

## Корпусной подход к идентификации социальных и экологических явлений

77-48211/645453

# 11, ноябрь 2013

Выхованец В. С.

УДК 519.711.3+005

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
Россия, Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
[valery@vykhovanets.ru](mailto:valery@vykhovanets.ru)

### Введение

Для решения прикладных задач по идентификации и управлению сложными явлениями последние, как правило, анализируются в рамках системного подхода, а результаты этого анализа фиксируются в виде описания некоторой социальной или экологической системы, т.е. такой системы, которая состоит из целенаправленных элементов и обладает (не обладает) целенаправленностью [1, с. 41].<sup>1</sup>

Для идентификации социальных явлений повсеместно используются методы теории активных систем [2], основанные на гипотезе о рациональном поведении активного элемента системы при известных его предпочтениях и установленных правилах индивидуального рационального выбора некоторых действий с учетом сложившейся обстановки. При этом предпочтения задаются функциями полезности, целевыми функциями, бинарными и нечеткими отношениями, а текущая обстановка определяется как состояния пассивных элементов системы. Состояния пассивных элементов системы изменяются при выполнении выбранных или прогнозируемых действий активными элементами. В итоге в теории активных систем целенаправленность социальной системы пытаются выразить через целенаправленность ее элементов. Отсюда возникают трудноразрешимые проблемы многокритериальной оптимизации, связанные с множественностью принципов оптимальности, которые свойственны сложным социальным явлениям [3].

---

<sup>1</sup> Социальная система состоит из целенаправленных элементов и обладает целенаправленностью. Экологическая система, как и социальная, состоит из целенаправленных элементов, но сама целенаправленностью не обладает.

Неудачи, связанные с идентификацией социальных и экологических явлений,<sup>2</sup> привели к появлению концепции синергизма в системной методологии. Синергетика рассматривает структуру системы как состояние и изучает возникновение, поддержание, изменение и распад таких структур в процессе эволюции систем [5]. Математический метод синергетики – описание движения системы в пространстве ее динамических (фазовых) состояний, где выделяются и изучаются особые точки (аттракторы), к которым стремится система в своем движении. Представление об эволюции связано с поведением системы в точках бифуркации – точках пространства состояний, которые имеют несколько близлежащих аттракторов. Считается, что в точке бифуркации поведение системы непредсказуемо, так как флуктуационные<sup>3</sup> изменения внешних параметров открытой системы приводят переходу ее траектории в подпространство состояний одного из аттракторов [6]. При этом с каждым из бифуркационных аттракторов связывают различные изменения структуры системы при неизменном ее параметрическом описании. Аналогично обстоит дело и со странными аттракторами, моделирующими хаотическое поведение системы [7]. Считается, что предсказание динамического состояния системы в окрестности странного аттрактора невозможно по причине фрактальной геометрии этого аттрактора.

Причины проблем описания сложных явлений оказались лежащими гораздо глубже методов прикладных теорий и, в свое время, вызвали очередной пересмотр оснований математики. В рамках нового направления – интуиционизма, предпринята попытка радикальной перестройки математики, согласно которой математика не может быть сведена к математической логике (направление логицизма) и истолкована исключительно как язык математических символов (направление формализма), а конечным критерием приемлемости математических результатов является наглядно-содержательные построения (интуиция) [8]. При этом математика рассматривается как мыслительная активность, не зависящая от какого-либо языка, ее объект – нелингвистические математические конструкции, а ее предмет – формальный (логический) язык, который вторичен и служит лишь для сообщения математических результатов.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Следует заметить, что в рассматриваемой интерпретации термины «социальная система» и «экологическая система» покрывают не только области общественных и экологических явлений. К социальным системам относятся целенаправленные системы, в том числе и технические, рассматриваемые как состоящие из целенаправленных элементов, например, мультиагентные [4]. Аналогичным образом обстоит дело и с экологическими системами.

<sup>3</sup> Неконтролируемо малые изменения.

<sup>4</sup> Ранее аналогичное явление наблюдалось и в философии, где произошло разделение логики на формальную (общую) и трансцендентальную (философскую). Последнее было вызвано проблемами, появившимися при попытке отождествить законы логики с законами мысли [9].

Свое математическое выражение интуиционизм нашел в отказе от закона исключенного третьего<sup>5</sup> – в отказе от принципа всезнания, при котором истинным всегда является высказывание или его отрицание. Дальнейшая разработка этого направления и связанных с ним идей привела к возникновению современной конструктивной логики и конструктивной математики [12].

Хотя интуиционизм и возникшие из него различные направления конструктивизма обосновали альтернативу традиционному формализму и логицизму, показали важность идеальных понятий при математических построениях, дали в руки исследователей новый инструмент описания сложных явлений, однако до сих пор полученные в этом направлении результаты не используются в достаточной мере [13]. Причины неудач заключаются в том, что разработке подвергались только формальные системы интуиционистской математики, которые оказались противоречащими друг другу.<sup>6</sup>

После таких открытий сама математика стала рассматриваться как бесконечное множество несовместимых между собой формальных теорий, так как установлено, что конечно аксиоматизируемые исчисления имеют бесконечное число непротиворечивых расширений. Множество таких исчислений образует определенную структуру, описываемую соответствующей метатеорией – исчислением формальных теорий, или математикой метаматематики [14]. Но в рамках одной теории даже из найденного их многообразия все равно не удалось получить полные описания предметных областей, а применение нескольких теорий одновременно порождает трудно устранимые противоречия из-за несогласованности понятий, используемых в этих теориях.

В связи с этим сформулирована проблема неформализуемости, которая утверждает существование эффективной процедуры, позволяющей опровергнуть любую формальную теорию. Преодоление проблемы неформализуемости связывают с построением множества формальных теорий, которые выражают разные стороны исследуемых явлений и по определению несовместимы друг с другом [15].

---

<sup>5</sup> Фундаментом общей логики являются четыре закона: закон тождества (предмет суждений должен оставаться тождественным самому себе), закон противоречия (противоположные суждения не могут быть одновременно истинными), закон исключенного третьего (противоположные суждения не могут быть одновременно ложными) и закон достаточного основания (посылками умозаключений могут быть только истинные суждения). Считается, что с помощью этих законов можно получать общезначимое знание, достоверность которого проявляется в виде непосредственного чувства очевидности [10].

<sup>6</sup> Другой попыткой устранения проблем формальной логики явился отказ не только от закона исключенного третьего, но и от логического закона противоречия. В «воображаемой» логике Н.А. Васильева [10] закон логического противоречия заменен законом мысли, согласно которому одно и то же суждение нельзя мыслить и истинным и ложным. Однако реальных прикладных результатов в рамках «воображаемой» логики получить не удалось: в этой логике никогда не нарушается закон мысли, однако постоянно нарушается эмпирический закон нашего мира, согласно которому не существует совместной интерпретации двух противоположных суждений.

Одна из попыток математического выражения неформализуемости получена в виде построения множества автопродуктивных теорий [16]. Основанием для автопродуктивности является предположение о том, «что используемые в конструктивной деятельности понятия в большинстве своем неформализуемы, что любая формализация должна быть целенаправленной, и, соответственно, должна пересматриваться при изменении цели либо критериев оценки результата, что абсолютная правильность недостижима, и, соответственно, неправильна любая наша формальная теория» [17]. Для учета этого для каждой конкретной цели взаимоотношения понятий некоторой предметной области задаются своей формальной теорией, которая называется ипостасью. Описание семантики понятий осуществляется на языке логического исчисления путем выражения взаимосвязи понятий в виде теорем ипостаси. Постулируется, что каждая базовая ипостась имеет как подтеорию, так и свои эффективно конструируемые расширения – альтернативы (дочерние ипостаси), которые по определению являются логически несовместимыми между собой, т.е. собственные теоремы любой альтернативы теоремами базовой ипостаси не являются. Так как каждая ипостась перестает работать, если мы интересуемся не истинностью, а развитием понятий, то создается новая альтернативная ипостась, наследуемая от наиболее близкой в семантическом плане и в которой выражается новое понимание понятий и их взаимосвязи. Иными словами, путем расширения исходной теории создается решетка, не имеющая максимального элемента, а минимальный элемент которой – математическая логика.

Однако классическая [18], интуиционистская [8] и «воображаемая» [11] логики оказались не единственными. В результате пересмотра не только законов логики, но правил построения умозаключений найдено такое многообразие логик, что поставлен вопрос [19]: имеет ли логика какое-то отношение к мыслительной деятельности человека? Если имеет, то тогда уровень логичности последней скрывается за «функционированием» бесконечных классов различных логических систем».

В итоге оказалось, что известные подходы не позволяют идентифицировать сложные явления, так как такого рода явления могут быть смоделированы только при их рассмотрении как множества одновременно сосуществующих систем (теорий), каждая из которых обладает своей структурой, поведением и целенаправленностью. По этой причине при идентификации таких явлений закономерным видится использование некоторого надсистемного и метаформального подхода, возникающего из-за наличия внесистемного и неструктурного характера взаимодействия изучаемых объектов.

Настоящая работа посвящена новому подходу к идентификации сложных явлений, основной особенностью которой является совместное использование множества

взаимно противоречивых формальных теорий, полученных в результате мультипроблемного анализа предметной области и объединенных в единый корпус. Корпус теорий позволяет определить квазиестественный язык, который предназначен для многоаспектного описания сложных предметных областей. Применение корпусного подхода позволяет повысить выразительность, качество и эффективности формального моделирования сложных социальных и экологических явлений.

## **1 Системная парадигма**

В современной интерпретации под парадигмой обычно понимается признанный всеми подход (совокупность методов, способов и приемов), который в течение определенного исторического времени дает модель постановки проблем и их решения. Парадигма часто воспринимается как нечто само собой разумеющееся и усваивается благодаря знакомству с образцами, построенными в соответствии с идеалами этой парадигмы [20]. Наиболее распространенная форма воплощения парадигм – это фундаментальная теория, по образцу и подобию которой строятся другие теоретические знания.

Однако следует различать парадигму познания, или гносеологическую парадигму, и методологическую парадигму. В отличие от методологической парадигмы, задающей в той или иной области образцы постановки и решения задач, гносеологическая парадигма – это объективированный и устойчивый подход, используемый для познания окружающего мира [21]. Исторически возникли и получили свое развитие три характерные гносеологические парадигмы, которые условно назовем панпсихизмом, редукционизмом и системологией.

Панпсихизм (витализм, анимизм, гилозоизм и другие) постулирует субъективность мира, который видится одушевленным и имеющим всевозможные личностные центры. Основная цель познания – понимание личностных отношений разнообразных одушевленных центров, осуществляемое в индивидуальном психическом контексте посредством диалога типа «я-ты». Отсюда – объективная необъяснимость мира.

Редукционизм (механицизм, атоцизм, детерминизм и другие) постулирует объективность мира, однако процесс познания основан на таком его понимании, при котором сложные явления (процессы, объекты) могут быть полностью объяснены с помощью явлений (процессов, объектов) более простых. Отсюда – неадекватность картины мира, получаемой в рамках этого подхода.

При системном подходе постулируется всеобщая взаимосвязь явлений, процессов и объектов, выражающаяся в том, что целое уже не равно сумме своих частей. Так как системология является в настоящее время господствующей гносеологической парадигмой

[22] и в ее рамках возникла современная проблематика неформализуемости, рассмотрим более подробно основные положения системного подхода.

## 1.1 Системный подход

Наличие большого числа определений системы (см., например, [23]) вынуждают дать базовые определения системного подхода, которые будут использоваться далее. В отличие от известных определений системы, рассматривающих отдельные аспекты системного видения мира, для определения основных понятий системологии воспользуемся двойным аксиоматическим методом [24], при котором предметной области системного подхода поставим в соответствие две ее модели – теоретико-множественную (строгую), заданную в аксиоматике Цермело-Френкеля [25], и содержательную (нестрогую), сопоставляющую системным понятиям различные содержания сознания.<sup>7</sup>

Для строгой модели будем предполагать, что такие понятия как множество, принадлежность множеству, подмножество, упорядоченное множество, отношение, отображение, функция, переменная и существенная зависимость функции от переменной являются первичными и не требуют пояснений. Будем также предполагать, что интерпретация системных определений в нестрогой модели путем апелляции к высшим психическим функциям очевидна и не вызовет каких-либо трудностей.

Таким образом, реальная (идеальная) система – множество сущностей (элементов), выделенных в объективной (субъективной) действительности и составляющих единое целое, такое, что удаление любого элемента из этого множества приводит к изменению поведения системы.

В свою очередь поведение системы – это взаимосвязь свойств элементов системы, представляемая как множество системных закономерностей, определяющих возможные сочетания значений этих свойств, а свойство элемента – содержание сознания, закономерно возникающее при восприятии (представлении) элемента, мыслимое как некоторое множество допустимых значений этого свойства.

Отсюда системная закономерность – это отношение, связывающее между собой значения свойств некоторого подмножества элементов системы, а системная связь – упорядоченное множество элементов, свойства которых связаны системной закономерностью. Тогда структура системы – это множество системных связей.

---

<sup>7</sup> Известны четыре способа определения понятий: указательный – путем непосредственного указания на объект определяемого понятия, родовидовой – через конкретизацию общего понятия, генетический – путем описания построения (получения) определяемого, и аксиоматический (номинальный) – определение понятия через множество аксиом (постулатов), которые ограничивают область возможных истолкований понятия. Очевидно, что для определения основных понятий системного подхода применим только аксиоматический способ определения, и не применимы указательный, генетический и родовидовой.

Альтернативные определения связи и структуры могут быть даны не на множествах элементов, связываемых системными закономерностями, а на множествах системных свойств, на которых эти закономерности определены. В первом случае имеем элементную структуру системы, или ее архитектуру, во втором случае – поведенческую структуру системы, или просто структуру.

Из приведенных определений имеем, что система состоит из двух и более элементов, а ее поведение представляется как совокупное поведение всех ее элементов. В свою очередь закономерности выражают взаимоотношение (взаимообусловленность) значений свойств и не содержат причинного смысла.

У каждого элемента системы выделяется не менее одного свойства, которое существенным образом входит хотя бы в одну закономерность. Несущественным (фиктивным) называется такое свойство, значения которого не влияют на взаимосвязь других свойств, заданных системными отношениями. Целостное единство системы обеспечивается наличием существенных свойств у всех ее элементов. Последнее приводит к тому, что не может быть ни одного непустого подмножества элементов, не связанного с любым другим их подмножеством. Иными словами каждая система допускает свою декомпозицию (разделение) на множество подсистем. Отсюда также следует, что любая система может рассматриваться как подсистема внешней по отношению к ней системы – надсистемы, или окружающей среды.

Свойства некоторого подмножества элементов для учета влияния окружающей среды предполагаются связанными отношениями со свойствами элементов надсистемы. Если такая связь не учитывается, то система называется закрытой, в противном случае – открытой.

Следует также упомянуть возможность выделения свойств, множества значений которых линейно упорядочены, например, временные и пространственные координаты. В этом случае могут быть введены такие понятия как событие, состояние и движение системы, которые рассматриваются относительно этих свойств.

## **1.2 Каузальные связи**

Для нахождения неизвестных значений свойств элементов системы по известным (найденным, измеренным), отношения, выражающие системные закономерности, представляются как отображения. В этом случае требуется выделение (фиксация, специализация) одних свойств, входящих в область определения отображения, по отношению к другим свойствам, задающим область значений. После такого разделения свойств каждого отношения на два непересекающихся подмножества появляется возможность находить (определять, вычислять) значения одних свойств системы по известной совокупности значений других ее свойств.

Преобразование системных отношений в системные отображения основано на выявлении у системы каузальных (причинных, причинно-следственных) связей. Каузальные связи выражаются через выделение у закономерностей зависимых и независимых свойств, а само множество закономерностей упорядочивается, таким образом, который позволяет перейти от независимых к зависимым свойствам системы путем последовательного вычисления зависимых свойств одних закономерностей и подстановки полученных результатов в качестве значений независимых свойств других закономерностей, и так до тех пор, пока не будут получены искомые зависимые свойства системы в целом. Отсюда, в частности, могут быть получены и системные определения алгоритма (программы), процесса вычислений и элементарных операций, через которые и посредством которых этот алгоритм (программа) выражается.

Таким образом, каузальная связь – это отображение, заданное на выражающем его системном отношении. Организация системы – это упорядоченное множество каузальных связей, позволяющих находить одни значения свойств системы (неизвестные) по другим значениям ее свойств (известным).

Одна и та же система может быть представлена как имеющая множество, в том числе и несовместимых между собой каузальных связей, что приводит к возможности рассматривать одну и ту же систему с точки зрения различных ее организаций. Здесь термин «организация» употребляется в смысле упорядоченности и согласованности взаимодействия элементов системы, в противоположность термину «структура», используемого при описании устойчивых взаимосвязей.

Следует обратить внимание на то, что после определения организации системы могут быть найдены зависимости свойств, где под зависимостью свойства понимается упорядоченное множество свойств, состоящее из тех свойств, от которых это свойство зависит, в том числе и косвенно. Если в зависимости некоторого свойства присутствует само это свойство, то имеем систему с обратной связью.

В заключении заметим, что суть современной синергетики – это отказ от каузальных связей при изучении открытых систем. Действительно, рассмотрение системы как множества системных отношений позволяет исследовать систему в более общем формализме по сравнению с ее представлением как множества системных отображений. Однако отказ от причинно-следственных связей закономерным образом порождает основную проблему синергетики, связанную с предсказанием поведения системы в точках бифуркации и в окрестностях странных аттракторов.

### **1.3 Целенаправленность**

Понятие каузальной связи позволяет ввести понятие управления и рассматривать поведение системы как целенаправленное. Действительно, разделение системных свойств на зависимые и независимые позволяет поставить и решить задачу управления – достижение цели, где цель рассматривается как множество значений зависимых свойств, а управление – как множество значений независимых свойств, на которых зависимые свойства принимают целевые значения.

Таким образом, цель – отношение, заданное на множествах значений зависимых свойств, а управление – отношение, заданное на множествах значений независимых свойств.

Следует обратить внимание на то, что управление во времени (отношение, включающее свойство времени) является частным случаем управления. В общем случае возможно, например, пространственное управление (отношение, включающее пространственные координаты), а также абстрактное управление, рассматриваемое как ограничение на значения независимых свойств, вызывающее соответствующее ограничение значений свойств зависимых.

Отсюда получаем, что целенаправленность системы – это существование цели и управления, соответствующего этой цели. Очевидно, что не для любой цели существует управление, однако для каждого управления может быть найдена цель.

### **1.4 Идентификация**

С системной парадигмой тесно связано понятие идентификации. Обычно под идентификацией понимается процесс порождения нового знания о реальной системе, выраженного в форме модели, описывающей ее поведение [26]. Для уточнения этого определения проинтерпретируем понятие модели в области системного подхода.

Модель – формальная система, задаваемая как неинтерпретированное исчисление (формальная теория), индуктивно порождающее:

- множество допустимых формул из элементарных формул (термов) и правил образования (построения) формул;
- множество доказуемых формул (теорем) посредством определения множества аксиом и правил вывода теорем из аксиом и уже доказанных теорем.

Обычно элементарные формулы интерпретируются как факты, или значения свойств реальной системы, в то время как аксиомы – это закономерности, присущие этой системе, а правила вывода – ее каузальные связи. Знание элементарных формул, аксиом и правил вывода позволяет предсказывать поведение реальной системы путем вывода теорем в формальной системе. В итоге имеем следующее определение.

Идентификация – это процесс установления тождества двух систем – реальной и формальной, причем последняя заменяет реальную систему, воспроизводя ее свойства и поведение.

В отличие от реальной системы, в определении которой доминирует онтологический аспект, формальная система связана с гносеологической стороной системного подхода, где системное знание рассматривается как имеющее такие свойства как наличие исходных оснований, выводимость (определимость), целостность [22]. Следует обратить внимание на принципиальную необходимость и взаимную обусловленность онтологического и гносеологического аспектов в системном подходе.

### **1.5 Интерпретация**

Процесс идентификации реальной системы противоположен процессу интерпретации формальной системы в предметной области, задаваемой реальной системой. В этом случае, и в противоположность идентификации, реальная система становится моделью для формальной системы.

Отличительной особенностью формальных теорий является то, что в последовательность знаков, получаемых в этих теориях, не вкладывается никакого смысла, пока не введена их явная интерпретация. Для устранения трудностей субъективного характера, возникающих при прямой интерпретации формальной системы в идеальные элементы сознания, каждая формальная система – синтаксическая теория, сопровождается семантической теорией, поставляющей первой область содержательной или формальной интерпретации – предметную область.

Но введение интерпретации не относится к зоне ответственности самой синтаксической теории. Для этого требуется привлечение другой, более общей и более мощной теории (метатеории), в которую в качестве фрагмента входит интерпретируемая синтаксическая теория. Только в этом случае, на языке метатеории, становится возможной формулировка свойств синтаксической теории. А любая синтаксическая теория подразумевает наличие некоторой стандартной области интерпретации, или модели, относительно которой делаются все содержательные утверждения этой теории.

По этой причине в приведенных выше определениях системологии устанавливается интерпретация системных терминов в двух семантических областях. В каждом определении прямо или косвенно присутствуют по два выражения одного и того же синтаксического термина (система, элемент, свойство, поведение, закономерность, связь, структура, организация, архитектура, цель, управление) через семантические категории двух ранее выделенных предметных областей: формальной (множество, отношение, отображение) и содержательной (ощущение, восприятие, представление).

В подавляющем большинстве случаев семантические теории выражаются текстами на естественных языках (в нашем случае в качестве содержательной семантической теории выступает рефлексия в области высших психических функций), а синтаксическая теория задает первичную формализацию предметной области (в нашем случае это уточняемые с помощью теории множеств термины системного подхода). Однако в области математического знания все семантические теории имеют полностью формальный характер [27], например, алгебра высказываний является семантической теорией для своей синтаксической теории – исчисления высказываний, алгебра предикатов – для исчисления предикатов (в нашем случае в качестве формальной семантической теории выступает теория множеств).

## 1.6 Моделирование

Исследования в области моделирования находятся под сильным влиянием современной математической логики, которое проявляется в том, что большинство моделей задуманы и построены как алгоритмы. При этом во всяком алгоритме выделяются две составляющие: программу, рассматриваемую как формальную систему и описывающую общее решение проблемы, и процесс вычисления, представляющий собой вывод в этой системе и реализующий решение конкретной прикладной задачи [28].

Общим методологическим основанием данного направления является «компьютерная метафора», которая предполагает, с одной стороны, наличие некоторых фиксированных структурных этапов или уровней переработки данных, а с другой – существование единого формального в своей основе логического метаязыка описания знания (формального языка), аналогичного машинному коду вычислительных устройств [29].

С другой стороны, всякая формальная теория определяется формальным языком, порождающим формулы, имеющие смысл с точки зрения этой теории, и совокупностью теорем, интерпретируемых в некоторой предметной области как выполнимые (имеющие место быть). Правила вывода задают преобразования (отображения, функции), позволяющие получать другие формулы из некоторых исходных. Собственно формальной теорией и называется множество теорем, которое замкнуто относительно правил вывода. Как правило, интерпретация исходных формул известна. Преобразование формул позволяет получить их эквивалент, но имеющий другую (искомую) содержательную интерпретацию.

Таким образом, прикладная ценность любой формальной теории определяется ее способностью моделировать некоторую предметную область. Из задач, которые решаются при использовании формальных теорий, следует обратить внимание на две:

доказательство полноты и непротиворечивости. На содержательном уровне полнота характеризует способность формальной теории описать все встречающиеся на практике ситуации, а непротиворечивость – невозможность путем применения правил вывода получить интерпретацию, не согласующуюся с практикой.

Установлено, что полноту и непротиворечивость невозможно показать внутри самой формальной теории и ее средствами: надо обязательно апеллировать к некоторой специальной области интерпретации – к модели [30]. Доказательство полноты и непротиворечивости возможно только внутри такой модели, выраженной, в свою очередь, на языке семантической теории, которая должна быть более выразительной. В этом случае требуется выразить и доказать (вывести) в этой более общей теории высказывания (теоремы) о полноте и непротиворечивости исследуемой теории. В большинстве случаев такой формальной теорией является логика и ее прикладные расширения.

Однако, описанный выше формальный метод, будучи примененным к социальным и экологическим явлениям, оказался несостоятельным. На практике установлено, что любая теория ограничена своей областью применения и даже в этой области, как правило, неполна, т.е. порождает наряду с отличными предсказаниями и неадекватные результаты. А попытка решить проблему неполноты путем расширения существующей теории почти всегда приводит к противоречивости [31]. Последнее объясняется тем, что каждая сущность предметной области является некоторым явлением, не тождественным любому ее формальному описанию.

## **2 Корпусной подход**

Ход становления и развития естественных языков выработал иной механизм решения проблемы существенной неполноты и противоречивости конечных средств описания предметных областей. Естественный язык, или U-язык, «для каждого конкретного контекста единственный: если бы нам пришлось говорить о нескольких различных U-языках, то все равно мы пользовались бы одним из них и этот язык был бы U-языком... Он не является неизменным, но постоянно находится в процессе развития: время от времени мы можем вводить новые термины и новую символику; точно также мы можем соглашаться использовать старые термины в новом смысле или же отказаться от них вообще» [32].

Как это и наблюдается в естественных языках, по мере изучения любой предметной области видоизменяется и сам язык, предназначенный для выражения результатов познавательной деятельности, причем изменяется таким образом, чтобы обеспечить адекватность языковых средств тем идеальным объектам, которые появляются в сознании как результат отражения объективной действительности. «Принятие или отказ

от абстрактных языковых форм, точно так же, как и принятие или отказ от любых других языковых форм в любой отрасли знания, будет, в конце концов, решаться эффективностью их как инструментов, отношением достигнутых результатов к количеству и сложности требуемых усилий» [33].

Не всегда такие языковые формы являются логически непротиворечивыми. Более того, требовать такую непротиворечивость нельзя в принципе по причине существенной многоаспектности (контекстности, проблемности) семиотического (знакового) выражения знаний. Отсюда, в частности, получаем алогичность и паралогичность естественного языка, являющегося, по своей сути, множеством высказываний взаимно противоречивых теорий.

В свете вышеизложенного формальный метод, предназначенный для построения научной теории, при котором в её основу кладутся некоторые исходные положения (суждения) – аксиомы, из которых все остальные утверждения этой науки – теоремы, должны выводиться чисто логическим путём, посредством доказательств (умозаключений), видится несостоятельным, так как приводит к существенной неполноте, как самой теории, так и знаний, представляемых в этом формализме. По этой причине ряд, состоящий из форм выражения результатов рационального познания, куда традиционно включают «понятие», «суждение», «умозаключение» и «теорию», следует дополнить новой формой, которую условно будем называть корпусом.

Корпус – это множество взаимосвязанных теорий (моделей), описывающие одну и ту же предметную область и предназначенные для всестороннего (полного) представления знаний, которые накоплены относительно этой предметной области в аспекте различных проблемных ситуаций.

При корпусном подходе декларируется многоаспектность (мультисистемность) целого, когда в одной и той же объективной реальности (предметной области) требуется выделять множество взаимоисключающих друг друга систем (строить множество теорий), призванных отразить разные ее стороны в аспекте решения различных проблем. Как и в корпусной лингвистике, где корпус текстов служит эмпирическим описанием естественного языка и состоит из множества непохожих друг на друга текстов, при корпусном подходе необходимо создавать множество взаимодополняющих описаний одной и той же предметной области, которые объясняют замеченное многообразие окружающего нас мира.

Предполагается, что при корпусном подходе становится возможным преодоление тех теоретических и практических проблем, которые связаны с существенной неполнотой и противоречивостью картины мира, даваемой системной парадигмой [34].

## 2.1 Корпус теорий

Как показано ранее, невозможность полной и непротиворечивой семиотической репрезентации достаточно сложных явлений является установленным фактом. Этот факт лежит в основе утверждения о необходимости создания в рамках корпусного подхода множества специализированных предметных языков (проблемных языков, формальных теорий) для адекватного описания одной и той же предметной области. Только при корпусном подходе, когда число языков, применяемых для описания заданной предметной области, ничем не ограничено, появляется возможность рассматривать все их комбинации как некоторое интегральное языковое средство (квазиестественный язык), с помощью которого в пределе возможно полное описание этой предметной области.<sup>8</sup>

Основное положение предлагаемого подхода – не расширять одну теорию для более полного описания некоторого явления, а использовать одновременно несколько теорий узкой направленности (частных теорий), каждой из которых достаточно, чтобы получить точные результаты, но по частным задачам моделирования. При таком подходе возникают следующие вопросы. Как объединять частные теории? Как доказать полноту и непротиворечивость того, что получится в результате объединения?

Во-первых, если пытаться объединить частные теории в одну более общую на тех же принципах, на которых строятся сами эти теории, то в результате такого объединения получится еще одна формальная теория. Следовательно, искомая форма объединения частных теорий не может быть формальной теорией. В противном случае получаем все те проблемы, которые свойственны формальному подходу.

Во-вторых, не будем требовать взаимной непротиворечивости частных формальных теорий. Более того, будем предполагать, что такие частные формальные теории могут быть противоречивы по определению. Только в этом случае появляется возможность преодолеть проблему неформализуемости сложных предметных областей.

В-третьих – полноту описания предметной области обеспечим привлечением достаточно числа частных формальных теорий. Если окажется, что предметная область описана не полно, введем в рассмотрение новые частные теории, которых окажется достаточно для ее полного описания в рамках решаемого спектра задач. Так как любая предметная область идеальная по своей сути и не может быть описана полностью любым числом формальных теорий, будем предполагать, что и объединение частных теорий полнотой не обладает и обладать не может.

---

<sup>8</sup> Под квазиестественным языком понимается язык, принимающий естественную форму, но имеющий искусственную сущность [33].

В итоге имеем, что результат объединения частных формальных теорий формальной теорией не является, так как строиться не как формальная теория и не обладает такими фундаментальными ее свойствами как полнота и непротиворечивость. Назовем такое объединение корпусом, где корпус – это множество формальных теорий (моделей), описывающих одну и ту же предметную область и предназначенное для всестороннего представления формализуемых знаний в аспекте различных проблемных ситуаций.

Таким образом, основной проблемой описываемого подхода является создание, исследование и использование средств, позволяющих строить корпус формальных моделей, понимаемых как цельная совокупность взаимодополняющих описаний одной и той же предметной области в различных формальных теориях.

## **2.2 Корпусной анализ**

Любая методология анализа предметной области должна определять приемы выявления значимых сущностей, методы формализации знаний и формы документирования результатов. Основной особенностью корпусного анализа, следующей из необходимости создания множества формальных теорий (формальных языков), является его мультипроблемный характер.

При корпусном анализе для каждой проблематики будем выявлять сущности предметной области, соотносимые с некоторыми понятиями (терминами) создаваемой для этой проблематики формальной теории, формализацию знаний в заданной проблематике осуществим путем описания на созданном формальном языке способов выражения и интерпретации понятий, а в качестве высокоуровневой формы документирования результатов анализа будем использовать понятийную структуру, в которой зададим методы абстрагирования, способы выражения и средства интерпретации используемых понятий. Подробно методика мультипроблемного (корпусного) анализа описана в работах [36, 37]. Здесь же остановимся на рассмотрении методологических основ корпусного подхода.

Любая предметная область может быть рассмотрена под углом зрения множества различных проблематик, где под проблематикой понимается всевозможные критерии (целевая установка, класс решаемых задач, различного рода ограничения, предпочтения и условия), позволяющие при анализе предметной области разделять накопленные субъективные или объективированные знания на существенные и несущественные. Предполагается, что каждая проблематика выделяет в предметной области некоторый непротиворечивый фрагмент знаний, который может быть формализован средствами некоторой теории. Такой фрагмент знаний предметной области будем называть проблемной областью.

С учетом вышеизложенного следует также предположить, что две различные проблемные области могут быть взаимно противоречивыми, так как выделяют в предметной области знания, порожденные различными субъектами и их целевыми установками. В этом случае противоречия могут возникать как по причине различной целенаправленности моделируемых объектов, так и из-за различных семантик понятий (смыслов, включаемых в термины формальных теорий), используемых для их описания.

Неизбежный недостаток логического подхода состоит в том, что в нем внутреннее содержание и строение понятия обсуждается на языке свойств сущностей, при полном замалчивании вопроса о том, что именно позволяет субъекту мышления выделять в сущности ее отличительные признаки. Второй недостаток логического подхода состоит в том, что понятие рассматривается в форме законченного знания о предмете при полной невозможности описания понятия как еще не завершенного акта мышления.

Причины неудач, видимо, кроются в том, что понятие является не просто статической репрезентацией реальности, а сложно устроенным когнитивным феноменом, позволяющим изменять (перестраивать) свои собственные репрезентации в зависимости от познавательных целей субъекта [41].

Традиционно понятие как начальная форма фиксации результатов рационального познания (вид мысли) выражается в виде слова, а суждения понимаются в узком смысле и рассматриваются как предложения, выражающие понятие (логической) истины. Иными словами суждение – это взаимосвязь понятий-слов, которая имеет место быть или не быть (выражает одну из сущностей понятия истины). Умозаключение, в свою очередь, выражается последовательностью предложений-суждений, которая построена по определенным правилам. В умозаключении различают суждения-посылки и суждение-следствие. Правила построения умозаключений определяются соответствующей теорией и обеспечивают истинность (верность, состоятельность, убедительность) следствия при истинности (верности, состоятельности, убедительности) посылок. В свою очередь теория служит для определения правил построения умозаключений, которые сохраняют истинность (верность, состоятельность, убедительность) всех выводимых в ней умозаключений.

В рассматриваемом нами подходе формы выражения результатов рационального познания трактуются несколько шире. Основное отличие в том, что понятие представляется знаком (словом), который предполагается не имеющим своего единственного (однозначного) определения. В этом случае множество суждений интерпретируется как определение и, одновременно, как способ выражения соответствующего понятия-знака через другие понятия, также задаваемые одним из

способов своего выражения. Иными словами, суждения – форма выражения произвольных понятий, а не только понятия (логической) истины. В свою очередь умозаключение – это последовательность суждений, не выражающая никакого понятия, или выражающая «пустое» понятие. Правила выражения «пустого» понятия задаются соответствующей (формальной) теорией, которая определяет разрешенные способы соединения понятий, представленных в одной из форм своего выражения – понятиями-суждениями, для получения допустимых (содержательных, интерпретируемых) описаний предметной области в виде некоторого множества умозаключений.

Содержательная схема понятия, которая в этом случае работает, приведена на рисунке 1 [42] и состоит из верхнего треугольника, объясняющего интерпретацию одного и того же понятия в различных проблемных областях, и нижнего треугольника, определяющего варианты его семиотического (знакового) выражения. Вершины Имя-Сущность являются крайними полюсами в процессе выявления значимых сущностей в проблемной области, причем форма этого выявления (Синтаксис) полностью определяется активной Проблематикой. В другой паре Прагматика-Догматика, Прагматика, как полюс, соответствующий Имени, характеризуется тем, что определяет смысл (Семантику) Понятия наиболее конкретно, а Догматика как полюс, соответствующий Сущности, выражает общий его смысл. Вершины Прагматика-Догматика являются крайними полюсами в процессе интерпретации понятия в различных проблемных областях, причем смысл (Семантика) Понятия выявляется как вся совокупность таких интерпретаций.

С учетом вышеизложенного для формального описания понятия будем использовать более сложную модель, чем это делалось ранее. Понятия будем именовать, и задавать схемой, интенционалом и экстенционалом для каждой используемой проблематики.

Имя, или знаковое представление понятия, будем рассматривать как языковую единицу, отражающую некоторый смысл – в семантическом плане, и множество некоторых сущностей – в плане синтаксическом, где под сущностью понимается устойчивое и уникальное представление о выделенной части проблемной области.

Схему понятия зададим набором признаков, на которых понятие определено в проблемной области, где признак – именованная сущность, характеризующаяся множеством своих проявлений (значений) и имеющая конкретную проблемную интерпретацию (семантическую роль). Признаки, по своей сути, являются элементарными понятиями, с точностью до которых производится описание проблемной области. Таким образом, понятие внутри проблемной области может быть определено как именованное множество

других понятий, имеющих подсхему, принадлежащую схеме образуемого понятия.

Выделение признаков в предметной области осуществляется под углом зрения той проблематики, которая зафиксирована проблемной областью. Иными словами, одно и то же понятие, будучи использовано для решения различных проблем, может характеризоваться различными признаками.

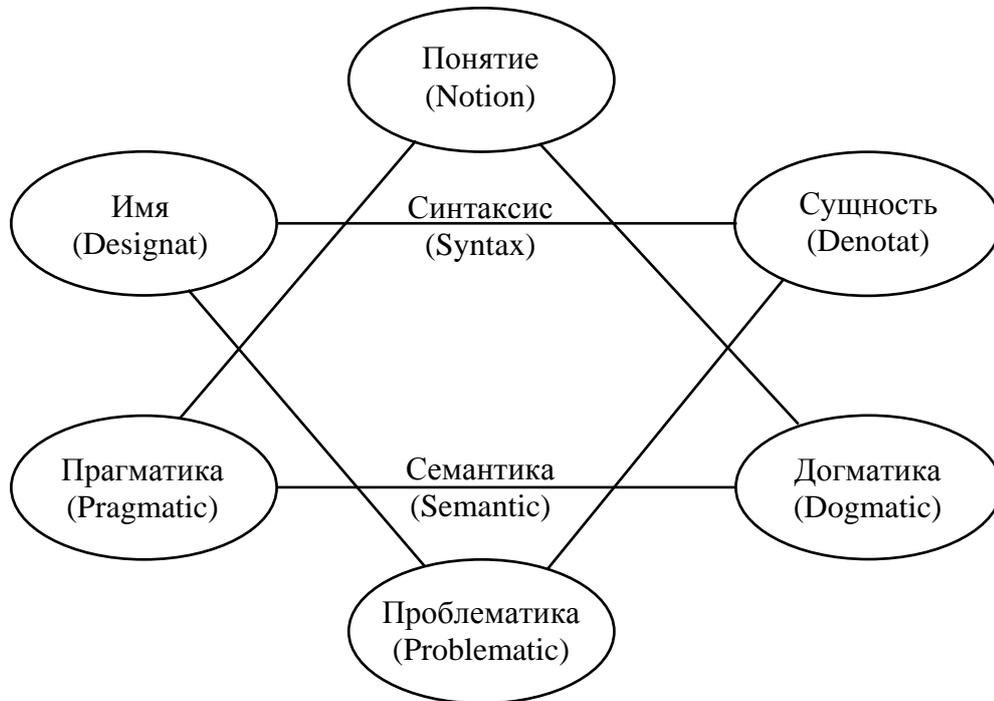


Рисунок 1. Интерпретация понятия

Интенционал, или содержание понятия в некоторой проблемной области, представим набором значений взаимосвязанных признаков, позволяющим отличать сущности, принадлежащие понятию, от других сущностей этой проблемной области. Тем самым интенционал понятия непосредственно задает тот смысл, который вкладывается в это понятие в заданной проблемной области.

Экстенционал, или объем понятия, будем задавать множеством сущностей проблемной области, принадлежащих понятию.

В итоге имеем следующее определение. Формальным понятием  $N$  называется открытое (пополняемое) множество троек (концептов)  $N^i$  вида

$$N^i = \begin{cases} \text{shm } N^i = (P_1^i, P_1^i, \dots, P_{n^i}^i); \\ \text{int } N^i = \{(V_{1,j}^i, V_{2,j}^i, \dots, V_{n^i,j}^i) \mid j = \overline{1, m^i}\}; \\ \text{ext } N^i = \{E_1^i, E_2^i, \dots, E_{n^i}^i\}, \end{cases} \quad (1)$$

состоящих из схемы  $\text{shm}$ , интенционала  $\text{int}$  и экстенционала  $\text{ext}$  понятия с именем  $N$  в

проблемной области  $i$ ,  $i \in \{1, 2, \dots\}$ , где  $P_t^i$  ( $t = \overline{1, n^i}$ ) – понятия-признаки понятия  $N$  в проблемной области  $i$ ,  $(V_{1,j}^i, V_{2,j}^i, \dots, V_{n^i,j}^i)$  ( $j = \overline{1, m^i}$ ) – наборы (упорядоченные множества с повторением элементов) понятий-значений  $V_{t,j}^i$  ( $t = \overline{1, n^i}$ ,  $j = \overline{1, m^i}$ ) из экстенсионалов понятий-признаков  $P_t^i$ , составляющие интенционал определяемого понятия  $N$  в проблемной области  $i$ ,  $E_t^i$  ( $t = \overline{1, u^i}$ ) – понятия-сущности, принадлежащие понятию  $N$  в проблемной области  $i$ .

Понятие-значение  $V$  – это элементарное понятие, образованное путем простого именованя некоторой сущности проблемной области,

$$V = \begin{cases} \text{shm} V = (V); \\ \text{int} V = \{(V)\}; \\ \text{ext} V = \{V\}. \end{cases} \quad (2)$$

Понятие-признак – простое понятие, образованное в некоторой проблемной области путем типизации понятий-значений (определение типизации будет дано далее),

$$P = \begin{cases} \text{shm} P = (P); \\ \text{int} P = \{(V_j) \mid j = \overline{1, m}\}; \\ \text{ext} P = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда понятие в обще виде (1) – это составное понятие, образованное в некоторой проблемной области путем ассоциации понятий-признаков (определение ассоциации также будет дано далее).

Таким образом, понятие обладает фрактальностью: для его определения (1) используются понятия-значения, рассматриваемые как элементарные понятия (2), и понятия-признаки, являющиеся простыми понятиями (3), причем разделение понятий на понятия-значения, понятия-признаки и составные понятия порождается активной проблематикой.

### 2.3 Понятийная структура

Основной формой документирования результатов понятийного анализа проблемной области является ее понятийная структура. Для выражения понятийной структуры используется абстрактная алгебра, заданная множеством понятий проблемной области, на котором определены четыре абстракции: обобщение, типизация, агрегация и ассоциация.

При обобщении происходит порождение нового понятия на основе одного или нескольких подобных понятий, когда порождаемое понятие сохраняет общие признаки исходных понятий, но игнорирует их различия. Обобщение – порождение понятия на основе пересечения схем обобщаемых понятий и расширенного объединения их экстенсионалов. При специализации, наоборот, из понятия-обобщения выделяется одно из обобщенных в нем понятий.

Типизация является частным случаем обобщения. В отличие от обобщения при типизации имеется возможность для каждой сущности из экстенционала понятия-типа узнать ее исходное понятие. Для этого используется множество признаков, называемое ключом. Таким образом, типизация – порождение понятия на основе пересечения признаков типизируемых понятий и объединения их экстенсионалов. При конкретизации понятия-типа фиксируется одно из типизированных в нем понятий, для чего необходим ключ.

При ассоциации устанавливается взаимосвязь между сущностями одного и того же или разных понятий. Ассоциация выражает специфическое соединение сущностей. Это соединение позволяет от сущности одного понятия перейти к одной или нескольким сущностям других понятий. Ассоциация – порождение понятия на основе объединения признаков ассоциируемых понятий и ограниченного декартового произведения их экстенсионалов. При индивидуализации из понятия-ассоциации выделяются ассоциированные в нем понятия. Для перехода между сущностями этих понятий используется набор признаков, называемый связью.

При агрегации понятие строится как совокупность других понятий. Процесс, противоположный агрегации называется декомпозицией. Агрегация – порождение понятия на основе объединения признаков агрегируемых понятий и декартового произведения их экстенсионалов. При декомпозиции понятие-агрегат разделяется на входящие в него агрегированные понятия.

Агрегация является предельным случаем ассоциации. В отличие от ассоциации, где между сущностями устанавливаются только часть связей, при агрегации присутствуют все возможные связи: на одном и том же множестве понятий можно задать несколько ассоциаций, в то время как их агрегация единственна.

В примере на рисунке 2 приведена одна из возможных понятийных структур предметной области «Числа», полученная для проблематики, связанной с реализацией чисел на вычислительных средствах с командным управлением.

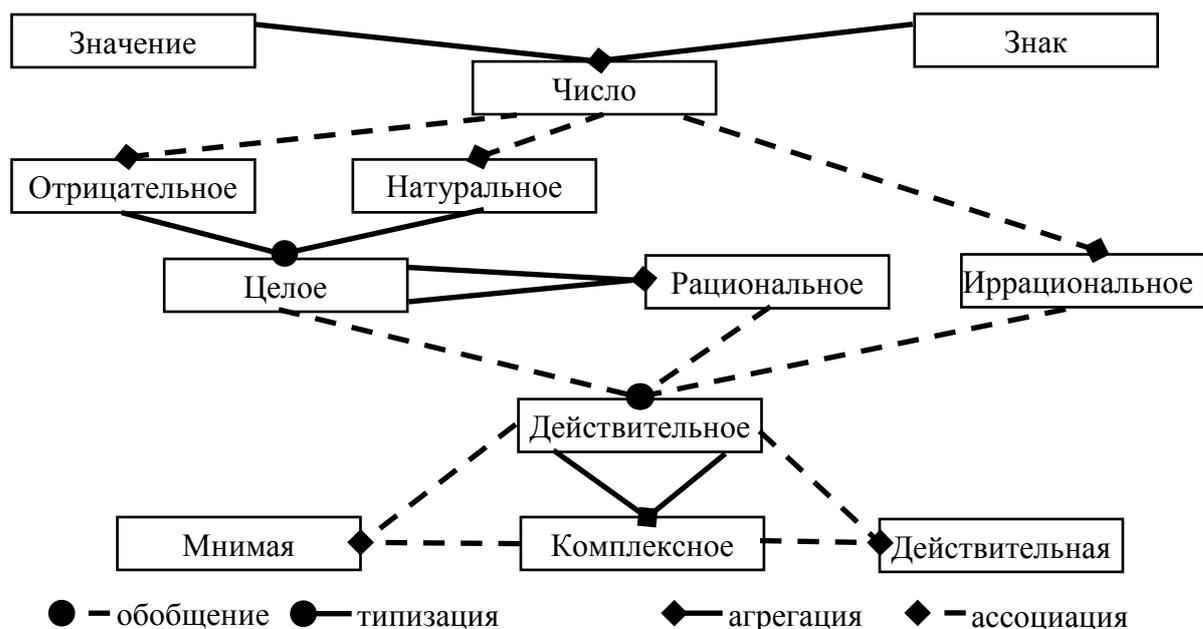


Рисунок 2. Пример понятийной структуры

Из понятийной структуры на рисунке 2 видно, что простыми (первичными) являются только понятия «Знак» и «Значение». Остальные понятия – составные и образованы на основе абстрагирования. Понятие «Число» полностью характеризуется первичными понятиями и является их агрегацией. С «Натуральным», «Отрицательным» и «Иррациональным» ассоциируется понятие «Число», которое в каждом случае ограничивается особым образом. «Целое» является типизацией «Натурального» и «Отрицательного» с ключом, равным «Знаку». «Рациональное» агрегирует два «Целых», а «Действительное» определено как обобщение «Целого», «Рационального» и «Иррационального». В свою очередь «Комплексное» – агрегация двух «Действительных», а «Действительная» и «Мнимая» части заданы как ассоциации «Комплексного» и «Действительного» со связью, задаваемой первым или вторым «Действительным» понятия «Комплексное».

## 2.4 Проблемные языки

Понятия, выявленные в процессе анализа проблемной области, условно делятся на две группы: терминальные, или сигнификативные, выражаемые последовательностью знаков терминального алфавита искомого проблемного языка, и нетерминальные, или денотационные, соответствующие нетерминальным знаками формальной грамматики этого языка. Разделение понятий на денотационные и сигнификативные осуществляется с учетом заданной проблематики, вытекающей из класса решаемых задач, для которых определяется проблемный язык.

Например, для понятийной структуры на рисунке 2 сущности проблемной

области разделены на две группы: базовые сущности, имеющие преимущественно денотационную форму выражения, и вспомогательные, для которой достаточно сигнификативной формы. С учетом рассматриваемой проблематики к базовым (денотационным) сущностям отнесены сами числа, а к вспомогательным (сигнификативным) – операции над ними. Заметим, что для других проблематик такая хорошо изученная предметная область как «Числа» может быть представлена другими понятийными структурами. Например, для архитектуры, реализующей концепцию управления по данным, разделение сущностей на сигнификативные и денотационные будет другим. Операции над данными в этом случае объявляются денотационными сущностями, а типы данных – сигнификативными.

Для каждого понятия проблемной области задается его синтаксис и семантика. Синтаксис понятия описывается в виде одной или нескольких форм его выражения, а семантика – как одна или множество именованных прагматик, определяющих интерпретации каждой формы выражения понятия, задаваемых синтаксисом. Имя прагматики определяет аспект, в рамках которого интерпретируется каждая форма выражения понятий.

Для описания семантики используется метод семантической индукции, заключающийся в использовании семантических категорий, которые определяются по мере необходимости, в процессе описания синтаксиса формального языка и средствами этого языка [43].

Таким образом, объединение частных формальных теорий в единый корпус осуществляется на основе использования возможных (альтернативных, различных) выражений одного и того же понятия и задания его семантики в виде одной или нескольких прагматик.

## **2.5 Демонстрационный пример**

Как показано ранее идентификация сложных социальных и экологических явлений может быть осуществлена только в рамках корпусного подхода. Для этого построится корпус теорий, состоящий из множества простых теорий, каждая из которых описывает некоторый непротиворечивый фрагмент знания о предметной области. Учитывая высокую сложность и большой объем реальных корпусов для описания социальных и экологических явлений ограничимся рассмотрением двух элементарных теорий, которые объединим в корпус.

Для этого рассмотрим реализацию синтаксически-управляемого перевода на два языка – на язык интерпретатора, выполняющего вычисление выражений, и на язык дифференциатора, выполняющего дифференцирование выражений. Процесс перевода

опишем проблемными языками `cal` (проблемная область вычисления выражений) и `dif` (проблемная область дифференцирования выражений). В каждой проблемной области определим синтаксис и семантику одного и того же понятия `Expression` (выражение). Семантику понятия `Expression` в проблемной области `cal`, связанной с вычислением выражений, реализуем путем вызова функций некоторого интерпретатора. Семантику понятия `Expression` в проблемной области `dif` опишем путем прямого формального дифференцирования выражений.

```

1  () String ()
2      "' .*'"
3      { /* создание строки из знаков между апострофами */ }
4      String `a` '&' String `b`
5      { /* конкатенация строк a и b */ }
6      Number
7      { /* преобразование числа в строку */ }
6  () Number ()
7      "[0-9]+" `a`
8      { /* преобразование цифр a в число */ }
9      'neg(' Number `a` ')'
10     { /* изменение знака числа a */ }
11     'div(' Number `a` ',' Number `b` ')'
12     { /* деление чисел a и b */ }
13     'mul(' Number `a` Number `b` ')'
14     { /* умножение чисел a и b */ }
15     'add(' Number `a` ',' Number `b` ')'
16     { /* сложение чисел a и b */ }
17     'sub(' Number `a` ',' Number `b` ')'
18     { add(a, neg(b)) }
19  cal ( Number ) Expression ()
20     Number `n`
21     { n }
22     '(' Expression ')' `e`
23     { cal { e } }
24     '-' Expression `e`
25     { neg( cal { e } ) }
26     Expression `e1` '/' Expression `e2`
27     { div( cal { e1 }, cal { e2 } ) }
28     Expression `e1` '*' Expression `e2`
29     { mul( cal { e1 }, cal { e2 } ) }
30     Expression `e1` '+' Expression `e2`

```

```

31          { add( cal { e1 }, add cal { e2 } ) }
32      Expression `e1` '-' Expression `e2`
33          { sub( cal { e1 }, cal { e2 } ) }
34      dif (Number) Expression ( String )
35          Number
36          { '0' }
37      'x'
38          { '1' }
39      '(' Expression ')' `e`
40          { '(' & dif { e } & ')' }
41      '-' Expression `e`
42          { '-' & dif { e } }
43      Expression `e1` '/' Expression `e2`
44          { '(' & e1 & '*' & dif { e2 } & '-' & dif { e1 } & '*' & e2 & ') / ( '(' & e2 '*' & e2 & ')' }
45      Expression `e1` '*' Expression `e2`
46          { '(' & e1 & '*' & dif { e2 } & '+' & dif { e1 } & '*' & e2 & ')' }
47      Expression `e1` "+ | -" `o` Expression `e2`
48          { '(' & dif { e1 } & o & dif { e2 } & ')' }

```

Основной интерпретатор (вычислительный механизм), используемый в примере выше, описан понятиями `String` (строка 1) и `Number` (строка 6) в проблемной области, не имеющей имени (имя проблемной области задается перед описанием понятия). В свою очередь понятие `Expression` имеет два описания: в проблемной области `cal` (строка 19) и в проблемной области `dif` (строка 34). В проблемной области `cal` понятие `Expression` определено как обобщение понятий `Number` (задано в круглых скобках перед именем понятия), а в проблемной области `dif` – являющееся обобщением от `Number` и агрегирующее понятие `String` (задано в круглых скобках после имени понятия).

Понятие `String` выражается двумя предложениями (строки 2 и 4). Первое предложение (строка 2) служит для создания сущности понятия `String`. Синтаксис этой формы выражения понятия задан в виде одного элемента – шаблона на языке регулярных выражений [44] (заключен в двойные кавычки), который интерпретируется так: любая последовательность знаков, заключенная в апострофы является строкой. Семантика этого предложения описана в фигурных скобках (строка 3) и для наглядности приведена на естественном языке. В случае необходимости, вместо слов естественного языка могут быть использованы слова, выражающие понятия (операторы) некоторой системы программирования, создающей строку в памяти вычислительной машины.

Второе предложение (строка 4) задает синтаксис и семантику второй формы выражения понятия `String` на основе конкатенации двух строк. Для распознавания этой

формы в анализируемом тексте должны встретиться две сущности понятия String, разделенные терминальным знаком & (терминальные знаки заключены в апострофы). Семантика этого предложения (строка 5) также описана на естественном языке, но может быть представлена и виде операторов некоторого языка программирования, создающего новую строку путем соединения строк a и b (в обратных апострофах задаются ссылочные имена сущностей понятий из области синтаксиса предложения).

В свою очередь понятие Number выражается шестью предложениями. Первое предложение (строка 7) служит для создания в памяти интерпретатора сущности понятия Number из последовательности цифр. Остальные предложения задают синтаксис и семантику основных операций над числами.

Аналогично описан синтаксис и семантика понятия Expression в двух проблемных областях. Прагматика первой проблемной области задается в фигурных скобках с именем cal, а прагматика второй проблемной области – в фигурных скобках с именем dif. Первая прагматика указывает на то, что выражение вычисляется, а вторая – что выражение дифференцируется. Формальная производная некоторой строки s – это  $\text{dif}\{s\}$ , а ее вычисление –  $\text{cal}\{s\}$ . В отличие от понятий String и Number, семантика которого описана на естественном языке (или на языке программирования), семантика понятия Expression задана методом математической индукции путем использования форм выражения и способов интерпретации понятий String и Number.

Тогда текст вида  $\text{dif}\{5*x-x*x\}$ , включающий выражение, которое необходимо продифференцировать, будет переведен как  $(5+2*x)$ , а  $\text{cal}\{5*3-3*3\}$  приведет к вычислению этого выражения. Следует обратить внимание на имеющее место взаимную противоречивость теорий cal и dif относительно понятия Expression. Это выражается в том, что например, выражение предметной области понятия Expression вида  $5*x-x*x$  одновременно описано как принадлежащее понятию Expression (в проблемной области dif), так и ему не принадлежащее (в предметной области cal). Конечно, можно расширить теорию cal, введя в состав понятия Expression выражения с переменными. Однако это, в общем случае, проблему противоречивости не решает, так как существуют вычисляемые, но не дифференцируемые функции [45, с. 81]. Причина возникающих противоречий в том, что сущности понятия Expression в проблемной области cal – это числа, выраженные вычисляемыми функциями, а в проблемной области dif – строковые выражения дифференцируемых функций, которые по определению равными быть не могут.

### 3 Корпус моделей

Корпусная модель строится как множество формальных языков, предназначенных для многоаспектного выражения понятий предметной области, и описания на их основе

объективированных знаний. Объединение полученных при корпусном (мультипроблемном) анализе некоторой предметной области понятийных структур, способов выражения и интерпретации понятий будем рассматривать как ее корпусную модель. В отличие от других известных формализмов при корпусном (многоаспектном) моделировании появляется возможность выразить накопленные знания относительно предметной области в наиболее естественной форме и с разных позиций. Более того, в самом описании предметной области становится возможным использование множества прагматик при интерпретации одного и того же фрагмента модели. Это, в конечном итоге, позволяет получить и использовать формальное средство, необходимое для выражения целенаправленности социального явления в целом через целенаправленность его объектов на качественно новом уровне, не предполагающем такого сильного свойства используемого формального аппарата как его непротиворечивость.

### **3.1 Корпусная онтология**

Корпусное моделирование предметной области состоит из следующих этапов:

- фиксация предметной области и множества проблематик в ней;
- понятийный анализ каждой проблемной области и определение ее понятийной структуры;
- определение проблемного языка для каждой проблемной области путем создания соответствующей формальной теории;
- ситуационное описание предметной области в виде совокупности имеющих место фактов и решения стоящих прикладных задач на созданном квазиестественном языке, являющемся объединением определенных ранее проблемных языков.

При корпусном моделировании для каждой активной проблематики выполняется понятийный анализ выделяемой этой проблематикой проблемной области и находится ее понятийная структура. Получившиеся в результате корпусного анализа понятийные структуры объединяются и образуют онтологию предметной области нового типа – корпусную онтологию, позволяющую описать противоречивые области объективированных знаний.

Отсюда, в частности, следует факт, известных из области инженерии знаний: для достаточно сложных предметных областей единое онтологическое описание предметной области построено быть не может [46]. Как показано выше такое описание существует только для проблемной области, являющейся некоторой непротиворечивой выдержкой из рассматриваемой предметной области.

В приведенном ранее демонстрационном примере корпусная онтология тривиальна и состоит из трех понятий и двух понятийных структур. Следует обратить

внимание на то, что при описании абстрагирования понятий в круглых скобках могут быть заданы списки обобщаемых-типизируемых понятий (перед именем понятия) и ассоциируемых-агрегируемых понятий (после имени понятия). Задание способов абстрагирования позволяет в рамках всей корпусной онтологии использовать формы выражения обобщаемых-типизируемых понятий для выражения и сущностей определяемого понятия, а формы выражения ассоциируемых-агрегируемых понятий – для конструирования сущностей определяемого понятия как состоящих из сущностей ассоциируемых-агрегируемых понятий.

### **3.2 Квазиестественный язык**

Суть корпусного моделирования заключается в том, что для каждой проблематики создается своя, присущая только этой проблематике формальная теория. Далее проблемные формальные теории объединяются, и получается итоговый корпус теорий, на языке которого становится возможным мультипроблемное описание предметной области и решаемых на ней задач.

Таким образом, каждая проблематика порождает свой проблемный язык, призванный в удобной и естественной форме выразить проблемные знания. После описания синтаксиса и семантики всех проблемных языков и последующего их объединения получается язык нового типа – квазиестественный язык, на котором и осуществляется описание, возможно противоречивое, решения стоящих прикладных задач.

При корпусном моделировании формула формальной теории (выражение на проблемном языке) называется противоречивой, если в ней описана сущность, выраженная как принадлежащая, так и как не принадлежащая экстенсионалу одного и того же понятия. В рамках одного проблемного языка такое признается недопустимым. Однако, из-за того, что каждый проблемный язык предназначен для описания одной и той же предметной области, но структурированной по-другому, возможно появление выражений на разных проблемных языках, которые формально взаимно противоречивы.

### **3.3 Ситуационное описание**

Решение общей задачи корпусного моделирования задается в виде ситуационного описания – совокупности имеющих место фактов (суждений) и решения (свойства решения) стоящей прикладной задачи в форме допустимых для созданного квазиестественного языка выражений (умозаключений). При описании решения используется многоаспектное выражение накопленных относительно каждой проблемной области знаний.

Присутствующая в ситуационном описании потенциальна противоречивость, требует некоторых пояснений, связанных с интерпретацией такого описания. На рисунке 3 показана взаимосвязь предметной и проблемных областей, корпуса теорий и корпуса моделей с интерпретатором, реализующим многоаспектное моделирование заданной предметной области.

Так как любое ситуационное описание подлежит интерпретации некоторым моделирующим (исполнительным) устройством, то наличие формальных противоречий в различных моделях корпуса не приводит к каким-либо особенностям его функционирования, не свойственным самой моделируемой реальности. Последнее связано с тем, что понятие истинности присуще не объективной действительности как таковой, оно выражает не более чем одно из возможных свойств высказываний о ней [47].

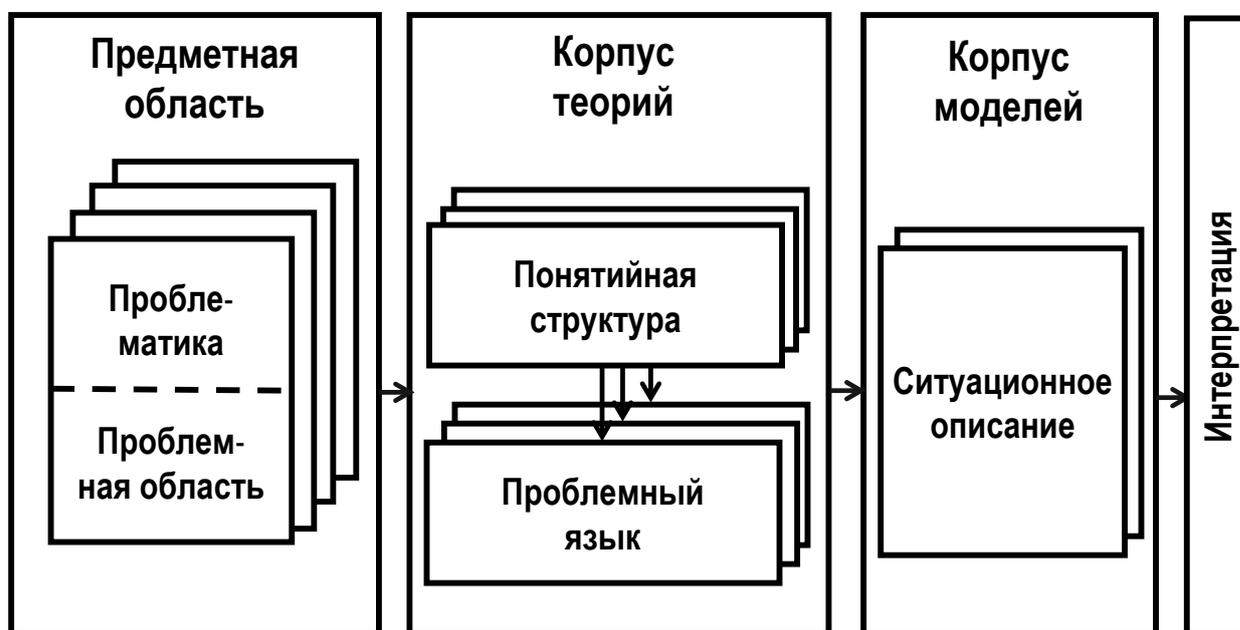


Рисунок 3. Интерпретация корпуса моделей

## Заключение

В отличие от известных методов идентификации социальных и экологических явлений, где стараются избегать множественности онтологических допущений и мультипроблемных форм выражения прикладных знаний, разработанный подход позволяет ввести и использовать выразительные средства, базирующиеся на формальном аппарате, отражающем наиболее устойчивые механизмы рационального осмысления действительности. В используемой для этого технологии строятся многоаспектные формализованные описания предметной области в виде текста, написанного не на одном, а сразу на нескольких проблемных языках, что необходимо для учета существенной мультипроблемности предметных знаний.

В результате приближения методов формализации прикладных знаний к постановке и решению стоящих прикладных задач следует ожидать повышение выразительности, качества и эффективности формального моделирования социальных и экологических явлений.

## Список литературы

1. *Акофф Р.Л.* Акофф о менеджменте. СПб: Питер, 2002.
2. *Новиков Д.А., Петраков С.Н.* Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999.
3. *Арунянц Г.Г., Рутковский А.Л.* Проблемы решения многокритериальных задач оптимального управления // В мире научных открытий. 2010, № 4. Режим доступа: <http://bief.ru/wp-content/uploads/2010/04/16.pdf> (проверено 06.03.2013).
4. *Shoham Y., Leyton-Brown K.* Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
5. *Хакен Г.* Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.
6. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979.
7. *Малинецкий Г.Г.* Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
8. *Гейтинг А.* Интуиционизм. М.: Мир, 1965.
9. *Павлов К.А.* О замысле и исторических трансформациях понятия «логика» // Вестник томского государственного университета. Сер. Философия. Социология. Политология. 2009. № 4(8). С. 38-51.
10. *Поспелов Д.А.* Где исчезают виртуальные миры? // Новости искусственного интеллекта. 2003. № 3. С. 9-25.
11. *Васильев Н.А.* Воображаемая логика. Избранные труды. М.: Наука. 1989.
12. *Марков А.А.* Избранные труды. Т. II. Теория алгоритмов и конструктивная математика, математическая логика, информатика и смежные вопросы. М.: Изд-во МЦНМО, 2003.
13. *Непейвода Н.Н.* Конструктивная математика: обзор достижений, недостатков и уроков // Логические исследования. 2011. Вып. 17, С. 191–239.
14. *Расёва Е., Сикорский Р.* Математика метаматематики. М.: Наука, 1972.
15. *Белякин Н.В., Жевлакова Е.К.* Операция диагонализации в вопросно-ответных системах // Вычислительные системы. 1976. № 67. С. 113-126.
16. *Непейвода Н.Н.* Первые шаги к теории неформализуемых понятий: автопродуктивные системы теорий // Логические исследования. Вып. 1. М.: Наука, 1993. С. 34-45.
17. *Непейвода Н.Н.* О формализации неформализуемых понятий // Семиотика и информатика. Вып. 25. 1985. С. 46-93.
18. *Гильберт Д., Бернайс П.* Основания математики. Логические исчисления и формализация арифметики. М.: Наука, 1979.
19. *Карпенко А.С.* Предмет логики в свете основных тенденций ее развития // Логические исследования. 2004. Вып. 11. С. 5.
20. *Ивин А.А.* Современная философия науки. М.: Высш. шк., 2005.
21. *Борчиков С.А.* Методологическое значение понятия парадигмы познания / Размышления о... Философский альманах. Вып. 1. М.: Диалог-МГУ, 1998.
22. *Агошкова Е.Б., Ахлибининский Б.В.* Эволюция понятия системы // Вопросы философии. 1998. № 7. С. 170-179.
23. *Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ / Садовский В.Н.;*

- Отв. ред.: Уемов А.И. М.: Наука, 1974.
24. *Выхованец В.С.* Некоторые определения из области системного подхода / Тр. Межд. научно-практ. конф. «Теория активных систем». М.: Институт проблем управления, 2009. С. 68-71.
  25. *Куратовский К., Мостовой А.* Теория множеств. М.: Мир, 1970.
  26. *Гинсберг К.С.* Идентификационный подход: понятия и основные результаты // Тр. VIII Межд. конф. «Идентификация систем и задачи управления». М.: Институт проблем управления, 2009. С. 191-225.
  27. *Эдельман С.Л.* Математическая логика. М.: Наука, 1975.
  28. *Kowalski R A.* Algorithm = Logic + Control // SACM. 1979. Vol. 22, No 7. P.424–436.
  29. *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания. В 2-х томах. М.: Академия, 2006.
  30. *Кейслер Г., Чен Ч.* Теория моделей. М.: Мир, 1977.
  31. *Непейвода Н.Н.* Неформализуемость как логическая характеристика жизни // Online journal 'Logical Studies'. 1999. № 3.
  32. *Карри Х. Б.* Основания математической логики. – М.: Мир, 1969.
  33. *Карнап Р.* Значение и необходимость. М.: Мир, 1959.
  34. *Выхованец В.С.* О существенной неполноте формального метода // Сборник трудов международной междисциплинарной научной конференции «Философия, математика, лингвистика: аспекты взаимодействия». СПб.: Международный институт им. Эйлера, 2009. С. 56-72.
  35. *Непейвода Н.Н.* Квазиискусственные объекты // Логические исследования. 2002. № 8.
  36. *Выхованец В.С.* Математическое моделирование систем на основе языковой формализации результатов понятийного анализа // Мат. Межд. конф. «Математическая теория систем» М.: Институт проблем управления, 2009. С. 56-61.
  37. *Выхованец В.С.* Методы анализа крупномасштабного производства. Понятийный анализ и моделирование // Тр. III Межд. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2009). М.: Институт проблем управления, 2009. С. 308-316.
  38. *Данильян О.Г., Панова Н.И.* Современный словарь по общественным наукам. М.: Эксмо-Пресс, 2005.
  39. *Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А. Фомина М.В.* Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М.: Физматлит, 2004.
  40. *Новейший философский словарь: 3-е изд., исправл.* Мн.: Книжный Дом, 2003.
  41. *Кравцов Л.Г.* Методологические проблемы психологического анализа мышления в понятиях // Мат. Первой рос. конф. по когнитивной науке. Казань, Казанский гос. ун-т, 2004. Режим доступа: <http://www.ksu.ru/ss/cogsci04/science/cogsci04/sod.php3> (проверено 21.02.2013).
  42. *Выхованец В.С.* О понятии понятия // Тр. VIII Межд. конф. «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций». М.: Институт проблем управления, 2011.
  43. *Выхованец В.С.* Описание семантики контекстно-свободных языков методом математической индукции // НТИ, Сер. 2: Информационные процессы и системы. 2008, № 7. С. 6-14.
  44. *Фридл Дж.* Регулярные выражения. СПб.: Питер, 2001.
  45. *Окстоби Дж.* Мера и категория Пер. с англ. М.: Мир, 1974.
  46. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000.
  47. *Tarski A.* Logic, Semantics, Metamathematics. Oxford, 1956.