

УДК 004.832.3

## НА ПУТИ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ю. Р. Валькман, П. В. Степашко

*Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем  
НАН и МОН Украины,*

*yur@valkman.kiev.ua, pstepashko@gmail.com*

В даний час спостерігається ускладнення модельованих систем, об'єктів, процесів, ситуацій. Ускладнюються методи моделювання. Без комп'ютерів часто взагалі неможливий синтез і аналіз складних моделей. Через це, дуже актуальною є розробка засобів інтелектуалізації процесів моделювання. З нашої точки зору, ядром системи інтелектуального моделювання є онтологічна база знань. У статті розглядаються деякі принципи побудови онтології моделей, процесів моделювання, модельованих об'єктів, розв'язуваних проблем, задач.

*Ключові слова: модель, система, моделювання, комп'ютерна технологія, база знань, онтологія, інтелектуальна система, метасистема, структура.*

Currently there is a tendency to complication of simulated systems, objects, processes, situations. Modeling techniques become more complicated. Without computers, synthesis and analysis of complex models is often generally impossible. Therefore, the development of intellectualization of modeling processes is highly relevant. From our point of view, the core of the system of predictive modelling is an ontological knowledge base. This article discusses some of the principles of design of ontologies of models, process modeling, object modeling, problems being solved.

*Keywords: model, system, modeling, computer technology, knowledge base, ontology, intellectual system, metasystem, structure.*

В настоящее время наблюдается усложнение моделируемых систем, объектов, процессов, ситуаций. Усложняются методы моделирования. Без компьютеров, часто, вообще невозможен синтез и анализ сложных моделей. Поэтому, весьма актуальна разработка средств интеллектуализации процессов моделирования. С нашей точки зрения, ядром системы интеллектуального моделирования является онтологическая база знаний. В статье рассматриваются некоторые принципы построения онтологии моделей, процессов моделирования, моделируемых объектов, решаемых проблем, задач.

*Ключевые слова: модель, система, моделирование, компьютерная технология, база знаний, онтология, интеллектуальная система, метасистема, структура.*

**Введение.** В настоящее время созданы и разрабатываются сложные объекты и технологии новой техники. Более того, они постоянно усложняются. Без моделирования создание таких систем невозможно.

Поэтому, постоянно разрабатываются новые методы моделирования, технологии практического применения которых также усложняются. Модели становятся все более «тонкими», многомерными, многоаспектными, сложноструктурированными. Без построения мультимодельных структур для анализа совместимости, сбалансированности различных комплексов моделей создание и исследование таких объектов невозможно.

Специалисты должны хорошо знать специфику своих предметных и проблемных областей, а не особенности технологий компьютерного моделирования. А без использования компьютерных систем в настоящее время, часто, моделирование невозможно. Мы должны накапливать положительный и отрицательный опыт построения и использования моделей различных процессов и объектов.

Поэтому разработка методов и технологии интеллектуального моделирования представляются весьма актуальными.

Здесь объектом исследования являются процессы синтеза и анализа моделей (и их структур - отношений) сложных систем. Предмет исследования – технологии моделирования сложных явлений, объектов, процессов. Здесь, цель исследования – разработка принципов построения онтологии для разработки интеллектуальных компьютерных технологий моделирования. Здесь, ожидаемые результаты – принципы построения онтологии интеллектуального моделирования.

## **1. Некоторые определения и ограничения**

Введем некоторые определения и ограничения (системные аксиомы, для нас) данной предметно/проблемной области с соответствующими обоснованиями. Рассмотрим некоторые свойства и характеристики моделей.

Одним из основных исследовательских видов человеческой деятельности является моделирование, т. е. способ изучения закономерностей изменения структуры различных процессов или явлений под воздействием различных факторов. В основе процесса моделирования лежит понятие *модели*.

Модель — один из важнейших инструментов научного познания, условный образ объекта исследования (или управления); часто, единственный.

Модель конструируется *субъектом* исследования (или управления) так, чтобы отобразить характеристики объекта (свойства, взаимосвязи, структурные и функциональные параметры и т.п.), существенные для *целей исследования*.

Поэтому вопрос о качестве такого отображения — *адекватности* модели объекту — правомерно решать только относительно определенной цели.

Модель — всегда *искусственно созданный объект*, который будучи адекватным исследуемому объекту, *отображает* и воспроизводит в более *простом* виде структуру, связи и взаимосвязи между элементами исследуемого объекта, непосредственное изучение которого связано с какими-либо трудностями, и тем самым облегчает процесс получения информации об интересующем нас объекте.

Следовательно, практическое значение модель может иметь при условии, что ее анализ (путем активного эксперимента, дедуктивного исследования и т.д.) более доступен субъекту исследования в соответствии с имеющимися у него средствами, чем непосредственное изучение объекта [1].

Конструирование модели на основе предварительного изучения объекта и выделение его существенных характеристик, экспериментальный и (или)

теоретический анализ модели, сопоставление результатов с данными об объекте, корректировка модели и т.д. составляют содержание моделирования.

Предпосылкой относительно большей доступности модели для анализа в сравнении с объектом является то, что моделирование, как правило, приводит к упрощенному образу объекта (исключения могут составлять случаи, когда одна абстрактная система рассматривается как модель другой, тоже абстрактной системы).

*Моделирование* – это процесс адекватного отображения наиболее существенных сторон исследуемого объекта с той точностью, которая необходима для решения рассматриваемой задачи.

Приведем несколько известных определений понятия моделей.

**Математическая модель** - система математических выражений, описывающих характеристики объекта моделирования.

**Математическое моделирование** - метод исследования процессов или явлений путем построения их моделей и исследования этих моделей, чаще всего с помощью ЭВМ.

Более конструктивно с нашей точки зрения:

**Математическая модель технического объекта** - система математических объектов (чисел, переменных, матриц, множеств и т.п.) и отношений между ними, отражающая некоторые свойства технического объекта. При проектировании используют математические модели, отражающие свойства объекта, существенные с позиций инженера.

Введем следующее, удобное нам (для построения онтологии), определение модели [2].

Модель есть целевое отображение оригинала:

- абстрактное или реальное;
- познавательное или прагматическое;
- статическое или динамическое;
- конечное, упрощенное, приближенное;
- имеющее наряду с безусловно истинным, условно истинное и безусловно ложное содержание,
- ингерентное;
- адекватное;
- появляющееся и развивающееся в процессе практического использования.

Далее мы детально рассмотрим эти, базовые для нас, свойства моделей. Именно они (вместе с рассмотренными выше) будут классификаторами в онтологиях моделей и моделирования.

Или, более формально (детальнее см. [6,7]).

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1.** Под *параметром*  $P_i$  будем понимать формальную характеристику исследуемых свойств исследуемого/проектируемого сложного объекта.

По сути, любой параметр – это модель свойства или характеристики моделируемого объекта.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.** Моделью  $M_j$  будем называть любое отношение между параметрами (свойствами, характеристиками) сложного изделия, представляющее интерес с точки зрения исследования или проектирования.

Таким образом, любая модель формально это:

$$M_j: R(P_{1j}, P_{2j}, \dots, P_{ij}),$$

где:  $j$  — индекс (идентификатор) модели,

$P_{ij}$  —  $i$ -тый параметр  $j$ -той модели,

$R$  — отношение между параметрами.

Отношение  $R$  может быть представлено посредством множества нотаций (таблица решений, полином, дифференциальное уравнение, измерительная матрица, система продукций, фреймы, семантические сети и т.д.)

В [6] показана целесообразность и эффективность использования категорий лингвистики «текст» и «контекст» в формальных аппаратах представления знаний проектировщиков и исследователей сложных систем.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.** Текстом  $M_T$  модели  $M$  будем называть формальную запись отношения  $R$ , отображаемого в модели.

Представляется вполне правомерным определить и категорию *контекста модели*. И к этому аспекту понятия модели отнести мотивировку ее корректности, описание постановки задачи, используемого формального аппарата и прочие аспекты, которые не нашли свое отражение в *тексте модели*, но необходимы для адекватной ее интерпретации.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.** Контекстом  $M_K$  модели  $M$  будем называть формализованные условия адекватности модели моделируемому объекту.

Часто, контекст модели определяется посредством областей допустимых значений параметров, но есть и «неявные контексты». Это - значения тех параметров, которые на представлены в тексте моделей.

Далее мы будем широко использовать эти понятия.

Рассматриваем мы только семиотические модели, т.е. знаковые (см., например, в [3]) модели. Это - всегда абстрактные модели, имеющие символическое представление. Частным случаем таких моделей являются математические, т.е. представленные в форматах математической нотации.

Исчислением символических моделей занимаются специалисты искусственного интеллекта (см. гипотезу «символических моделей» Ньюэла-Саймона, например, в [4]).

К интеллектуальным технологиям, таким образом, мы приходим с двух сторон. *Во-первых*, сложные проблемы не моделируются без компьютера. *Во-вторых*, технология современного моделирования не может быть не интеллектуальной.

Здесь мы не будем анализировать понятие *интеллектуальности* каких-либо процессов (см. в [5]). Заметим, любой процесс мышления интеллектуален, но,

теперь, интеллектуальность практически всегда, подразумевает компьютерность реализации соответствующих процессов. Мы с этим согласны.

Но, здесь нам интересна только *интеллектуальность моделирования*, а нормальных определений этого понятия мы пока не нашли.

Поэтому, здесь, на основании общих соображений, нашего и «чужого» опыта (в создании и практического использования систем искусственного интеллекта [3-7]), мы будем считать, что интеллектуальность моделирования состоит в автоматизированном (или автоматическом) использовании общих и специальных знаний процессов моделирования, полученных при решении практических проблем.

Обратим внимание, что мы здесь не стремимся к строгому определению понятия *интеллектуального моделирования*.

Главное, построить систему, которая максимально аккумулирует, систематизирует, классифицирует опыт моделирования различных процессов, объектов, ситуаций и обеспечивает возможность его автоматизированного (или автоматического) использования при решении практических задач.

В настоящее время такие системы называются *онтологиями* [5,8-10]. В Википедии можно найти большое число работ, посвященное интерпретации этого понятия. Поэтому, здесь ведем рабочее определение (сформулированное на основе дефиниции Т. Грубера), ориентированное на обеспечение процессов интеллектуального моделирования.

Онтология – специализированная база знаний, в которой эксплицированы все концепты и отношения между ними, необходимые и достаточные для решения задач данной проблемной области.

Поэтому, далее целесообразно рассмотреть основные свойства и характеристики моделей и процессов моделирования.

## 2. Некоторые свойства моделей

Существует множество определений и классификаций моделей применительно к решению разнообразных задач и проблем.

Заметим, часто, свойства моделей и требования к ним являются основой их систематизации и классификации

Так, при построении модели необходимо выполнять требования *рефлексивности* (т.е. любая система есть своя собственная модель), *симметричности* (любая система есть модель своей модели, т.е. оригинал и модель могут меняться "ролями") и

*транзитивности* (т.е. модель модели есть модель исходной системы).

И, наконец, последнее свойство: поскольку модель является целевым отображением, то отсюда следует *множественность* моделей одного и того же объекта: для разных целей обычно требуются разные модели.

Существует множество классификаций моделей и соответственно методов моделирования.

Так, в зависимости от деления целей на теоретические и практические модели делятся на *познавательные* и *прагматические*.

*Познавательные* модели являются формой организации и представления знаний, средством соединения новых знаний с имеющимися.

*Прагматические* модели являются средством управления, средством организации практических действий, способом представления образцово-правильных действий или их результата.

Модель может отражать внутреннюю структуру объекта и воспроизводить отношения между его элементами, таковы, например, системы моделей композиционного планирования. В других случаях, когда внутренняя структура объекта недоступна исследователю, модель отражает лишь его поведение или функционирование, определяя зависимости между воздействиями на объект и его состояние.

Модели должны обладать следующими свойствами: *полнотой, точностью, правильностью*. Эти характеристики объединяет понятие адекватности. Модель, с помощью которой успешно достигается поставленная цель, называется адекватной этой цели. Адекватность означает, что требования полноты, точности и правильности выполнены не вообще, а лишь в той мере, которая достаточна для достижения цели.

**Моделирование** - метод системного анализа. Но часто в системном анализе при модельном подходе исследования может совершаться одна методическая ошибка, а именно, - построение корректных и адекватных моделей (подмоделей) подсистем системы и их логически корректная увязка не дает гарантий корректности построенной таким способом модели всей системы.

Модель, построенная без учета связей системы со средой и ее поведения по отношению к этой среде, может часто лишь служить еще одним подтверждением теоремы Геделя, А точнее, ее следствия, утверждающего, что в сложной изолированной системе могут существовать истины и выводы, корректные в этой системе и некорректные вне ее.

Наука *моделирования* состоит в разделении процесса моделирования (системы, модели) на этапы (подсистемы, подмодели), детальном изучении каждого этапа, взаимоотношений, связей, отношений между ними и затем эффективного описания их с максимально возможной степенью формализации и адекватности.

В случае нарушения этих правил получаем не модель системы, а модель "*собственных и неполных знаний*".

Все эти свойства имеют области допустимых значений (домены). Для этих доменов мы строим шкалы. Эти шкалы могут быть различных типов (и мощностей): классификационные (номинальные), порядковые (ранговые), интервальные, отношений, лингвистические.

Все эта информация должна быть представлена в онтологиях.

Многие известные системологи подчеркивали, что для лучшего понимания процессов и объектов целесообразно исследовать их с позиций метасистем. Под

метасистемой понимается система, в которую входит исследуемая система (в качестве подсистемы) и все системы (тоже в роли подсистем), с ней связанные.

Для построения онтологий интеллектуального моделирования, поэтому, рассмотрим метасистемы модели (*отражение статики*) и процесса моделирования (*отражение динамики*).

### 3. Метасистема и инфраструктура моделирования

На рис. 1 представлена схема метасистемы моделирования. В этой структуре выделяется 3 класса компонент:

- *объекты* моделирования,
- *модели* этих объектов,
- *субъекты* (конструкторы и «пользователи» моделей).

Обратим внимание, что отношение моделирования не бинарно (объект - модель), а тернарно. У любой модели всегда есть автор. Он определяет цели, исследует решаемые проблемы (см., например, 10 этапов системного анализа в [2]) Выбирает свойства, которые считает значимыми для данной цели, решаемой задачи, синтезирует для них параметры, выбирает методы и средства моделирования. Заметим, часто, модель синтезируется одним субъектом, а анализируется другим, и, тогда, особое значение приобретает описание

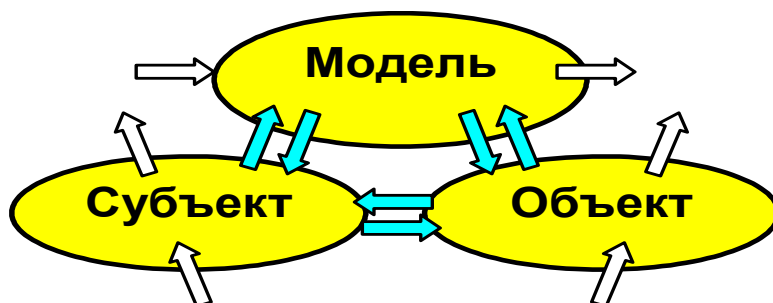


Рис. 1. Метасистема моделирования

контекста модели (особенно неявного) – см. определения 3 и 4 выше.

Все стрелки на рисунке соответствуют отношениям между компонентами метасистемы моделирования и некоторым процессам.

Соответственно (см. рис. 1) выделяются и три базы знаний. Можно также

говорить о трех взаимосвязанных онтологиях.

1. В первой онтологии осуществляется концептуализация *знаний о моделях*, которые были построены ранее для различных объектов. Для построения структуры моделей необходимо построить классификаторы по различным критериям. В частности, важны: родо-видовые (таксономия) классификаторы, системные отношения (часть-целое, мерология), причинно-следственные, функционально-структурные. Должны в этой онтологии поддерживаться классификаторы свойств моделей, рассмотренные во втором разделе и многие другие. Эти структуры еще и являются базовыми для ввода новых моделей в базу знаний.

Заметим, в этой и всех других онтологиях выделяются общая и специализированная части. Первая – ориентирована на поддержку любой

системы моделирования, а во второй отражаются знания специальных моделирующих систем.

И, конечно, эта онтология должна быть связана со всеми другими онтологиями интеллектуального моделирования.

2. Во второй онтологии производится структуризация знаний о моделируемых процессах, явлениях, объектах. В дальнейшем все моделируемое будем называть *объектами моделирования*. Эти объекты целесообразно рассматривать как системы и они также классифицируются посредством родовых, системных (часть-целое), причинно-следственных и т.п. отношений.

Конечно, эти онтологии (можно говорить об онтологиях материального (реального) мира) связаны отношениями со всеми другими онтологиями интеллектуального моделирования.

3. В третьей онтологии концептуализируются знания конструкторов моделей. В этих онтологиях отражаются знания целей моделирования, используемые средства, методы, технологии, решаемые задачи и проблемы, отношения «проблемы-задачи». Традиционно эта компонента называется *онтологией задач*. Но, здесь находятся и знания алгоритмов или технологий их решения.

Структура этой онтологии базируется на классификаторах методов, технологий, целей, средств моделирования. При структуризации этих отношений помимо традиционных структур (таксономия, мереология, и т.п.) используются текстовые описания. Очень важным компонентом этой онтологии является не только статистика (успешные и «неуспешные» проекты моделирования), но и анализ причин успеха и «неуспеха» применений различных методов, технологий в различных конкретных случаях. Это сложные отношения в системе *«решаемая проблема (задача) – технология (метод, средство, алгоритм – объект - модель»*

Теперь несколько замечаний.

Метасистема не имеет выделенного объекта, относительно которого ведется исследование. Кроме того, здесь и далее понятие метамодели будет использоваться несколько в другом аспекте. Поэтому, будем говорить об инфраструктуре некоторой выделенной системы.

*Инфраструктура* — комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и/или обеспечивающих основу функционирования системы

Поскольку компонента *«проблема (задачи)»* занимает особое место в структурах моделирования (она влияет на выбор цели (или наоборот), метода, технологии, структуры исходной модели и т.д.), то целесообразно выделить отдельно эту компоненту в инфраструктуре модели. Мы назвали эту структуру «расширенной» (появилась, новая, нетрадиционная компонента).

На рис.2 представлена схема этой инфраструктуры модели. Здесь, помимо традиционной метасистемы моделирования, появилась компонента *«проблема (задачи)»* и, теперь мы все рассматриваем относительно *«МОДЕЛИ»*. Нам



интересно, какая проблема решается посредством синтеза данной модели, какой объект отражается в данной модели, кто построил данную модель или кто ее использует при решении данной задачи.

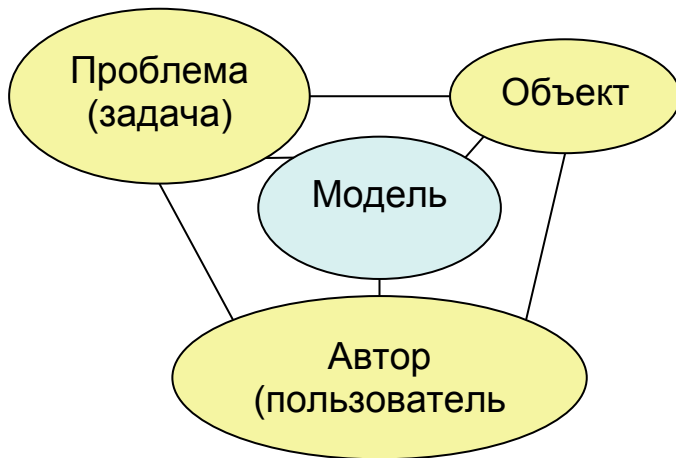


Рис. 2. «Расширенная» инфраструктура модели

моделирования (т.е. *исходную модель*, см. рис. 5 и 6), выбирает методы, алгоритмы, технологии решения задач и т.д. Информация об объекте, которую субъект должен получить при моделировании, различается в зависимости от задачи. Понять, какая информация существенная, а какая — нет, это отдельная проблема, общего решения которой не существует. Именно на решение этих проблем и ориентированна онтология интеллектуального моделирования.

Таким образом, здесь мы предлагаем технологию центрирования схем инфраструктур онтологий для обеспечения полноты и согласованности решаемых проблем интеллектуализации моделирования.

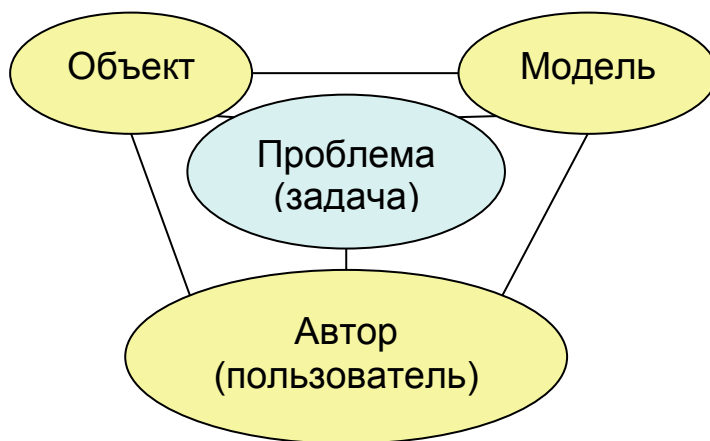


Рис. 3. Инфраструктура решаемой проблемы

*технология* (реализации этой технологии). Но, на первом уровне детализации этого процесса выделяются *ЦЕЛЬ, РЕЗУЛЬТАТ (модель), ПРОБЛЕМА (задачи), ИСПОЛНИТЕЛИ*. Все эти компоненты данной структуры являются индексами-

Но, мы можем в центр инфраструктуры поставить любой из этих четырех компонент. Так, например, на рис. 3 представлена схема инфраструктуры решаемой проблемы. Теперь мы рассматриваем все относительно проблемы (задачи или их множества), которую мы решаем посредством моделирования соответствующего объекта. При этом автор определяет цель, адекватную решаемым задачам, значимые параметры объекта

Теперь рассмотрим структуру процесса моделирования. Обратим внимание, что все предыдущие схемы отражали статику процесса моделирования. Теперь рассмотрим структуру динамики этого процесса.

На рис. 4 представлена схема инфраструктуры

процесса моделирования. Базовой компонентой этой инфраструктуры является

ссылками на другие онтологии (см. выше), которые обеспечивают целостность представления знаний интеллектуального моделирования.

Концепт *ТЕХНОЛОГИЯ* включает две компоненты: *МЕТОДОЛОГИЮ* (реализации данной технологии) и *СТРУКТУРУ* (процессов технологии).

*МЕТОДОЛОГИЯ* включает методы, инструменты, средства, приемы осуществления соответствующей технологии.

*СТРУКТУРА* технологии процесса моделирования («собираем все компоненты от описываемого компонента до корневого») включает *СУБПРОЦЕССЫ* (параллельно осуществляемые процессы, находящиеся на одном уровне иерархии процессов в разных «ветках») и *ПРОЦЕССЫ*. Процессы делятся на *ОПЕРАЦИИ*, операции могут делиться на *ДЕЙСТВИЯ* (они не представлены на рисунке).

Иерархическая структура «*ПРОЦЕССЫ – ОПЕРАЦИИ – ДЕЙСТВИЯ*» может иметь много уровней, число которых зависит от сложности процесса. Посредством концепта *ОТНОШЕНИЯ* строится иерархическая структура процессов интеллектуального моделирования.

А разработанные и рассмотренные здесь структуры являются основой для построения онтологий для построения системы интеллектуального моделирования.

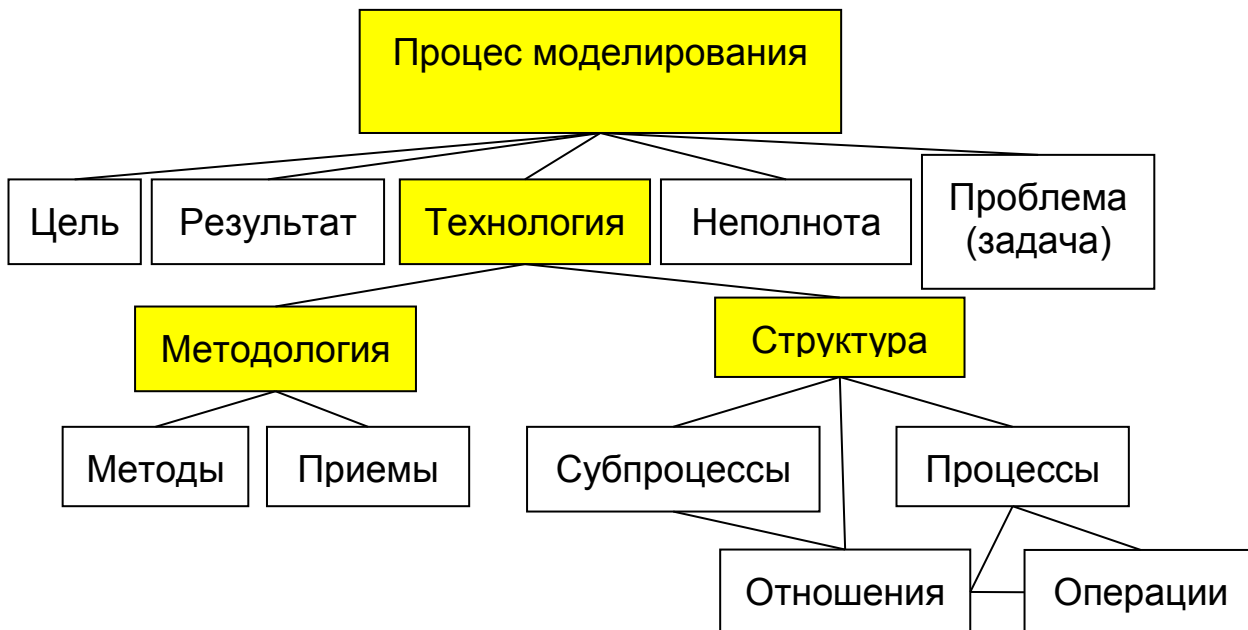


Рис. 4. Инфраструктура процесса моделирования

#### 4. Классификация моделей систем по Клиру

Предварительно необходимо рассмотреть отношения «система - модель». Представляется вполне очевидным, что любая модель является системой (отношений между параметрами, характеризующими объект моделирования). И любая система является разновидностью модели объекта моделирования. В том

смысле, что система – это некоторое представление объекта моделирования (в форме отношений между его компонентами на весьма абстрактном уровне)

На рис. 5 представлена структура (упрощенная) иерархии эпистемологических уровней систем Клира [2]. Он рассматривает 5 обобщенных уровней наших знаний о системах:

- 0 – *исходные системы* (базовые свойства, характеризующие систему),
- 1 – *системы данных* (матрицы значений соответствующих свойствам параметров),
- 2 – *порождающие системы* (модели - правила, законы, формулы и т.д. - устройства и/или ее функционирования),
- 3 – *структурированные системы* (отношения между построенными моделями для сложных систем),
- 4 – *метасистемы* (отношения между построенными ниже отношениями).

На рис. 6 представлена условная схема отношений между тремя первыми уровнями этой иерархии. Многоточия на рисунке соответствуют вербальной трактовке вводимых обозначений.

Заметим, именно на этом на этом уровне математики, как правило, «*расстаются с семантикой проблемной области и начинают играть в синтаксические игры*», считая, что теперь в формализованных структурах уже представлен весь необходимый и (главное!) достаточный для выводов смысл. Приведенную схему можно интерпретировать как (на высоком уровне абстрактности) технологию порождения и корректировки моделей и гипотез.

<b>Уровень 4 (M...)</b> Метасистемы
<b>Уровень 3 (SS, SD, SF)</b> Структурированные системы
<b>Уровень 2 (F)</b> Порождающие системы
<b>Уровень 1 (D)</b> Системы данных
<b>Уровень 0 (S)</b> Исходные системы

Рис. 5. Иерархия эпистемологических уровней систем (упрощенное представление)

теория систем. Не может существовать алгоритмов и процедур определения существенных (значимых) параметров. Если вспомнить о понятии информации, не забывая также о том, что свойства имеют информационную природу, то станет ясно: моделирование есть не что иное, как отображение информации, существенной для решения данной задачи.

Обратим внимание, что и известный специалист в области индуктивной логики В. К. Финн [13] разработал и использует свой ДСМ-метод (названный

Рассмотрим подробнее эти пять уровней.

0. Дж. Клир, видимо, не случайно нижний уровень назвал нулевым. Он не указывает, как мы получаем информацию о том, какие свойства исследуемого объекта становятся параметрами соответствующей системы. Вероятно, для него – это базовая *аксиома*. Не предлагает адекватных методов и системный анализ и общая

так в честь Джона Стюарта Милля), а затем и КАТ (квазиаксиоматическую теорию) для систем данных; т. е. и он считает параметры системы уже определенными. Методы и средства Data Mining [14] также применяются к матрицам измерительной информации с априори определенными параметрами.

Широко известен тезис Герберта Саймона «Откуда берутся гипотезы, если они не рождаются прямо из головы Зевса? Частично ответ состоит в том, что они возникают в процессе порождения гипотез».

Исходные системы (**S**), по сути, представляют собой вектора значимых (существенных) параметров, которые характеризуют модели исследуемых систем. В основе формирования этого вектора находятся только наши гипотезы (основанные на опыте и анализе аналогий) о моделируемом объекте. О порождении гипотез см., в частности, [12].

1. Исходная система – это схема, по которой могут быть сделаны наблюдения отобранных признаков. В системах данных (**D**) (см. рис. 6), как правило, находятся матрицы некоторой информации. Они могут быть получены, по крайней мере, тремя путями. Во-первых, в результате наблюдений или измерений. Во-вторых, они могут быть выведены из систем (моделей) более высоких уровней или вычислены посредством каких-либо методов или технологий. В-третьих, эти матрицы могут быть построены проектировщиком каких-либо систем (см., например, в [6,7]).

2. Порождающие системы (**F**) (см. рис. 6), часто, представлены

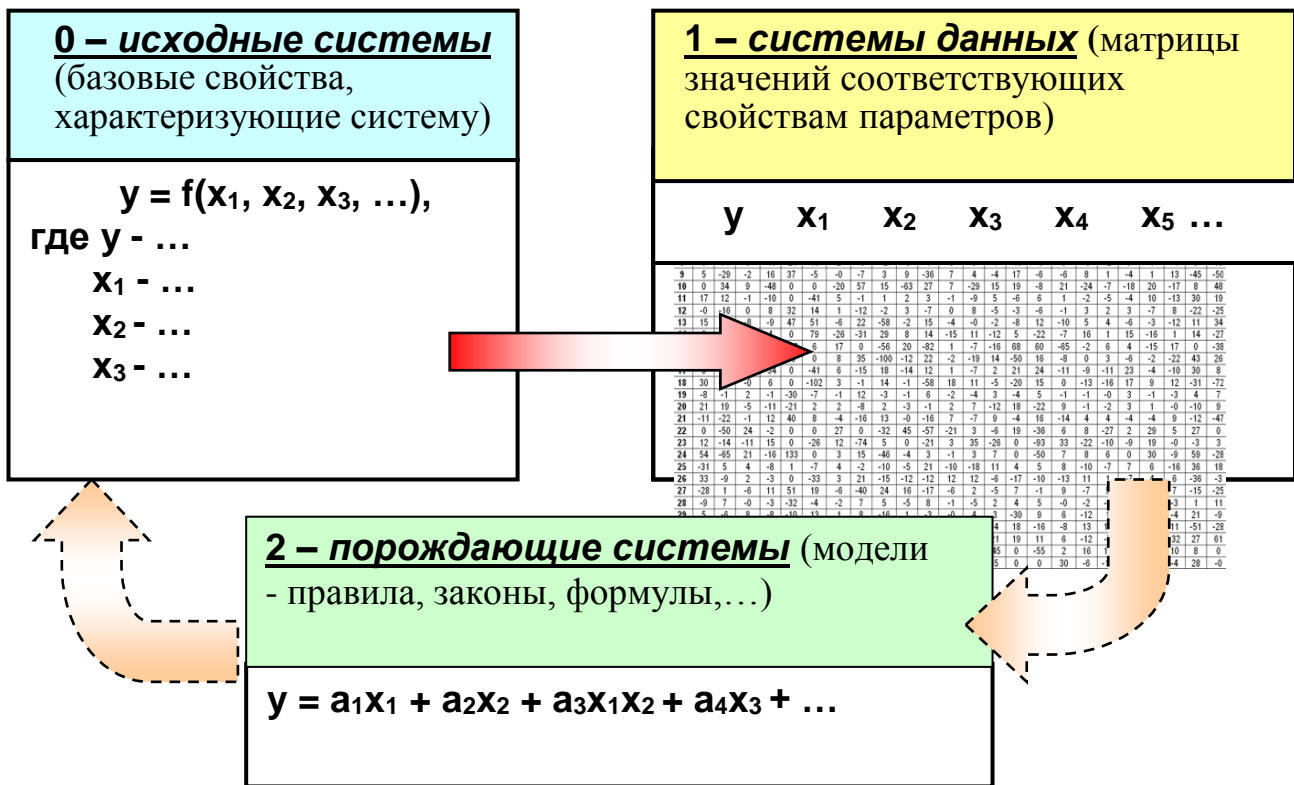
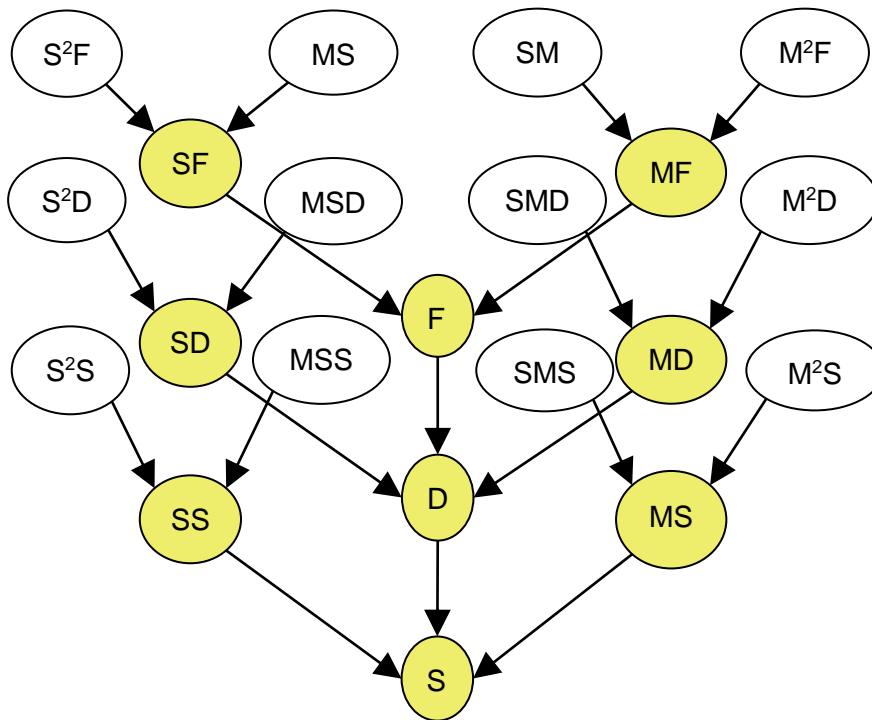


Рис. 6. Условная схема синтеза и корректировки моделей

полиномиальными уравнениями (в случае применения методов математической статистики к измерительным матрицам). Но, порождающими моделями (системами) могут быть и дифференциальные уравнения, и продукционные системы, деревья решений, семантические сети и т.д. Основная функция моделей этого типа является возможность порождения информации о поведении или структуре моделируемого объекта.

Следующие два уровня эпистемологии Клира целесообразно рассматривать на основе схемы полурешетки эпистемологических типов, представленной на рис. 7. Эти системы соответствуют отношениям «часть-целое» и «род-вид».

3. Структурированные системы (**SS, SD, SF**), если говорить в общих чертах, представляет собой набор исходных систем, систем данных или порождающих систем, имеющих общее параметрическое представление. Системы, образующие структурированную систему называются ее компонентами. Некоторые параметры у них будут общими. Их называют связывающими параметрами. Они представляют взаимодействия между компонентами. В [2] Клир рассматривает розовый куст в горшке. В этой структурированной системе выделяется шесть компонент (подсистем -



моделей): почва, корни, стебель, сок растения, листья и цветы.

В [6,7] представлена специальная метрология построения и исследования модельно-параметрического пространства объектов военного кораблестроения. Это пространство соответствует многоуровневой структурированной системе. В базах

Рис. 7. Полурешетка эпистемологических типов систем

знаний этой системы поддерживается синтез и анализ около 2000 моделей, которые построены на 700 параметрах (см. в [7]).

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 5.** Под *модельно-параметрическим* ( $\langle M, P \rangle$ -) пространством будем понимать множество всех моделей, параметров, отношений между ними, характеризующих свойства (проектируемого и/или исследуемого) объекта.

В общем случае  $\langle M, P \rangle$ -пространство можно трактовать как двудольный граф (понимая под его вершинами - различные  $M$  и  $P$ , а под дугами — отношения между ними) или семантическую сеть со специальными свойствами. Структура  $\langle M, P \rangle$ -пространства детально рассмотрена в [7].

4. *Метасистемы* ( $MS, MD, MF$ ) в приложении к системам включает три смысла:

- 1) метасистема может быть определена только *после* того, как определены другие типы систем;
- 2) эта система описывает *изменение* – замену одной систему другой;
- 3) она выше отдельных систем – процедура замены делает ее чем-то большим, чем набор отдельных процедур.

В качестве примера метасистемы Клир в [2] приводит интегрированную систему с данными ( $D$ ) работу светофора: обычно, ночью и в час пик.

Вспомним Г. С. Брауна: «Ученый не столько описать неизменное, сколько найти неизменяющиеся описания изменяющегося».

Мы в метасистемах видим не только отражение динамики, но и представление структур статических отношений «род-вид».

Последние два класса систем могут применяться многократно друг к другу и/или рекурсивно (см.  $SMS, SMD, SMF, MSS, MSD, MSF, M^2S, M^2D, M^2F, S^2S, S^2D, S^2F$ , в полурешетке на рис. 7). Так например, для корабля одна из структурированных исходных систем второго уровня  $S^2S$  - модели всех видов качек (суперпозиция бортовой, килевой, вертикальной и др. видов качек структуры  $SS$ ) в интегрированной модели ( $\langle M, P \rangle$ -пространстве) корабля  $S^4S$ .

Рассмотренные здесь классификации систем (для нас, *моделей*) и принципы построения  $\langle M, P \rangle$ -пространства являются базой для построения онтологий интеллектуального моделирования.

### Заключение

В статье рассматриваются некоторые принципы построения онтологии моделей, процессов моделирования, моделируемых объектов, решаемых проблем, задач для разработки и использования интеллектуальных систем моделирования.

В дальнейшем планируется создание компьютерной системы, обеспечивающей создание и использование онтологических баз знаний, некоторые принципы создания которых здесь изложены.

Разработанные программно-информационные системы могут использоваться в комплексе. Но, могут применяться и локально в различных приложениях.

Так различные онтологические базы знаний могут использоваться в качестве основной компоненты при создании экспертных систем моделирования в разнообразных предметных и проблемных областях.

Могут они применяться и в качестве инструментальных комплексов при разработке различных интеллектуальных систем и технологий.

## Литература

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. Учебник. — СПб.: Издательство СПбГТУ, 2005, - 658 с.
2. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ— Москва: Высш. школа, 1989. – 376 с.
3. Валькман Ю. Р. Когнитивная семиотика // Сб. научн. тр. 1 Междунар. симпозиума “Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика“, Москва, Калининград, “Наука. Физматлит“, май, 2012, с. 98-116.
4. Саймон Г. Науки об искусственном. - Москва: Мир, 1972. – 242 с.
5. Гаврилова Т. А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний в интеллектуальных системах. – Санкт-Петербург, Питер, 2000 г. – 384 с.
6. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели. - Киев: Port-Royal, 1998. - 250 с.
7. Валькман Ю. Р., Гриценко В.И., Рыхальский А. Ю. Модельно-параметрическое пространство. Теория и приложение. Киев: Наукова думка, 2012. – 257 с.
8. Лукашевич Н.В, Добров Б.В., Отношения в онтологиях для решения задач информационного поиска в больших разнородных текстовых коллекциях // Девятая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2004. Москва: Физматлит, 2004. Т.2. С.544-551.
9. Guarino N. Concepts, attributes and arbitrary relations // Data Knowledge Engineering.1992. 8. pp. 249-261.
- 10.Sowa J. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA, 2000.
- 11.Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. - Москва: Радио и связь, 1990. - 544 с.
- 12.Валькман Ю. Р., Дембовский О. Ю. Induction, Traduction, Abduction and Deduction in the Processes of Hypotheses Generation and Justification //2nd International Conference on Inductive Modelling (ICIM'2008) September 15-19, 2008, Kyiv, Ukraine, pp. 55 – 58.
- 13.Финн В.К. Правдоподобные рассуждения в интеллектуальных системах типа ДСМ. Итоги науки и техники. Информатика, Т.15, Москва: 1991. – с. 34-87
- 14.Дюк В., Самойленко А. Data Mining: учебный курс. Изд-во: Питер, 2001-368 с.