результатов моделирования. Он, так или иначе, участвует в итеративном формировании всех необходимых моделирующих спецификаций за исключением *метамodelей*, являющихся для него фундаментальной платформой смыслового моделирования.

На рисунке 2:

- $x_D K$ – онтология – продукт *концептуализации*, или *онтологического анализа*, некоторой ПрО «XD»;
- $ex_{XD} D$ – экзогенная объектная модель ПрО «XD», построенная на «языке» онтологии целевой ПрО, описание ситуации в ПрО;
- $x_D T$ – денотативная модель специальной «технологической» ПрО «TD», онтология которой TDK описывает мир всякой мыслимой задачи [7]. Этап 2.2 с весьма общей точки зрения можно рассматривать как спецификацию сценария решения задачи, описание воздействий на экзогенную денотативную модель целевой ПрО, в результате которых она должна приобрести некоторые удовлетворяющие пользователя свойства. Операционным базисом такой *трансформации* служит исчисление, основу которого составляют функциональные составляющие онтологии целевой ПрО – надлежащим образом определенные свойства ее объектов;

- ${}^{ex}{}_{XD}D$ - экзогенная денотативная модель целевой ПрО – продукт интерпретации знания, зафиксированного в ${}_{XD}T$, применительно к ${}^{ex}{}_{XD}D$ (3-й этап¹ на рисунке 2). Результатом, ценным для актора, является либо надлежащим способом трансформированная денотативная модель ПрО, т.е. ${}^{en}{}_{XD}D$, либо зафиксированная апостериори последовательность воздействий на ${}^{ex}{}_{XD}D$, трансформирующая ее в ${}^{en}{}_{XD}D$, либо то и другое вместе.

2.2 Многомодельность

Необходимость одновременного отражения многих сторон, ликов, граней ПрО и согласованного манипулирования соответствующими представлениями при решении задач - вполне осознанная и актуальная проблема смыслового моделирования. Так при моделировании сложных систем построение *многомодельной среды* становится неизбежным, «так как сложная система принципиально является многоаспектной, ... она не может быть описана одной моделью, и необходимо разрабатывать ряд моделей одной и той же системы, предназначенных для решения различных задач или только одной задачи» [13, с. 226]. В частности, средства поддержки коммуникативной деятельности в интересующих системах [11] должны отражать различные позиции акторов, каждый из которых первоначально может располагать особой точкой зрения на ПрО (не говоря уже о границах ПрО) и пути разрешения проблемной ситуации, т.е. располагает собственными смысловыми моделями.

Схема моделирования на рисунке 2 по определению является многомодельной. Исключая ${}^{en}{}_{XD}D$ как производную аппликацию ${}_{XD}T$ к ${}^{ex}{}_{XD}D$, а также априори фиксированные метамодели ${}_{FD}K$ и ${}_{TD}K$, приходим к выводу, что для формального описания указанной общей схемы использования смысловых онтологических моделей пригоден кортеж вида

$$(1) \quad ({}_{XD}K, {}^{ex}{}_{XD}D, {}_{XD}T).$$

Расширение общей схемы (и, следовательно, вариантов многомодельных структур, поддержание и управление которыми должна обеспечивать среда моделирования на основе онтологий) может и должно выполняться с учетом следующих широко признаваемых особенностей смыслового моделирования:

- основным феноменом этапа концептуализации является возможность формирования и сосуществование нескольких различных онтологий (К-моделей) целевой ПрО;
- «на языке» всякой онтологии можно построить в общем случае сколько угодно различных денотативных (Д-) моделей ПрО;
- для всякой ПрО можно указать множество актуальных задач или множество вариантов решения некоторой одной задачи (это ведет к множественности «технологических» трансформационных (Т-) моделей даже при попытке разрешения одной проблемной ситуации);
- для решения реальных задач наряду с моделированием целевой ПрО требуется, как правило, привлечение знаний из возможно нескольких обособленных *проблемно-* (или *методо-*) ориентированных, инструментальных ПрО;
- в качестве целевой в процессе моделирования может выступать ПрО «*FD*», что означает решение задач построения новых онтологий или изменения имеющихся.

Анализ формализма (1) с учетом сказанного, выявивший все теоретически возможные многомодельные схемы использования введенных онтологических смысловых моделей, выполнен в [14].

¹ Этот этап в [7, 12] именуется фазой *вычисления*, или *вычислительного эксперимента* с объектной моделью ПрО. Однако, как однажды заметил Э. Дейкстра, «компьютерная наука касается компьютеров не больше, чем астрономия телескопов», поэтому вычисление, вообще говоря, следует понимать как *поведение*, свойственное многим системам, например, актерам в проблемной ситуации.

2.3 Интеграция знаний

Во-первых, *интеграцию знаний* при организации смыслового моделирования на основе онтологий резонно связывают с *композицией* формальных онтологий (*ontology merging*) – темой, рассмотрение которой выходит за рамки данной статьи. Интересующегося читателя отсылаем к работам [15, 16], где описаны методы объединения онтологий, сопряженные с базовыми положениями, установленными в разделе 1.

Во-вторых, интеграция знаний – отличительное свойство рассматриваемого подхода, прямо вытекающее из присущей ему многомодельности. При этом в многомодельной среде необходимо поддерживать такое управление гетерогенными моделями, которое обеспечит возможность реализации всевозможных схем их использования, упомянутых в подпункте 2.2:

- одновременное манипулирование в ходе решения задачи несколькими денотативными объектными моделями ПрО, описанной одной онтологией;
- совмещение нескольких взглядов на целевую ПрО, когда при решении задачи необходимо оперировать объектными моделями, построенными согласно различным онтологиям этой ПрО (случай многоаспектного представления целевой ПрО);
- совместное использование объектных моделей из разных ПрО, включая модели, конкретизирующие некие общеупотребительные методы решения задач. Т.е. речь идет о междисциплинарных задачах и совместном использовании моделей, отвечающих каждой отдельной дисциплине, а как частный случай указывается на привлечение для решения задачи моделей в методе-ориентированных ПрО;
- решение задач построения или изменения онтологий (К-моделей), а также Т-моделей на основе соответствующих метамodelей;
- организация взаимосвязанных «вычислительных» экспериментов для реализации альтернативных и эволюционных исследований ПрО.

Оказывается, что для реализации этих возможностей достаточно двух «контуров» управления моделями на этапе «вычислений» (рисунок 3) [14].

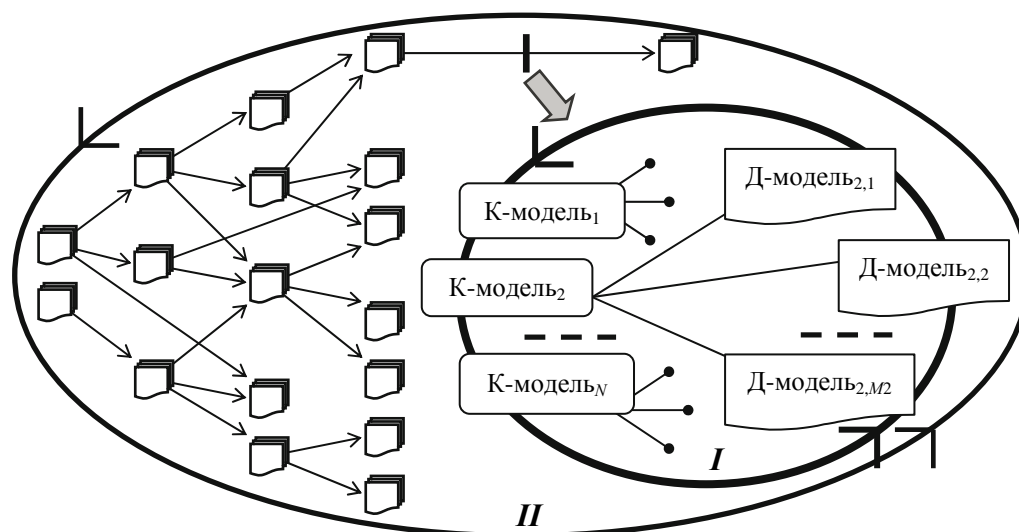


Рисунок 3 - Управление моделями на этапе «вычислений»:
I – задачный и II – проектный «контуры» управления

В первом, или *задачном* (поскольку его должен обеспечивать операционный базис онтологии задач TDK – см. рисунок 2), контуре путем переключения контекстов моделирования –

надлежащего определения «текущей» пары ⟨ К-модель, Д-модель ⟩ - обеспечивается работа с несколькими Д-моделями из разных, вообще говоря, ПрО. При этом должен контролироваться состав допустимых ПрО (Т-модель должна быть компетентна в каждой из них) и корректность контекстов моделирования (К- и Д-модели в контексте моделирования должны представлять одну и ту же ПрО).

Второй, проектный, контур (II на рисунке 3) не является обязательным и связан с макроуправлением «вычислениями». Осуществление управления состоит здесь в возможности проведения взаимосвязанных серий экспериментов с одновременной структуризацией сведений о выполненных «вычислениях» в форме растущего ациклического графа. Необходимость поддержания такого механизма управления требует введения в многомодельную среду специальной ПрО в области обработки информации, операционные составляющие которой, контролируя «правильный» рост структуры хранения информации о «вычислительных экспериментах», способны обеспечить транзакционные свойства этих актов.

Заключение

Опыт онтологического описания предметных областей, которое рассматривается здесь как основа смыслового моделирования, накоплен в течение достаточно продолжительного периода исследований и разработок в сфере объектно-ориентированного моделирования предметных областей, когда появлявшиеся новые потребности требовали постоянного переосмысления и развития достигнутых результатов. В найденных решениях в качестве основных ценностей фигурируют определенный минимализм, однородность теоретических и вследствие этого технологических конструкций.

В целом онтологический подход дает достаточно ясный взгляд на состав, назначение и структуру моделирующего комплекса для поддержки коммуникативной деятельности в интрасубъективных системах, а также механизмов управления моделями при решении задач. При этом охватывается большинство содержательных проблем разработки смысловых моделей: организации системы знаний об актуальной ПрО и о способах решения задач в этой ПрО, планирования решения задач и управления вычислениями, методологии отчуждения знаний от разработчика. Решения этих проблем оказываются в высокой степени унифицированными, а используемые модели однородными.

Список источников

- [1] **Виттих, В.А.** Платоновская диалектика как первооснова науки об управлении обществом / В.А. Виттих // Онтология проектирования. – 2013. - №2.
- [2] **Аристотель.** Сочинения: в 4-х т. Т. 2 / Ред.: З.Н. Микеладзе. – М.: Мысль, 1978. - 687 с.
- [3] **Христьяновский, Д.Г.** Проблемы моделирования в прикладных интеллектуальных исследованиях / Д.Г. Христьяновский, А.И. Эрлих // Труды III конф. по искусственному интеллекту (20-24 октября 1992 г. Тверь, Россия). Т. 2. - Тверь: Российская ассоциация ИИ, 1992. С. 78-81.
- [4] **Guarino, N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation / N. Guarino // Int. J. of Human Computer Studies. - 1995. - V.43. №5/6. - P. 625-640.
- [5] **Хорошевский, В.Ф.** Онтологический инжиниринг в России: ситуация, проблемы, перспективы / В.Ф. Хорошевский // Системный анализ и семиотическое моделирование: Материалы первой всероссийской научной конф. с международным участием (SASM-2011) (24-28 февраля 2011 г., Казань, Россия). – Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2011. С. 67-73.
- [6] **Смирнов, С.В.** Онтологии в задачах моделирования сложных систем / С.В. Смирнов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды II международной конф. (20-23 июня 2000 г. Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2000. - С. 66-72.

- [7] **Смирнов, С.В.** Прагматика онтологий: объектно-ориентированная модель знаний о предметной области / С.В. Смирнов // 11-я национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября-03 октября 2008 г., Дубна, Россия): Труды конф. Т. 3. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – С. 208-216.
- [8] **Dilger, W.** Object-oriented Knowledge Representation – an Overview / W. Dilger // J. New Generation Computation Systems. - 1989. - V. 2. - № 4. - P. 339-363.
- [9] **Смирнов, С.В.** Валидация эвристического подхода к решению задачи базирования детали / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. - Часть I: 2011. - Т. 13. - №6 (44). - С. 274-280; Часть II: 2012. - Т. 14. - №6 (48). - С. 190-197.
- [10] **Куайн, В.** Онтологическая относительность / В. Куайн // Современная философия науки: знание, рациональность, ценности в трудах мыслителей Запада: хрестоматия. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 1996.- 400 с.
- [11] **Виттих, В.А.** Ситуационное управление с позиций постнеклассической науки / В.А. Виттих // Онтология проектирования. – 2012. - №2. – С. 7-15.
- [12] **Смирнов, С.В.** Онтологическое моделирование в ситуационном управлении / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2012. - №2. - С. 16-24.
- [13] **Емельянов, В.В.** Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.
- [14] **Смирнов, С.В.** Онтологический подход к формированию гетерогенных сред моделирования / С.В. Смирнов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». - 2011. - №4(32). - С. 50-61.
- [15] **Stumme, G.** FCA Merge: Bottom-Up Merging of ontologies / G. Stumme, A. Maedche // Proc. 17th Int. Conf. on Artificial Intelligence - IJCAI'01 (Seattle, WA, USA, August 4-10, 2001). - P. 225-230.
- [16] **Виноградов, И.Д.** Алгоритм объединения концептуальных схем на основе реконструкции их формального контекста / И.Д. Виноградов, С.В. Смирнов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды III международной конф. (4-9 сентября, 2001 г., Самара, Россия) – Самара: СамНЦ РАН, 2001. - С. 213-220.

Сведения об авторе



Смирнов Сергей Викторович, 1952 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1975 г., д.т.н. (2002). Директор Института проблем управления сложными системами РАН, профессор кафедры «Инженерия знаний» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Член РАИИ и ИАОА. В списке научных трудов более 100 статей, 2 монографии в области прикладной математики, компьютерного моделирования сложных систем, создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений в технологических и организационных сферах.

Sergei Victorovich Smirnov (b. 1952) graduated from the Korolyov Aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1975, D. Sc. Eng. (2002). Director at Institute for the Control of Complex Systems of the Russian Academy of Sciences, holding a part-time position of professor at Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics Knowledge engineering sub-department. He is RAAI and IAOA member. He is co-author of more than 100 publications in the field of applied mathematics, complex systems simulation and development knowledge based decision support systems in control and management.